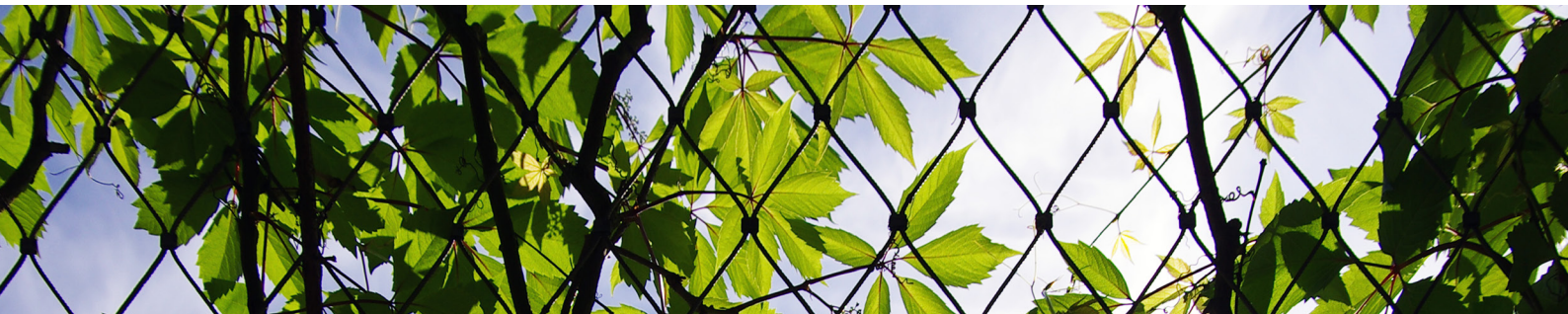




Gebäude Begrünung Energie

Potenziale und Wechselwirkungen



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen

Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013

Bearbeitung:

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Architektur

Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung (FG e+f), Prof. Dr. Jörg Dettmar

Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (FG ee), Prof. Manfred Hegger

In Kooperation mit:

Technische Universität Braunschweig

Institut für Geoökologie

Abteilung Klimatologie und Umweltmeteorologie, Prof. Dr. Stephan Weber

Autoren:

Nicole Pfoser, Dipl.-Ing., MLA

Nathalie Jenner, Dipl.-Ing.

Johanna Henrich, Dipl.-Ing.

Jannik Heusinger, B.Sc.

Prof. Dr. Stephan Weber

Mitarbeiter:

Johannes Schreiner, B.Sc.

Carlos Unten Kanashiro, B.Sc.

Projektleitung/Korrespondenzautor:

Nicole Pfoser (mail@pfoser.de)

Redaktion und Layout:

Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, FG ee / FG e+f

Titelbilder (von oben nach unten):

Vegetation Retentionsdach Kelterei Possmann, Frankfurt/Main (Foto: Nicole Pfoser)

Ausschnitt Fassadenbegrünung PTH St. Georgen, Frankfurt/Main (Foto: Nicole Pfoser)

Photovoltaiklamellen als Sonnenschutz des Solar Decathlon Hauses,

Team TU Darmstadt 2007 (Foto: Leon Schmidt)

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen.: II 3-F20-11-1-007 / SWD-10.08.18.7-12.16.) Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor. Projektlaufzeit: 01.08.2012 - 31.08.2013

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	6
Vorwort	7
1. Einleitung	10
1.1 Zielsetzung: Begrünung und Energiegewinnung	11
2. Gebäudebegrünung	14
2.1 Status Quo "Stadt" und Grüne Chance	14
2.2 Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung	16
2.3 Entscheidungskriterien zur Bauwerksbegrünung	20
2.4 Fassadenbegrünung	34
2.5 Fassadenbegrünung - Systemvarianz	42
2.6 Dachbegrünung	56
2.7 Dachbegrünung - Systemvarianz	62
2.8 Pflanzen- und baubedingte Schäden	74
2.9 Planungsschritte für eine pflanzengerechte und schadensfreie Gebäudebegrünung	78
3. Energieeffizienz und Energiegewinnung am Gebäude	82
3.1 Passive Systeme und Maßnahmen	84
3.2 Teilaktive Systeme und Maßnahmen	89
3.3 Aktive Systeme und Maßnahmen	92
3.4 Gesamtübersicht der effizienzfördernden und energiegewinnenden Gebäudehüllsysteme	97
4. Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude	102
4.1 Historie	103
4.2 Passive Systeme und Maßnahmen	104
4.3 Teilaktive Systeme und Maßnahmen	118
4.4 Aktive Systeme und Maßnahmen	122
4.5 Regenwassernutzung und Gebäudebegrünung	130
4.6 Biomassenutzung und Gebäudebegrünung	132
4.7 Ökologie, Ökonomie und Gebäudebegrünung	136
4.8 Fazit - Energetisches Potenzial für das Gebäude	146

5.	Gebäudebegrünung - Wirkung auf das Umfeld	150
5.1	Oberflächenwasser und Gebäudebegrünung	151
5.2	Regenwasserverdunstung und Gebäudebegrünung	153
5.3	Minderung der Lärmbelastung durch Gebäudebegrünung	155
5.4	Biodiversität und Gebäudebegrünung	158
5.5	Akzeptanz von Gebäudebegrünung	160
5.6	Fazit: Gebäudebegrünung - Potenzial für das Umfeld	161
6.	Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum	164
6.1	Grundzüge des Stadtklimas	165
6.2	Klimatische Klassifizierung von Stadtraumtypen	173
6.3	Stadtklima - Potenziale von Begrünungskonzepten	176
6.4	Fallstudien - Beispielhafte Betrachtung von Wirkpotenzialen	184
6.5	Fazit - Potenzial urbaner Begrünung	190
7.	Planungsparameter	194
7.1	Einflussfaktoren auf Planung und Umsetzung von Gebäudebegrünungen, praxisorientierte Handlungsempfehlungen	194
7.2	Förderungen und Forderungen	201
7.3	Nachhaltigkeitszertifikate DGNB, BNB, BREEAM, LEED	204
8.	Beispielprojekte	208
8.1	Hochbauprojekte	209
8.2	Städtebauliche Projekte	226
9.	Anhang	234
9.1	Glossar	234
9.2	Abkürzungsverzeichnis	235
9.3	Literatur- und Internetverzeichnis	236
9.5	Tabellenverzeichnis	264
9.6	Weiterführende Tabellen und Diagramme	268

Danksagung

Während zweier Arbeitsgruppentreffen in Darmstadt wurden Inhalt und Struktur dieses Leitfadens diskutiert. Wir danken den folgenden Experten für die Teilnahme an den Arbeitstreffen, ihr Mitwirken und ihre Informationen.

Bott Begrünungssysteme GmbH, Bühl
Peter Bott

**Forschungsgesellschaft Landschafts-
entwicklung Landschaftsbau e.V.**
(FLL), Bonn
Christian Schulze-Ardey

**Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB, Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und Raumforschung,
Bundesamt für Bauwesen und Raum-
ordnung, Zukunft Bau, Bonn**
Dr. Michael Brüggemann
Steffen Kisseler

**Technische Universität Darmstadt,
FG Entwerfen und Energieeffizientes
Bauen, Fachbereich Architektur; Ina
Planungsgesellschaft mbH, Darmstadt**
Michael Keller

**Technische Universität Darmstadt,
FG Entwerfen und Freiraumplanung,
Fachbereich Architektur, Darmstadt**
Sandra Sieber

**Technische Universität Darmstadt,
FG Tragwerksentwicklung, Fachbe-
reich Architektur, Bereich Bauphysik,
Darmstadt**
Bastian Ziegler

**Technische Universität Dresden, Insti-
tut für Baukonstruktion, Dresden**
Prof. Dr. Bernhard Weller

Schadenberg Combi Groen B.V., Hem
Nils van Steenis

**Universität Stuttgart, FG Grundlagen
moderner Architektur und Entwerfen
(IGMA), Stuttgart**
Dr. Ferdinand Ludwig

**Vertiko GmbH Vertikalbegrünungs-
konzepte, Kirchzarten**
Stefan Brandhorst

Zeobon GmbH, Dattenberg
Dr. Martin Upmeier

Zinco GmbH, Nürtingen
Roland Appl

Weiterhin danken wir Bernhard Scharf (IBLB in Wien), Marco Schmidt (Technische Universität Berlin), Prof. Dr. Manfred Köhler (Hochschule Neubrandenburg), Prof. Christoph Althaus (Hochschule Ostwestfalen-Lippe), Jun. Prof. Dr. Angèle Tersluisen (Technische Universität Kaiserslautern) für die Bereitstellung ihrer Forschungsergebnisse und Bildvorlagen. Heinz Zimmermann danken wir für die ausführliche Korrekturlesung. Auch danken wir den Architekten, Landschaftsarchitekten und Städten für die Bereitstellung ihrer Pläne und Informationsmaterialien im Kapitel „Beispielprojekte“.

Vorwort

Der Leitfaden „Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen“ entstand in interdisziplinärer Teamarbeit von Architekten, Landschaftsplanern, Ökologen und Klimatologen.

Er richtet sich an alle in den Entscheidungs- und Bauablauf des Hochbaus eingebundenen Planer und Techniker sowie an staatliche, kommunale, gewerbliche und private Bauherren. Er bietet Motivation, Planungshilfe, Forschungsergebnisse und Praxiserfahrung, um Gebäudebegrünung in Verbindung mit der Nutzung von Umweltenergie als eine reale Option in der Breite des Baugeschehens zu verankern.

Der Leitfaden trifft auf überhitzte, laute und staubige Innenstädte und vielfach bedrängtes Stadtgrün. Neben den gestalterischen, stadtklimatischen, ökologischen und energetischen Potenzialen wird mit der Gebäudebegrünung ein ausgedehntes städtisches Grünflächenpotenzial nahezu ohne Bodenverbrauch erschlossen.

Die Motivierung und Beratung der Entscheider und Planer zur einer dualen Anwendung von Energiegewinnung und Gebäudebegrünung bedarf der fachübergreifenden Information: Interesse und Anwendungswille können durch beispielhafte Vorbilder, durch Informationen zum Leistungsspektrum der Gebäudebegrünung, der energetischen Flächenaktivierung und der synergetischen Verknüpfung beider Potenziale unterstützt werden.

Wir wünschen den Lesern eine anregende Lektüre und Erkenntnisgewinn!

Die Autoren

01

Einleitung

1. Einleitung

An der Zielsetzung, unsere Gebäude zur Sicherung einer lebenswerten Zukunft grundlegend auf eine Minimierung des Gesamtenergiebedarfes und Langlebigkeit auszurichten, bestehen keine ernsthaften Zweifel. Die Umsetzung findet bereits großflächig statt, sie ist umfassend begründet, gesetzlich quantifiziert und terminiert.

Sowohl auf städtischer Ebene als auch in der Ausführung von Neubauten und Sanierungen mangelt es jedoch an innovativen Alternativen zum gesichtslosen und fast immer gleichen Wärmedämmverbundsystem der Fassaden.

Die strategische Integration von Vegetation erscheint als eine bereits im grundsätzlichen Verständnis geeignete Möglichkeit, hier intelligente Alternativen zu schaffen. Wichtige Kenntnisse sind zu den vielen Optionen der Gebäudebegrünung bisher nicht zugänglich, Optimierungsmöglichkeiten weithin unbekannt. Als „grüne Architektur“ oder noch beliebter „Green Building“ werden Gebäude geplant, veröffentlicht, verkauft und preisgekrönt, die in irgendeiner Art ökologisch oder energieeffizient, aber alles andere als wirklich „grün“ sind. Vielmehr reicht die Spannweite von hochgedämmten und hochtechnologischen Niedrigstenergiegebäuden bis hin zu Low-Tech-Gebäuden nach kybernetischen Prinzipien.

„Grüne Architektur“ schließt im architektonischen Verständnis bisher nur selten eine strategische Anwendung von Pflanzen ein. In der Vergangenheit sind zwar immer wieder Beispiele für einen architektonisch ansprechenden Umgang mit Gebäudebegrünung entstanden, es mangelt den Projekten allerdings überwiegend an der integrativen

Auseinandersetzung mit klimatischen, energetischen und technischen Chancen dieser Maßnahmen.

Mit diesem Projekt sollen die weitreichenden Potenziale von Vegetation auf unterschiedlichen Ebenen (Stadtraum, Grundstück, Gebäude) in Bezug auf die notwendigen Infrastrukturen näher untersucht werden.

Dabei werden sowohl wirtschaftliche als auch planerische Aufwendungen, gestalterische Möglichkeiten, klimatische und energetische Wirkungen sowie konstruktive wie auch rechtliche Restriktionen betrachtet. Es geht darum, zu unterscheiden, welche Arten der Bepflanzung sich für welche Ebene der Betrachtung eignen.

Der Fokus der Betrachtung wird auf den deutschen Klimaraum gelegt. Selbst kleinklimatische Unterschiede bewirken große Änderungen; bislang gebaute Projekte sind überwiegend Prototypen mit experimentellem Charakter, Begrünnungskonzepte speziell auf die sehr unterschiedlichen Bauobjekte ausgerichtet und somit ohne Möglichkeiten zur einfachen Adaption auf neue langfristige und entsprechend nachhaltige Projekte. Für alle Ebenen sollen Auswahlmöglichkeiten festgelegt werden, wie Materialien und Pflanzen ein optimales Zusammenspiel aufweisen können und welche Konsequenzen durch die gewählten Kombinationen zu erwarten sind.

Schwerpunkt der Forschungsarbeit sind Techniken, Konkurrenzen und Synergien von Gebäudebegrünung und energieeffizientem Bauen.

Zielgruppen dieses Leitfadens sind Architekten, Landschaftsarchitekten, Stadtplaner und Gebäudetechniker aber auch Kommunen und private Bauherren.

1.1 Zielsetzung: Begrünung und Energiegewinnung

Die dringliche klimatische und energetische Korrektur des Komplexes „Stadt-raum“ lässt sich in zwei städtischen Oberzielen erfassen:

- Die Zufriedenheit der Einwohner, ihrer Gäste und Kunden. Neben der infrastrukturellen Qualität der Stadt ist dies wesentlich eine Frage der städtischen Lebens- und Aufenthaltsqualität. Diese wird maßgeblich von den visuellen und psychologisch-medizinischen Wirkungen einer natürlichen Vegetation mitgeprägt. Dazu gehört eine künftig bessere Beherrschung der mangelhaften stadtklimatischen Verhältnisse bezüglich der Aufheizung, der schlechten Luftqualität und der fehlenden Feuchtigkeitsbindung durch die Aktivierung von Dächern und Fassaden als kühlende und filternde Vegetationsflächen im Bestand und bei Neubauten. [60; 63]
- Die mittelfristige Umstrukturierung der „fossilen Stadt“ zu einem sauberen, intelligent vernetzten gesamtstädtischen Kraftwerk aus dezentralen emissionsfreien Nutzungsverbänden der energetisch aktivierbaren Gebäudefassaden und -dächer sowie der Rückgewinnung von Energieüberschüssen. [60; 63]

Beide Oberziele sind miteinander vernetzt - beide sind entscheidende Parameter für die Attraktivität der Stadt und für ihre Zukunftsfähigkeit im Sinne einer nachhaltigen, ökologischen Entwicklung und Erneuerung. Diesen Themenfeldern bieten sich die Begrünung und die energetische Aktivierung der jeweils geeigneten Fassaden- und Dachflächen in einer möglichst synergetischen Wirkungsweise als ein in großem Stil ausbaufähiges Hilfsmittel an. Ein Gebäude entnimmt dem Stadtboden seine Grundfläche als Standort, stellt aber zugleich bis zu fünf

Außenflächen zur Begrünung und zur Nutzung von Umweltenergie zur Verfügung. Das Anwendungspotenzial solcher Flächen - die Haut der Stadt - übersteigt die überbaubare städtische Bodenfläche um ein Vielfaches. [60]

Beide Oberziele berühren Leitbilder für den Anspruch an unser zukünftiges Handeln:

- das Leitbild der Ästhetik einer architektonischen Gestaltung von Einzelbauten und Stadträumen mit dem Naturelement der Begrünung im Wechsel der Jahreszeiten
- das Leitbild der Ethik eines umweltgerechten Handelns bezüglich einer energetischen Stadtsanierung und des Angebotes an Flora und Fauna.

Im besten Fall nutzen Städte soweit möglich die inhaltliche Verknüpfung der Ziele „Grüne Stadt“ und „Solarstadt“, um den Sachverhalt eines epochalen Wandels klarer in den Fokus ihrer Entwicklungspläne zu rücken. Sie gewinnen mit dieser Parallelität Argumentationsvorteile sowie planerische, rechtliche und umsetzungstechnische Synergieeffekte. [59; 60]

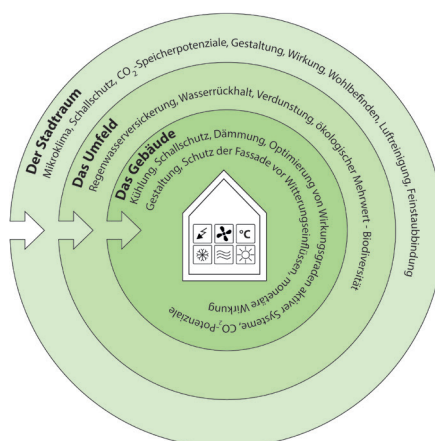


Abb. 1: Wirkpotenziale der Gebäudebegrünung auf den Stadtraum, das Grundstück und das Gebäude. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

02

Gebäudebegrünung

2. Gebäudebegrünung

2.1 Status Quo "Stadt" und Grüne Chance

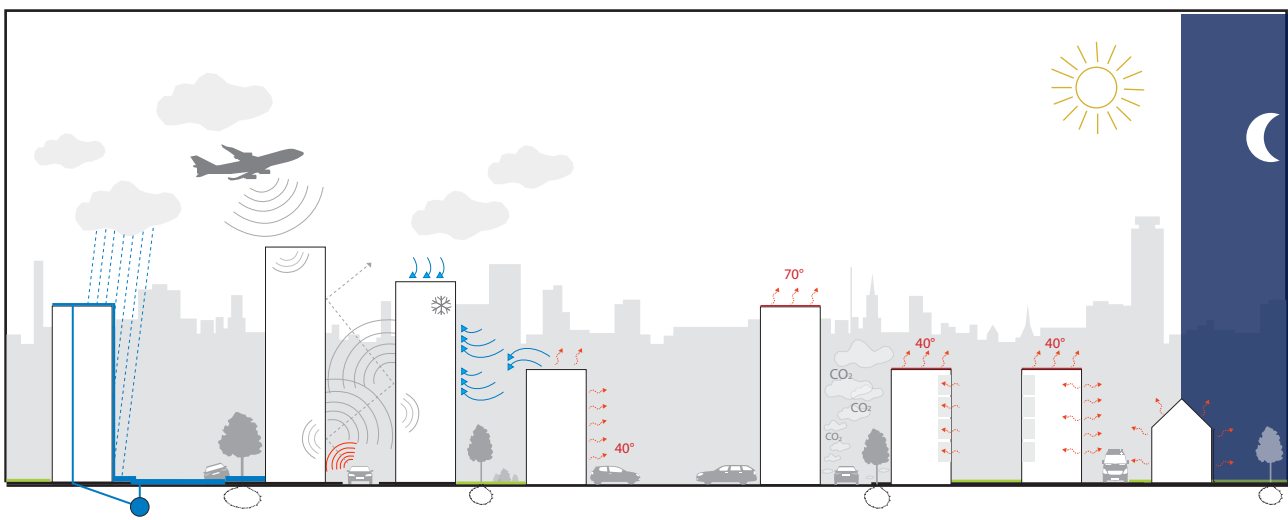
Ein alltägliches Stadterlebnis: das sommerliche Klima infolge der steinernen städtischen Speichermasse trocken und überhitzt, akustisch vom Verkehr dominiert, die Atemluft mit Emissionsgiften und Stäuben vermischt, die Gestaltung vieler Stadträume, ihrer Fassaden und Dächer ohne erkennbares Thema für ein übergeordnetes Grünkonzept [60]. Der Bauflächen-Entwicklungsdruck in deutschen Städten führt zu einer fortschreitenden Ausweitung und Verdichtung des Stadtraums mit negativen Folgen: Zunahme des Individualverkehrs (Flächenversiegelung, Schall, Emissionen) und der Bebauungsdichte (sommerliche Hitzespeicherung, Emissionen der Wärme- und Kälteversorgung), dagegen Abnahme der natürlichen Wasserbindung - in ihrem Zusammenwirken also erhebliche klimatische, lufthygienische und akustische Belastungen [vgl. 74]. Die Frage nach neuen Ansätzen zur Linderung des Defizits an städtischen klimaaktiven Vegetationsflächen und zur Anwendung emissionsfreier Techniken der Energiegewinnung/ -Verteilung stellt sich mit Nachdruck. [60]

Abb. 2: Die "Haut" der Stadt - ungeschützt, überhitzt und ohne Regenwasser-Rückhalt (Nicole Pfoser 2012)

Status Quo

Fassaden und Dächer leiten das Regenwasser unvermindert und unverzögert (wie gleichzeitig die versiegelten Bodenflächen) in die Kanalisation. Der Klimabeitrag „Verdunstung“ ist minimal, die Kanalbelastung erheblich (Rückstau-gefahr bei Starkregen).

Die Schallabsorption ist geringfügig, die schallharten Fassaden reflektieren und überlagern Verkehrsgeräusche zu Lärm. Die ungefilterte Strahlungsintensität der Sonne heizt Dächer und Fassaden auf, die Materialbeanspruchung (mechanische Kräfte durch Temperaturextreme Tag/Nacht und Sommer/Winter, Alterung durch Hitze und ultraviolette Strahlung) ist hoch. Eine warme Thermik baut sich an besonnten Fassaden auf, natürliche Fensterlüftung bringt keine ausreichende Abkühlung. Eine Vollklimatisierung mit maschineller Kühlung verbraucht ein Vielfaches der Energie der Gebäude-Heizperiode. Die Überhitzung der Gebäudehüllen wird abends in den Stadtraum zurückgetragen und bildet städtische Hitzeinseln (heat island effect). Giftstoffe der Verkehrs-, Produktions- und Heizungsemissionen



finden kaum Resorptionsflächen und bleiben als Gase und Stäube in der Atemluft. Die Stadtbild-Gestaltung ist nach Wiederaufbau und Nachverdichtung von der Zufälligkeit aufeinander treffender Materialien, Dimensionen und Architekturen geprägt [182].

Grüne Chance

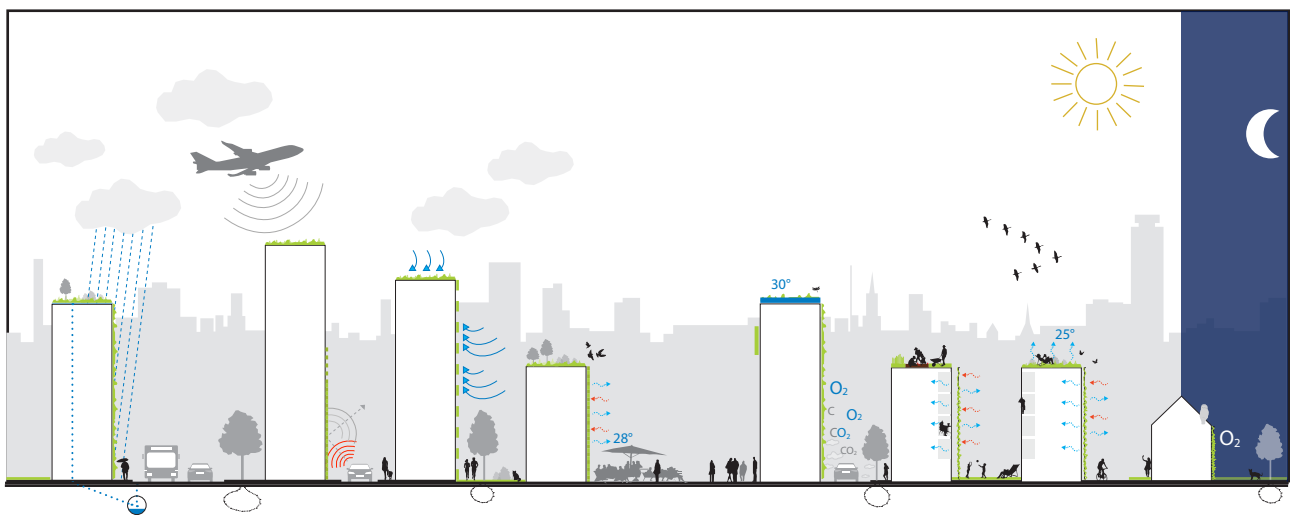
Allein der Umfang von direkt begrünbaren Bestandsflächen wie ungenutzte Flachdächer („Fünfte Fassade“), Brandwände, fensterlose Wandscheiben, Gewerbe- und Industriebauten, Verkehrsbauten, Stützmauern etc. übersteigt die für Stadtgrün verfügbare Bodenfläche um ein Vielfaches. Die wesentlichen Wirkungen der Gebäudebegrünung umfassen klimatische, ökologische, medizinische, wirtschaftliche und gestalterische Eigenschaften: Fassaden- und Dachbegrünungen sind praktisch ohne zusätzlichen städtischen Bodenverbrauch realisierbar. Niederschlagswasser wird zunächst von der Gebäudebegrünung (Dach und Fassade) aufgenommen. Überschüssiges Wasser wird (ggf. nach Füllung einer Zisterne) zeitversetzt der Kanalisation zugeführt.

Dies entlastet die Problematik des Kanalarückstaus (Starkregen).

Begrünungen sorgen für Verdunstungskühlung und ausgleichende Luftbefeuchtung und regulieren das Stadtklima. Sie gleichen die Temperaturextreme aus und verbessern die städtische Luftqualität durch Filterung, Feinstaubbindung und Sauerstoffanreicherung. Schallabsorption und Reduktion der Schallreflexion vermindern die städtische Geräuschkulisse. Gebäudeoberflächen werden vor Niederschlägen und UV-Einwirkung geschützt. Begrünungen ermöglichen den Anbau von Nahrungsmitteln und bringen Lebensraum ("Trittstein"-Funktion) und Nahrungsangebot für Tiere in die Stadt zurück. Sie verbessern das Stadtbild durch übergeordnete, identitätsstiftende Gestaltungs-Themen und erhöhen damit die Wohn- und Umgebungsqualität [182].

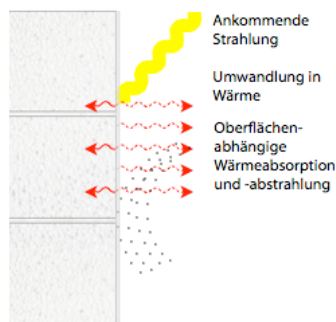
Auf die Potenziale von Dach- und Fassadenbegrünungen wird im folgenden Kapitel detailliert eingegangen.

Abb. 3: Die "Haut" der Stadt - durch Begrünung beschattet, Regenwasser-Bindung (Nicole Pfoser 2012)

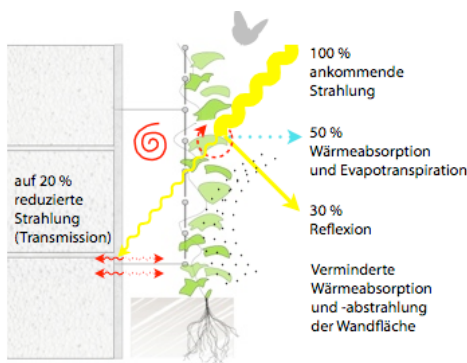


2.2 Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung

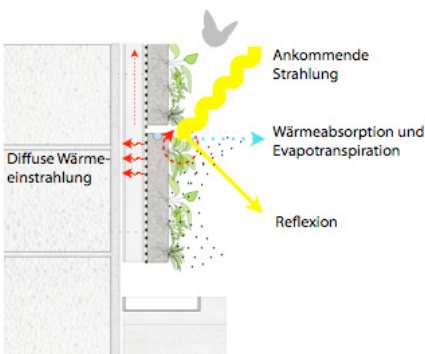
Kühlung
Verschattung
Bindung und Filterung von Staub und Luftschadstoffen
Biodiversität



① Unbegrünte Massivwand



② Bodengebundene Begrünung (Gerüstkletterpflanzen)



③ Wandgebundene Begrünung, modularer Aufbau

Gebäudebegrünungen beeinflussen das Mikroklima ganzjährig positiv

Unbeschattete Außenwandbekleidungen und Dachflächen heizen sich tagsüber im Infrarotbereich des Sonnenlichts auf (dunkle Metallbekleidungen bis zu 80 °C) und geben in der Nacht - wie gleichzeitig die Straßen- und Platzoberflächen - ihre Wärme durch Konvektion und Transmission an ihre städtische Umgebung ab. Selbst Regengüsse führen wegen der schnellen Verdampfung nicht zu einem kühlenden Feuchterückhalt. Die Überhitzung der städtischen Speichermasse behindert die nächtliche reinigende Durchlüftung und die natürliche energiesparende Nachtauskühlung der Gebäude. [182]

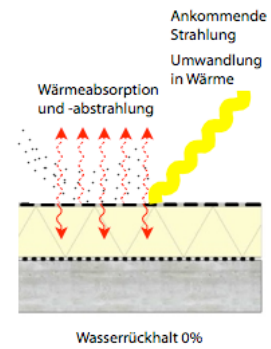
Besonders hinterlüftete boden- oder wandgebundene Fassadenbegrünungen halten je nach Begrünungsdichte (Verschattungsgrad) einen Anteil der Wärmestrahlung von der Gebäudewand zurück, bei wandgebundenen modularen und flächigen Systemen beträgt der Anteil 100 Prozent. Die pflanzliche Evapotranspiration, die Lichtreflektion, die Verschattung und die Verdunstungskühle des von Gebäudebegrünungen gespeicherten Regenwassers verbessern das Mikroklima signifikant. [182] Bei Flachdächern steigert sich dieser Effekt von der klassischen hellen Bekiesung über das extensive Gründach bis hin zum bepflanzten Retentionsdach besonders deutlich. Hinzu kommen die Luftreinigung der Begrünung durch Staubausfilterung und Feinstaubbindung an ihrer Blattoberfläche sowie die CO₂-Bindung und Sauerstoffproduktion der Pflanzen durch Photosynthese.

Abb. 4: Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima
(© Nicole Pfoser 11/2012)

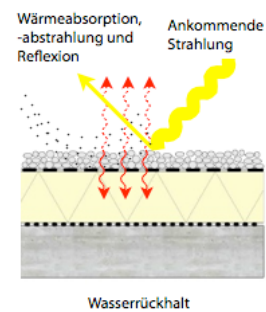
Auch in der kalten Jahreszeit entfaltet die (immergrüne) Gebäudebegrünung klimatischen Nutzen durch ihren Windschutz, durch die bessere Trockenhaltung der Außenwände und durch einen zusätzlichen Dämmeffekt bei modularen und flächigen Systemen (Mehrschichtigkeit des begrünten Wandaufbaus, Luftpolster). [182]

Quartierübergreifende Gebäudebegrünungen zur Verbesserung des Mikroklimas wirken sich auf das städtische Mesoklima aus. Gleichzeitig erzeugt die mit einer konsequenten Gebäudebegrünung verbundene Gestaltungsverbesserung des Umfelds eine Steigerung der Arbeitsplatzqualität, des Wohnwerts und der sozialen Bindung der Bewohner untereinander. Eine Nutzung zum Anbau von Nahrungsmitteln (Urban Farming) ist möglich. [182]

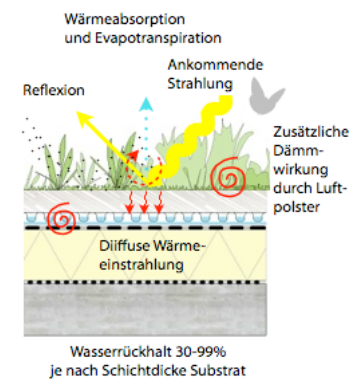
④ Unbegrünte Dachabdichtung z. B. Bitumen- oder Folien-Dichtungsbahn



⑤ Unbegrünte Dachabdichtung mit Kiesabdeckung



⑥ Gründachaufbau



⑦ Retentionsdachaufbau

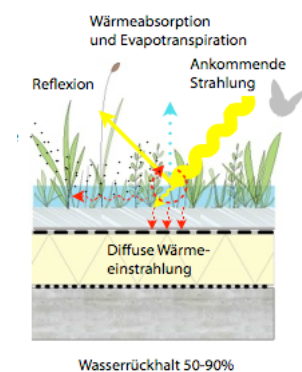


Abb. 5: Einfluss der Dachbegrünung auf das Mikroklima
(© Nicole Pfoser 12/2012)

Strahlungs-/Witterungsschutz
Schallschutz
Minderung von Temperaturextremen
Wasserrückhalt

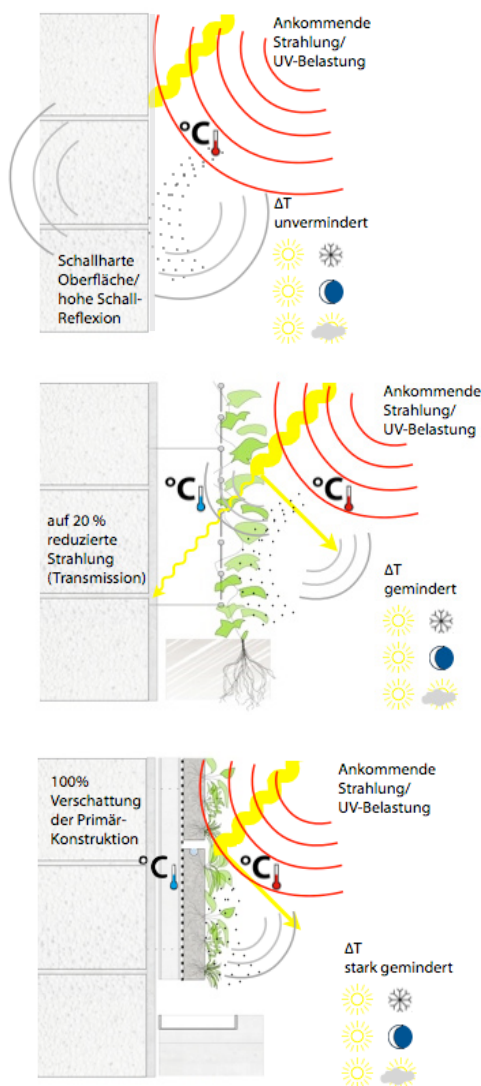
Gebäudebegrünungen sind wirtschaftlich sinnvolle Investitionen

Fassadenbegrünungen und begrünte Flachdächer vermeiden durch ihre Verschattungskühlung Infrarot- und UV-Strahlungsextreme und schützen so die Materialien vor mechanischer Überbeanspruchung und vorzeitiger chemischer Alterung. Zusammen mit der geringeren Niederschlagsbeanspruchung der Baustanz leisten richtig ausgeführte und gewartete Gebäudebegrünungen einen dauerhaften Beitrag zum Bautenschutz.

Das Rückhaltevermögen von Niederschlägen in Substrat, Bewuchs und Regenwasser-Speichern führt durch die reduzierte und zeitversetzte Kanaleinleitung zur Entspannung der Starkregenproblematik und zur Entlastung der Kanalisation.

Konsequente Fassadenbegrünungen mit Klettergerüsten in einer vorgestellten separaten Ebene lassen geschützte Geschoss-Umgänge zur Wartung des Gebäudes und der Begrünung zu. Sie kühlen die Fassade, bieten Sonnenschutz, Schall-Absorption und einen verbesserten Schutz vor Schadstoffen und Verschmutzung. Ein solcher Fassadenaufbau erlaubt die Rückkehr zur wirtschaftlichen Fensterlüftung von Gebäuden in Verbindung mit einer temperaturabhängig geregelten sommerlichen Nacht-Entwärmung. [182]

Ist die Gebäudebegrünung bei Neubauten bereits Teil der Planung, kann in den bedeckten Fassadenzonen eine aufwändige Sichtverkleidung (Naturstein- oder Metallbekleidungen) und bei Dächern eine Auflast gegen Windsog eingespart werden. Diese Substitutionen durch Gebäudebegrünung sind ein wesent-



① Unbegrünte Massivwand

② Bodengebundene Begrünung (Gerüstkletterpflanzen)

③ Wandgebundene Begrünung, modularer Aufbau

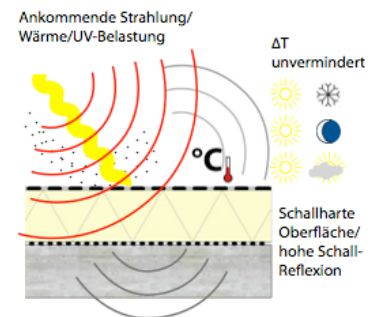
Abb. 6: Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima
(© Nicole Pfoser 11/2012)

licher wirtschaftlicher Aspekt. Die zur Fertigstellung des Neubaus erwartete Wirkung kann durch die Anwendung von vorkultivierten modularen Begrünungssystemen erreicht werden. [67] Einsparungen von Kühlenergie im Sommer (Verschattung und Verdunstung) und Heizenergie im Winter (reduzierter Windangriff, zusätzlicher Dämmeffekt) wirken sich ab Beginn der Gebäudenutzung aus. [182]

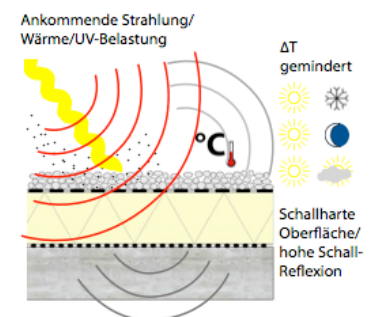
Durch die Verbreitung architektonisch gelungener Gebäudebegrünungen und ihrer durch Messungen belegten Vorzüge hat sich diese botanisch und bautechnisch weiterentwickelte Bauweise gegen überkommene Vorurteile durchgesetzt. Gebäudebegrünungen erfahren heute als zukunftsweisende Bauform eine hohe Akzeptanz - ihrer erhöhten Investition steht die Aufwertung der Adresse gegenüber. [182]

Dachbegrünungen nehmen als "5. Fassade" Einfluss auf das Stadtbild. Als Interimslösung können vorkultivierte Elemente zur Kaschierung von unansehnlicher Altsubstanz eingesetzt werden. Dies gilt auch für immergrüne Bauzäune, welche das öffentliche Interesse auf die kommende begrünte Architektur des Neubaus lenken. [182]

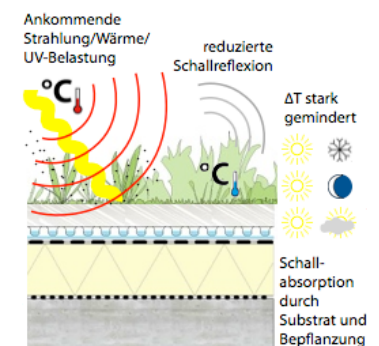
④ Unbegrünte Dachabdichtung z. B. Bitumen- oder Folien-Dichtungsbahn
Unverminderte Strahlungs-/UV-Belastung und mechanische Beanspruchung der Dachabdichtung



⑤ Unbegrünte Dachabdichtung mit Kiesabdeckung
Reduzierte Strahlungs-/UV-Belastung und mechanische Beanspruchung der Dachabdichtung



⑥ Gründachaufbau
Keine Strahlungs-/UV-Belastung und mechanische Beanspruchung der Dachabdichtung



⑦ Retentionsdachaufbau
Keine Strahlungs-/UV-Belastung und mechanische Beanspruchung der Dachabdichtung

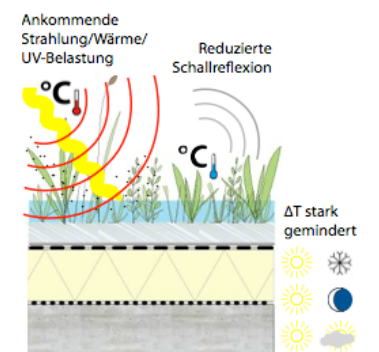


Abb. 7: Einfluss der Dachbegrünung auf das Mikroklima
(© Nicole Pfoser 12/2012)

2.3 Entscheidungskriterien zur Bauwerksbegrünung

Dach/Fassade

Hat die Abwägung der klimatischen, ökologischen und wirtschaftlichen Potenziale von Gebäudebegrünungen zu einer Ausführungsentscheidung geführt, bauen die weiteren Planungsschritte auf der Festlegung des situationsgerechten Begrünungssystems und auf der interdisziplinären Auswahl der geeigneten Pflanze bzw. Pflanzengesellschaft auf. [66; 182]

Die folgenden Kapitel erläutern die Pflanzeneignung bezüglich der Gestaltungsziele und der konstruktiven Kriterien.

Priorität Pflanzen-Eignung

Die gestalterischen und konstruktiven Kriterien zur Planung und Durchführung des Projekts „Gebäudebegrünung“ sind erkannt und richtig umgesetzt worden, wenn im Ergebnis die vorgesehene Pflanzenart oder Pflanzengesellschaft in ihrer Exposition, ihrem Wuchsuntergrund und ihrer Versorgung eine dauerhafte und artgerechte Entwicklung ausprägt. [66; 182] Eine sorgfältige Prüfung der Pflanzeneignung steht daher immer am Anfang und im Zentrum der Projektierung - alle Folgeentscheidungen orientieren sich an der Pflanzenwahl. Ungeeignete Pflanzenentscheidungen bilden - ebenso wie z. B. schlechte Lichtverhältnisse oder Versorgungsprobleme - wachsende Pflanzenschäden aus und erzeugen einen vermeidbaren Mehraufwand für Wartung und Austausch. [182] Die Gestaltung wird daher zunächst Zielkriterien zur Entscheidungsebene Pflanze wie „monochrom / einheitliche Textur“ oder „vielgestaltig / Plastizität“ etc. klären. [182]

Die Entscheidungsebene Gebäude berücksichtigt die passende Farbwirkung, einen Ausschluss der Giftigkeit,

die Wahl immergrüner (z. B. ganzjährige Optik bzw. Wohn- und Nahrungsangebot der Fauna) oder laubabwerfender Arten (z. B. Sommer-Verschattung von Loggien oder Transluzenter Wärmedämmung) etc. [66; 182]

Die Entscheidungsebene Stadtraum regelt u.a. das übergreifende Grünkonzept sowie dessen klimatische und ökologische Leistungen, wirtschaftliche Kriterien etc. [182]

Die **Konstruktion** berücksichtigt je nach dem geplanten Begrünungssystem Kriterien des Lebensbereichs wie Windangriff, Rastermaße von Kletterhilfen, Wuchs-Begrenzungen an sensiblen Bauteilen etc., Konstruktionskriterien wie Entwicklung des Gesamtgewichts, Aufbau der Primärebene, Verankerung, Statik, Brandlast/Brandschutzbestimmungen, Korrosionsfreiheit etc. und Kriterien der Versorgungstechnik, z. B. Bereitstellung einer ganzjährigen Wasser- und Nährstoffversorgung, Pflegezugänglichkeit, Wartungs-Infrastruktur etc. [182]

Auf das Zusammenspiel von Gestaltung, Konstruktion und Pflanzeneignung wird auf den folgenden Seiten detailliert eingegangen.

GESTALTUNG



PFLANZEN-EIGNUNG



KONSTRUKTION

Abb. 8: Entscheidungskriterien zur Bauwerksberünung (© Nicole Pfoser 10/2012)

2.3.1 Anwendungskriterien „Stadtraum“

Gestalt und Funktion sind planungsrelevante Qualitätsmerkmale - sie gehören in Architektur und Städtebau untrennbar zusammen. Die klassische Entwurfsgrundlage „form follows function“ (Louis Sullivan, 1896) ist für langfristige Entscheidungen, wie Natur und Städtebau sie brauchen, noch immer ein bewährtes und wirtschaftliches Prinzip. Sie ist für das Entwerfen städtischer Gebäudebegrünung zielführend, wie die nachfolgenden Grafiken zeigen. Dabei geht es zugleich um die Identität des Stadtbildes, um die Einprägsamkeit der Orte, um Raumdefinition und um orientierungsstrategische Zeichen für eine klare Wegführung. Hier können Fassadenbegrünungen als Merkzeichen, freistehende begrünte Flächenelemente als Leitwände und Grün-Stelen als Gelenke oder Zielpunkte einen Beitrag zur Orientierung leisten, indem sie mangelnder Bildhaftigkeit, visueller Verworrenheit oder unklarer Raumbildung entgegenwirken. Solche städtischen "Natur"-Inseln dienen nicht allein der Orientierung, sie schaffen gleichzeitig einladende Orte der Ruhe in den städtischen Distanzen und beleben dort mit ihren wechselnden Blatt- und Blütenfarben und ihrem Winterbild die jahreszeitliche Dynamik des Stadtbilds im Ganzen. [182]

Raumbildung

Grüne Volumina aus Baumkronen oder begrünten Pergolen haben raumbildende Kraft, um stadtgestalterische Störungen (z. B. Baulücke, falsche Gebäudedimension) durch eine grüne Raumkontur zu heilen. Tangierende Straßen können ausgegrenzt, Raumwände ergänzt werden. Diese Wirkungen treten durch die starke visuelle Präsenz ausgewachsener Baumkronen und Pergolen auch in der unbelaubten Jahresphase ein. Eine

Stärkung des Raumvolumens wird durch eine zweite, konzentrische Platzbegrenzung mit Bäumen oder begrünten Pergolen erreicht, die den Wohnungen hinter den Fassaden mehr Privatheit und dem inneren grünen Platz mehr Zentralität (Zurücksetzung der Fassaden und der Straßen) gibt. [182]

Lenkung

Stadträume werden durch ein grünes Volumen (Großbaum, begrünte Stele oder Gitterturm) zentriert oder in der Diagonale (z. B. Wegführung) betont. Mit einer Raumwand bestimmenden Fassadenbegrünung kann die Aufmerksamkeit auf vorgelagerte Nutzungen (Läden, Café) gelenkt werden und "Einladung" signalisieren. Taktisch positionierte begrünte Volumina (z. B. Stelen aus Zulufttürmen) fassen unklare Raumformen zu einem Thema zusammen. [182]

Wirkung im Stadtraum

Begrünte Erdgeschosse vereinigen heterogene Gebäudefronten zu einem Ensemble. Ein vollbegrünter Hauskörper im steinernen Umfeld wird zum Blickpunkt, er bestimmt die Charakterisierung des Ortes. In einer Gruppierung verwandter Hausformen erreicht die Fassadenbegrünung einen hohen Wiedererkennungswert. Grüne Fassaden unterbrechen Distanzen im städtischen Kontext, definieren Zielorte und können auf die geometrische Wirkung von Straßenräumen gezielt Einfluss nehmen. [182] Begrünte Dächer sind in der Stadtbild-Perspektive selten wahrzunehmen. Flachdachbegrünungen treten aus der Fußgängerperspektive nicht in Erscheinung, es sei denn durch hohe Pflanzen, begrünte Umwehungen, Pergolen oder Dachterrassen-Begrenzungen.

<p>Raumbildung</p>	<p>Abschluss, Platzbildung</p> 	<p>Beruhigung, Begrenzung, Zonierung</p> 	<p>Raumkontur, Teilung, Raumkorrektur</p> 	<p>Volumen-Ergänzung</p> 
<p>Lenkung</p>	<p>Zentrierung, Aktivierung, Gelenk</p> 	<p>Markierung, Wegführung</p> 	<p>Initialisieren, Motivation</p> 	<p>Zusammenfassung, Blickpunkte</p> 
<p>Wirkung im Stadtraum</p>	<p>Ensemble-Bildung, plastische Gestaltung</p> 	<p>Fernwirkung, Blickpunkt</p> 	<p>Alleinstellungs-Merkmal</p> 	<p>Gliederung, Verkürzung der Längenwirkung</p> 
<p>Blicklenkung, Begrenzung, Verkürzung der Tiefe</p> 	<p>Längsgliederung, Raum wirkt länger</p> 	<p>Quergliederung, Raum wirkt höher</p> 	<p>Staffelung, optische Höhenbegrenzung</p> 	

2.3.2 Gestaltungskriterien „Gebäude“ (Anwendung: Addition, Integration, Kombination)

Maßstab, Proportion, Rhythmus, Modularität

Auch die Gestaltungsanalyse des städtischen Einzelgebäudes liefert häufig Ansatzpunkte für die Begrüpfungsfunktionen der klimatischen und architektonischen Aufwertung. Mit horizontalen oder vertikalen Begrüpfungsfeldern werden - neben dem Beitrag zur Verbesserung des Kleinklimas - Gebäudeproportionen korrigiert. Vollflächige Begrünungen können Fassadengliederungen optisch verstärken oder überspielen. Brandwände können durch Flächenbegrünungen in „Vertikale Gärten“ verwandelt werden. [182]

Kubatur

Mit einer gezielten Anordnung von Teilbegrünungen kann ein Sockelgeschoss öffentlich oder privat gekennzeichnet werden, Fern- und Nahwirkungen sind steuerbar. [182]

Raumbildung, Ebenentrennung, Plastizität

Freistehende bewachsene Klettergerüste beziehen Loggien räumlich ein und werben sie zu grünen Gartenzimmern auf. Ausgedehnte Glasflächen von Fassaden, Wintergärten und energetisch wirksamen Einrichtungen (transluzente Wärmedämmung, Warmluftkollektoren, Wärmespeicher) erreichen mit einer Sekundärebene aus sommergrünen (laubabwerfenden) Kletterpflanzen eine wirksame saisonale Verschattung ohne den Hitzestau handelsüblicher Jalousien. [182]

Begrünte Sekundär-Ebenen können Grenzzäune ersetzen, sie richten als erhöhte Zaunrahmen mit (immergrün) bewachsener Drahtnetzfüllung den Ausblick der Räume auf ein „eigenes Gegenüber“ und leisten so eine ungestört

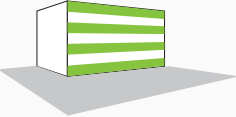
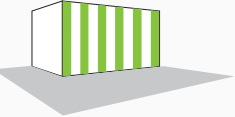

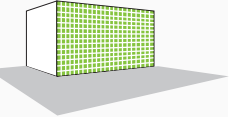

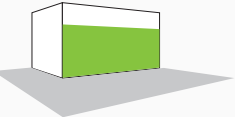



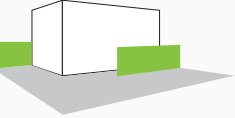
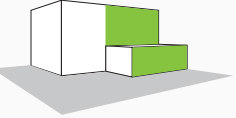


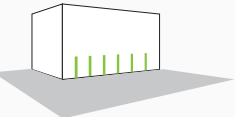
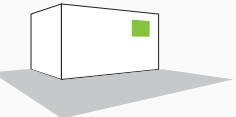

nutzbare Raumerweiterung. Dazwischen können Zugangszonen oder Terrassen Platz finden. Die Dimension der Begrüpfungsebene (Breite und Höhe) richtet sich hier nach ihrer vorgesehenen Beschattungsaufgabe, welche ggf. nur im Sommer erwünscht ist. Die gleiche Anwendung erlaubt es, unansehnliche Ausblicke zu verdecken, Einblicke zu verwehren und Störungen abzumildern (Nachbarsituation, Straßenverlauf). [182]

Kontrastbildung

Geometrische Fassadengliederung und natürliche Grafik des Bewuchses kontrastieren reizvoll. Umgekehrt ebenso eine Geometriebildung durch das Natur-element. Innerstädtische Werbeflächen steigern als weithin sichtbare Begrüpfungsmodule ihre Attraktion. Die unbegrünte technische Fassade kontrastiert mit der Vollbegrüpfung der Frontfassade, welche dem Gebäude ein „Vorne“ gibt. Unansehnliche Altfassaden, die auf ihre Sanierung oder Beseitigung warten, erweisen mit temporären oder mobilen Grünelementen - ebenso wie begrünete Bauzäune - ihrer Umgebung einen Dienst. [182]

Fünfte Fassade

Deutlich zu wenig Berücksichtigung finden Begrünungen von Flachdachaufsichten, obwohl sie die städtische Dach-“Landschaft“ prägen. Gerade tiefliegende Dachebenen werden von den zunehmenden Hochbauten stark eingesehen. Bei hügeliger Stadt-Topographie und Umgebung wirkt ein Großteil der Dächer an der Stadtgestalt mit. Hier eignen sich besonders Dachgärten mit der Aufbaumöglichkeit einer Intensivbegrüpfung, um die visuellen und klimatischen Qualitäten weithin erkennbar werden zu lassen.

<p>Maßstab Proportion Rhythmus Modularität</p>	<p>Horizontale Gliederung, Längung</p> 	<p>Vertikale Gliederung, Überhöhung</p> 	<p>Richtungslos, statisch</p> 	<p>Betonung der Fläche Reduktion durch Rasterung</p> 
<p>Kubatur</p>	<p>Öffnung der Basis Eingangssituation</p> 	<p>EG-Abschottung/Privat Stärkung der Basis</p> 	<p>Zurücknehmen der Basis, Stärkung oberer Abschluss</p> 	<p>Zwischenhöhe, Vermittlung</p> 
<p>Raumbildung Ebenentrennung Plastizität</p>	<p>Sichtschutz Sonnenschutz</p> 	<p>Schichtung, Tiefe</p> 	<p>Integration Zurücknahme</p> 	<p>Privatheit (Balkone, Loggien)</p> 
<p>Kontrast- Bildung</p>	<p>Geometrie/„Natur“</p> 	<p>Rhythmik</p> 	<p>Signal/Werbezeichen</p> 	<p>Vollflächig, Betonung einzelner Flächen</p> 

2.3.3 Gestaltungskriterien „Pflanze“ - Erscheinungsbild

Kletterpflanzen

Die erste Übersicht zum Gestaltungskriterium „Pflanze“ umfasst die bodengebundene Anwendung mit den zur Fassadenbegrünung geeigneten Klettergehölzen. Sie erlaubt eine schrittweise Entscheidungsannäherung nach den gestaltungsrelevanten Kriterien des Pflanzen-Habitus sowie seiner im Jahresturnus wechselnden Erscheinungsphasen (belaubt/unbelaubt, Blüte, Frucht und Farben). [66; 182] Die nach ihrer Kletterstrategie unterschiedenen Klettergehölz-Typen lassen in den Pflanzenlisten im Anhang eine Auswahl der Art zu. Dabei sind auch die Wüchsigkeit (ca. maximale Wuchshöhe) und die Wuchsrichtung (Breite) zu beachten: die Angaben sollten zu den Fassadenmaßen passen, damit nicht jedes Jahr ein Wartungseinsatz zur Wuchstrimmung erforderlich wird. [66; 182]








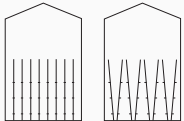
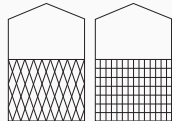
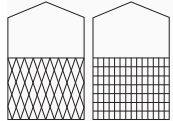




















Bauweise und Gestaltung des Klettergerüsts sowie die unterschiedlichen Kletterstrategien der Pflanzen sind im Zusammenhang zu betrachten, sie müssen funktional aufeinander abgestimmt werden. Bei der Pflanze gilt dies für die genetischen Daten (Verankerungstechnik der Pflanze, Dickenwachstum, Windekraft, Wuchsdynamik) ebenso wie für ihre physikalischen Größen (Eigengewicht, Niederschlagsgewicht und Windangriffsfläche im ausgewachsenen Stadium). Kletterhilfen sollten vorausschauend und langlebig entwickelt werden: ihr späterer Austausch hätte einen umfassenden Rückschnitt oder den Verlust der Begrünung zur Folge. [vgl. 66; 182]

Die im Ergebnis gefundene Materialität und die Dimensionierung im Ganzen, im Raster und im Bauteil können plane-

risch auf der Primärfassade abgebildet und zu einer gemeinsamen Architektur geführt werden. Die in der Übersicht dargestellten Kletterhilfe-Varianten zeigen Rasterungen, die zu den angegebenen Pflanzenarten passen. Ihre optimalen Abmessungen müssen im Einzelfall botanisch abgeklärt werden, um den Pflanzen ihre artgerechte Haltetechnik zu ermöglichen. [66; 182]

Mit den Angaben zu unterschiedlichen Belaubungsphasen der Gehölze wird ein weiteres Planungskriterium erwähnt, welches auf die Potenziale der Begrünung Einfluss nimmt: Während immergrüne Pflanzen (z. B. *Hedera Helix*, „Efeu“) infolge ihrer ganzjährig umfangreichen Blattmasse Vorzüge bei klimatischen und ökologischen Werten bieten, können sommergrüne Pflanzen (z. B. *Parthenocissus tricuspidata*, dreiblättriger „Wilder Wein“) eine natürliche saisonale Licht- und Schattensteuerung bei aktiven und passiven Funktionsflächen zur Gebäude-Erwärmung bieten. Wintergrüne Pflanzen behalten ihr Laub (teilweise verfärbt) über den Winter, bis der Neuaustrieb erfolgt. [66; 182]

Das Winterbild ist auf Grund seiner mehrmonatigen Erscheinungsdauer besonders zu beachten. Dessen Qualität kann durch Pflanzenwahl, Art und Gestaltung der Wuchshilfe sowie Pflege und Wartung beeinflusst werden. [182]

Gattung	Klettergehölze					
Kletterstrategie	Selbstklimmer		Gerüstkletterpflanzen			
	Wurzelkletterer	Haftscheibenranker	Schlinger/Winder	Ranker Blattstielranker	Sprossranker	Spreizklimmer
Struktur						
Kletterhilfe						
Flächenbild (m²a)	0,3-1 m²a gering- mittel	1,3-3 m²a mittel- schnell	0,3-5,5 m²a gering- schnell	0,2-4 m²a gering- schnell	0,3-2,8 m²a gering- schnell	0,6-2,5 m²a gering- schnell
Wüchsigkeit (max. Höhe)	4-25m	6-20m	2-30cm	1-15m	6-12m	2-10m
Wuchsrichtung (Breite)	vertikal bis horizontal 5-15m	vertikal bis stark horizontal 4-40m	vertikal bis horizontal 1-15m	vertikal bis (horizontal) 1-8m	vertikal bis horizontal 4-10m	(vertikal) bis horizontal 2-5m
Phasen						
Belaubungsphase	immergrün sommergrün	immergrün sommergrün	immergrün wintergrün sommergrün	sommergrün	sommergrün	immergrün wintergrün sommergrün
Blühphase	VII-IX	VII-VIII	IV-X	V-X	V-VII	V-X
Fruchtphase	I-III/VIII-IX	VIII-IX	V-XI	VIII-XI	VIII-X	VII-X
Farben						
Laubfarbe						
Blütenfarbe						
Fruchtfarbe						








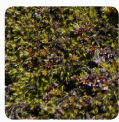























Übrige Pflanzen

Die zweite Übersicht des Gestaltungsbereichs „Pflanze“ zeigt Arten, die für eine wandgebundene Fassadenbegrünung und für Dachbegrünungen (Aufsicht = „fünfte Fassade“) geeignet sind. Hierbei handelt es sich um Zier-, Nutz- und Wildpflanzen. Unterschieden werden Moose, flachwurzeln Stauden (krautige Pflanzen) und Gehölze (verholzende Pflanzen), deren Angaben zur Struktur bereits Rückschluss auf die spätere Plastizität der Begrünungsfläche zulassen. Einheimische Wildpflanzen sind von Vorteil, da sie dem Standort angepasst sind und die Biodiversität bereichern. Das Gestaltungsziel kann von der reduzierten Architekturfläche mit einheitlicher Textur und Färbung (z. B. Moose) bis zum plastischen vielfarbigem „Vertikalen Garten“ reichen (Stauden, Gehölze). [182]

Die zu den angegebenen Arten aus Pflanzenlisten hervorgehenden Einzelpflanzen können jedoch nicht beliebig kombiniert werden: da sie in den Substratträgern der Begrünung in der Regel einheitliche Versorgungsbedingungen vorfinden, müssen sie miteinander eine Pflanzengesellschaft mit nahezu gleichen Anforderungen an die Nährstoffzusammensetzung sowie an die Wasserqualität und -Menge bilden. Die kleinste Einheit einer Pflanzengesellschaft ist das Modul. Lässt sich an der Rückseite der Begrünungs-Konstruktion eine Individualversorgung der Module einrichten, so erhöht die Anzahl möglicher Pflanzengesellschaften die Gestaltungsbreite. Auf Dächern lassen sich unterschiedliche Versorgungsansprüche von intensiv begrünten Trögen leichter einrichten und erhalten. [182]

Steht ein Ertragsziel (z. B. Früchte, Gemüse) im Vordergrund, werden die Pflanzorte und Wuchshilfen im Sinne früherer Spaliere auf den optimalen Ertrag und eine gefahrlose Erreichbarkeit ausgerichtet sein. Die hierbei eher bodengebundenen oder in Pflanzkästen (Dachfläche) gezogenen Einzelpflanzen verlangen nach regelmäßiger individueller Versorgung und Pflege („Urban Farming“). [182]

Das Wuchsverhalten gibt Anlass, die Gestaltung auf den kommenden Platzbedarf der Pflanzen abzustimmen: flächendeckende Arten verdrängen langfristig andere Arten, schnellwüchsige Arten werden Verschattungen ihres Umfelds mit sich bringen, worauf die Pflanzen-Nachbarschaft eingestellt sein sollte. Bei der Gruppe der Moose, Stauden und Gehölze sind immergrüne, sommergrüne und wintergrüne Arten gelistet; Moose und Flechten bilden z. T. leuchtende Trockenfarben aus. Ganzjährige Blühphasen können mit verschiedenen Stauden und Gehölzen erreicht werden. Bei den Gehölzen sind Bäume in der Gebäudebegrünung ein Sonderfall: neben fruchttragenden Arten („Spalierobst“) wird ihr Einsatz eher auf Dachgärten, Loggien und Terrassen erfolgen, um Windschutz, Sonnenschutz und Fernwirkung zu geben. Ihre Substrattiefe von mindestens 80 cm muss bereits beim Rohbau berücksichtigt werden, wenn Pflanzkästen vermieden werden sollen. Sturmsicherungen sind unerlässlich, Seilanker etc. sind für einen sicheren Flachdacheinbau erhältlich. [vgl. 182]

Gattung	Moose	Stauden					Gehölze	
Wuchs		Sukkulente	Blattschmuck-/ Blütenstauden, Kräuter	Farne	Gräser	Zwiebel-/ Knollen- pflanzen	Sträucher	
Struktur								
Textur								
Flächenbild	einheitlich	einheitlich	vielfältig	begrenzt vielfältig	begrenzt vielfältig	vielfältig	vielfältig	
Wüchsigkeit (max. Höhe)	gering 1-6cm	gering 5-50cm	mittel- schnell 5-150cm	gering- mittel 10-120cm	gering- schnell 10-150cm	gering- schnell 5-50cm	mäßig- schnellwüchsig 10-400cm	
Wuchsverhalten (mögliche Varianten)	aufrecht polsterbildend flächen- deckend	aufrecht polsterbildend flächen- deckend	horstbildend aufrecht, kragend überhängend polsterbildend	horstbildend (aufrecht) kragend überhängend	horstbildend (aufrecht) kragend überhängend	horstbildend (aufrecht) kragend überhängend	flach, aufrecht, straff, kragend, überhängend, polsterbildend rundwüchsig, dichtbuschig, sparriger Wuchs	
Phasen								
Belaubungs- phase	immergrün	immergrün wintergrün	immergrün wintergrün sommergrün	immergrün wintergrün	immergrün wintergrün sommergrün	sommergrün	immergrün wintergrün sommergrün	
Blühphase		VI-IX	III-X		III-IX	II-XI	I-XII	
Fruchtphase			VI-VII				VII-XII	
Farben								
Laubfarbe								
Blütenfarbe								
Fruchtfarbe								

2.3.4 Lebensbereich-Kriterien von Pflanzengesellschaften

Zur Erleichterung der Pflanzenwahl werden Pflanzen verschiedenen Lebensbereichen zugeordnet [225]. Diese richten sich nach den Standortansprüchen der Pflanzen. Es gibt für alle Standortbedingungen geeignete Pflanzen.

Klima

Pflanzengesellschaften müssen hinsichtlich ihrer klimatischen Anforderungen zusammenpassen. Bezüglich der Tiefst- und Höchsttemperaturen sind nationale Karten zu den Winterhärtezonen [242] und zur Globalstrahlung [240] verfügbar. Auch die Dachflächen- oder Fassadenexposition beeinflusst diese Werte, wie auch die für Pflanzen jeweils verträgliche Windanströmung. [182]

Lichtverhältnisse

Auch bezüglich der Lichtexposition sind gemeinsame Anforderungen nötig [225]. Die Sonnenscheindauer [241] verläuft von Süden nach Norden abnehmend, was zu einer unterschiedlichen Pflanzenwahl führt. Besonderen Einfluss auf die Pflanzenwahl nimmt die Himmelsrichtung der Begrünungsfläche. [182] Hierbei ist eine mögliche Umkehrwirkung zu berücksichtigen: Südfassaden-Begrünungen können durch Nachbargebäude teil- oder vollverschattet werden, was zur Auswahl absonniger Pflanzen führt, Nordflächen-Begrünungen können durch Sonnenlicht-Reflexion an gegenüberliegenden Glas- oder Spiegelfassaden zu hell belichteten Flächen werden, was eine Auswahl sonnenverträglicher Pflanzen erfordert. [182]

Pflanzenbedürfnisse

Gemeinsame Anforderungen sind zu berücksichtigen bezüglich Besonnung oder Schattenbedarf, Wasserbedarf und Wasserqualität (pH-Wert, Härte),

Zusammensetzung und Menge der Nährstoffe sowie Bodeneigenschaften (Bestandteile, Acidität, Wasserspeichermöglichkeit/Durchlässigkeit und Durchlüftung). [182]

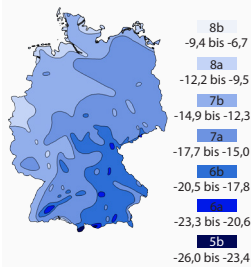
Der Sonnenverlauf bestimmt mit seinem mittleren Einstrahlwinkel die Wuchsrichtung sonnenbedürftiger Pflanzen, was bei der Wahl des Pflanzenstandorts zu beachten ist. [182]

Die Erfüllung dieser Kriterien vorausgesetzt, kann die Pflanzenauswahl nach gestalterischen Zielen (Farbe, Belaubungsphase, Blühphase, Textur) erfolgen. [182]

Klima

Abhängigkeit von Tiefsttemperaturen

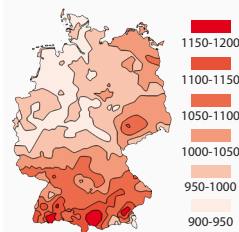
nach Heinze/Schreiber 1984



Winterhärtezonen/Kälteverträglichkeit (°C)

Abhängigkeit von Höchsttemperaturen

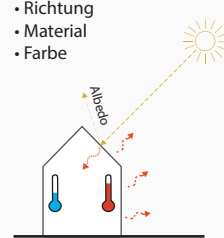
nach DWD 2012



Globalstrahlung (kWh/m²a)

Abhängigkeit von Wärmeentwicklung

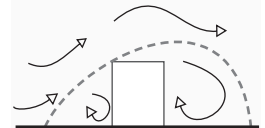
- Lage
- Richtung
- Material
- Farbe



Wärmeverträglichkeit

Abhängigkeit von Windanströmung

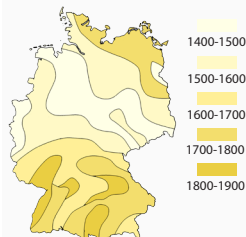
- Dimension Gebäude
- Umgebung (Topografie, Vegetation)



Windfestigkeit

Lichtverhältnisse

Abhängigkeit vom Breitengrades

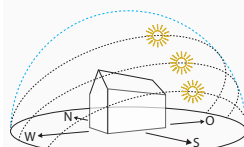


nach Jocher 2010

Durchschnittliche Sonnenscheindauer (h/a)

Himmelsrichtung

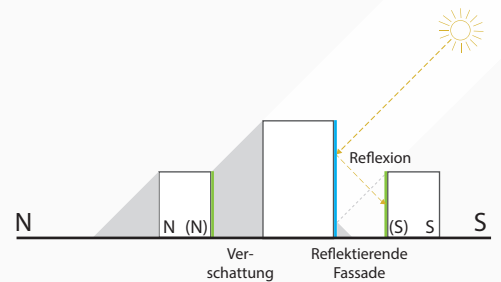
Einfluss der Lichtverhältnisse durch Exposition und Jahreszeiten



Süden: Sonne
Osten/Westen: Sonne (unterschiedlicher Intensivität)-Halbschatten
Norden: absonnig

Verschattung

Einfluss der umgebenden Bebauung auf die Lichtverhältnisse



Umkehrwirkung

Reflexion

Pflanzenbedürfnisse

Licht/Wärme

Licht-/Temperaturzahl nach Hansen/Stahl 1997



Sonne, Halbschatten, Schatten (absonnig)



Einfluss auf Pflanzstandort, Wuchsrichtung und Bedeckungsgrad

Wasser

Feuchtezahl, PH-Wert nach Hansen/Stahl 1997



trocken, frisch, feucht, nass

Wasserhärte (°dH) nach lexikon.wasser.de



Nährstoffe

Anorganische und organ. Verbindungen (s. Bund deutscher Staudengärtner)

Einfluss auf Pflanzenwachstum
Überfluss = Fehlernährung/Wasserverunreinigung

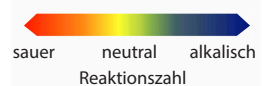


Calcium, Eisen, Kalium, Magnesium, Phosphor, Schwefel, Stickstoff, Zink

Bodeneigenschaften

Durchlässigkeit, PH-Wert nach Hansen/Stahl 1997

Permeabilität: Kies, Sand, Schluff, Ton, Anteil organischer Bestandteile



2.3.5 Versorgungstechnische Kriterien

Versorgung / Entsorgung

Gebäudebegrünungen sind generell von Bodenanschluss/Bodenwasserversorgung bzw. deren qualifizierten Ersatz durch Substrat und künstliche Bewässerung mit Nährstoffversorgung abhängig. [182] Dies bedarf der regelmäßigen Kontrolle und ggf. einer manuellen Nachversorgung. Hierzu sollte ein Wasseranschluss (bevorzugt an eine kühl im Erdreich liegende Regenwasser-Zisterne) und ein Stromanschluss (Zisternenpumpe, Pflegegeräte) eingerichtet werden. Für die Speicherung von überschüssigem Dachwasser sind ein Grobsieb und ein Feinfilter der Zisterne vorzuschalten. [182]

Extensive Begrünungen von Flachdächern sind bezüglich der Pflanzengesellschaft auf Trockenphasen eingestellt. Eine Mindestversorgung bei allen Dachbegrünungstechniken liefern wasserspeichernde Bestandteile im Substrat sowie darunter angeordnete Regenwasser-Speicher (Anstaubehälter bzw. Vlies-Speichermatten). Dachabläufe und Zisternensiebe müssen regelmäßig (zusätzlich nach Starkregen) kontrolliert und gereinigt werden. Bei extensiver Dachbegrünung können durch Windverblasung Bereiche mit hoher Substratdeckung entstehen, was zum Anwuchs von Baumtrieben führen kann. Besonders Birken treiben ihr Wurzelsystem schnell und großflächig unter dem Begrünungsaufbau voran. Die gleichmäßige Stärke der Substratdeckung muss kontrolliert werden. Fremdaufwuchs ist regelmäßig zu entfernen.

Wandgebundene Fassadenbegrünungen sind auf eine ganzjährige automatisch gesteuerte Wasser- und Nährstoffversorgung angewiesen. Dies kann zu einem stark erhöhten Trinkwasserverbrauch führen. Hier empfiehlt sich deshalb eine

Speicherung von Niederschlags- bzw. Dachwasser in einer Zisterne (Steuerung, Pumpe, Vorsiebe), von wo aus das Wasser/Nährstoff-Gemisch über Tropfschläuche den Substratbehältern zugeführt wird. Bewässerungsanlagen sollen in der Lage sein, die Menge natürlicher Niederschläge zu erfassen, um Übersäuerungen des Substrats mit der Folge einer Schimmelbildung bzw. Pflanzenschädigung vorzubeugen. [182]

Pflege / Wartung



Die Erreichbarkeit der begrünten Flächen für Pflege und Wartung muss dauerhaft sichergestellt sein. Wo Leitern nicht ausreichen, werden Hubeinrichtungen benötigt, deren Zufahrt und Aufstellfläche rechtlich gesichert sein muss. Der Zustand von Wuchshilfen und wandmontierten Systemen muss auf Schäden (Korrosion, Brüche/Risse, Überlastung) überprüft werden. [182] Eine Pflanzenkontrolle an Fassaden und auf Dächern sollte regelmäßig (zusätzlich nach außergewöhnlichen Wetterereignissen) durchgeführt werden. Zur Reduktion der Brandlast sind vertrocknete bzw. verblühte Teile zu entfernen. Rückschnitte sind bei Unterwachsungen an sensiblen Bauteilen erforderlich, um zerstörerischem Dickenwachstum zuvor zu kommen. Zur Erzielung des geplanten Wuchsbildes sind Formschnitte möglich. [vgl. 182]

Trockenes Laub, Zweige und Blüten (allergene Stäube) werden u. U. als Belästigung bzw. Verschmutzung gewertet. Dem ist durch passende Pflanzenwahl und jahreszeitlich angepasste Säuberung vorzubeugen. Der Biomasseanfall (Laub, Grünschnitt) kann zur Bodenherstellung oder zur Energieproduktion weiterverwendet werden. [182]

Versorgung

-  Wasser
-  Nährstoffe
-  Strom

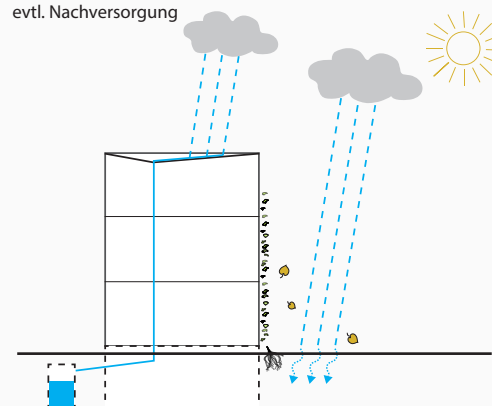
Entsorgung

-  Perkolat
-  Biomasse

Bodengebundene Begrünungen

Wurzelung in Bodenfläche mit Bodenwasseranschluss

Abhängig von natürlichen Gegebenheiten, evtl. Nachversorgung

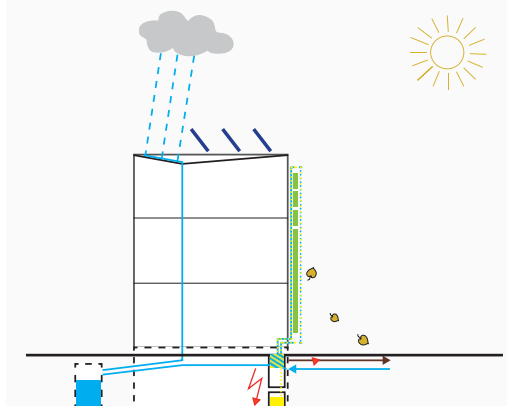


- Außen-Wasseranschluss, ggf. Zisterne (für manuelle/künstliche Bewässerung)
- Entsorgung Laub/Grünschnitt (z. B. Kompostierung)
- Stromanschluss für Zisterne, ggf. für Pflege/Wartung

Wandgebundene Begrünungen

Wurzelung in Substratsystemen

Abhängig von diversen Versorgungstechniken

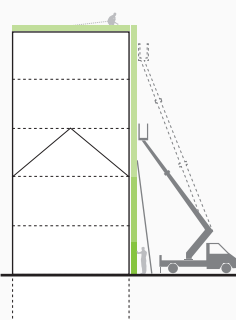


- Versorgungszentrale in Begrünungsnähe: Wasser- und Nährstoffversorgung (Wasserhärte/Wasserdruck?), Entwässerung, ggf. Filterung Feinstoffe, Stromanschluss
- Wasserkreislauf: Tropfschlauch, Sprühschlauch oder Nebelanlage, ggf. Steuerung durch Feuchtigkeitssensoren, ggf. Anschluss an Dachentwässerung, Überlaufanschluss
- Entsorgung: Schmutzwasser, Laub/Grünschnitt
- ggf. Zisterne (Stromanschluss), ggf. Photovoltaik (Hilfsstrom)

Pflege

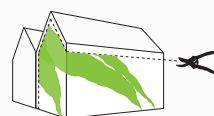
Erreichbarkeit

Abhängig von Gebäudehöhe und Begeh-/Anfahrbarkeit



- fußläufig 0 bis 1,80m
- Leiter bis 5m, max. 7m Standhöhe
- darüber Steiger/Gerüst/Hubbühne

Wuchsbild



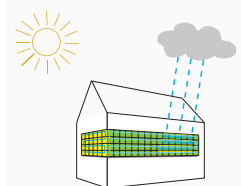
- Schnitt: Schutz sensibler Konstruktionen (Türen, Fenster, Dachanschluss, Blitzableiter, etc.), Höhen-/Breiten- und Dickenwuchsbegrenzung, Entfernen von Totholz und Wildwuchs

Konstruktion



Pflanzgerechte Materialwahl und Dimensionierung der Primärkonstruktion, Sekundärkonstruktion und der Pflanzen tragenden Medien

Bewässerung/ Nährstoffversorgung



Substrat, Bewässerung und Nährstoffversorgung nach Bedarf


- Ersatz/Nachpflanzung
- ggf. Substratersatz
- Schnitt: Höhen-/Breiten- und Dickenwuchsbegrenzung
- Entfernen von Totholz und Wildwuchs

Instandhaltung

- Prüfen auf Rissfreiheit der Primärkonstruktion
- Vermeidung von Korrosion
- Prüfen auf Materialermüdung
- Verhinderung von Durchfeuchtung der Primärkonstruktion
- Verhinderung von Überlastung der Sekundärkonstruktion und/oder Pflanzen tragenden Medien durch Zunahme des Pflanzengewichts

Zusätzliche Niederschläge beachten, Übernässung vermeiden!

Austrocknung in Rand- und Sonnenbereichen beachten!

 Vor Frost Tropfrohre entleeren

Wartung

2.4 Fassadenbegrünung

2.4.1 Bauweisen und Pflanzenauswahl

Die heutige Bandbreite erfolgreicher Begrünungen von vertikalen Flächen umfasst zwei grundsätzlich unterschiedliche Bauweisen mit jeweils mehreren Varianten, nämlich die „bodengebundenen Begrünungstechniken“ und die „wandgebundenen Begrünungstechniken“ sowie Mischformen beider Bauweisen. [57; 58; 61; 62; 63; 64] Alle vertikalen Begrünungsformen zeichnen sich durch eine Reihe bestimmter Leistungsfaktoren zur Verbesserung der Stadtökologie und der städtischen Lebensqualität aus. Die jeweils einer bestimmten Begrünungsform zuzuordnenden Leistungen und entsprechende Messwerte sind im Kapitel 4 aufgeführt.

Bodengebundene Fassadenbegrünung

(Abb. 15) Die ursprüngliche und nach wie vor aktuelle Begrünungstechnik für Fassaden, Brandwände, Grenzmauern etc. bezieht ihre Wasser- und Nährstoffversorgung aus dem anstehenden Erdreich bzw. aus einem ersatzweise hergestellten Bodenvolumen. Dabei kann es sich neben gewachsenem Boden auch um ein künstlich bereitgestelltes Bodenmaterial handeln (Baugrubenanfüllung,

Bodenaufbau über Tunneln, Tiefgaragen und auf Flachdächern). Entscheidend sind eine pflanzengerechte Bodenqualität bezüglich Zusammensetzung und Masse sowie ein natürlicher Bodenwasseranschluss durch die Zuführung und Speicherfähigkeit von Regenwasser. Bei zu tief liegendem Bodenwasserspiegel, unzureichend regenbeaufschlagten Pflanzorten und anhaltenden Trockenperioden ist eine zuverlässige Ersatzbewässerung (manuell oder automatisch) unerlässlich. [61; 182]

Wandgebundene Begrünung

(Abb. 16) Neben den traditionellen bodengebundenen Varianten erfahren autarke Begrünungssysteme ohne Boden- und Bodenwasseranschluss eine stark zunehmende Bedeutung, denn sie stoßen auf ein breites, gerade innerstädtisches Anwendungspotenzial, hohe Akzeptanz und entsprechend reges Forschungsinteresse. [57; 58; 61; 62; 63; 64; 182] Die Pflanzen werden dabei in "Regal-systemen" (übereinander gestapelte horizontale Vegetationsflächen) oder in senkrecht vor der Gebäudewand montierten bzw. in die Fassade

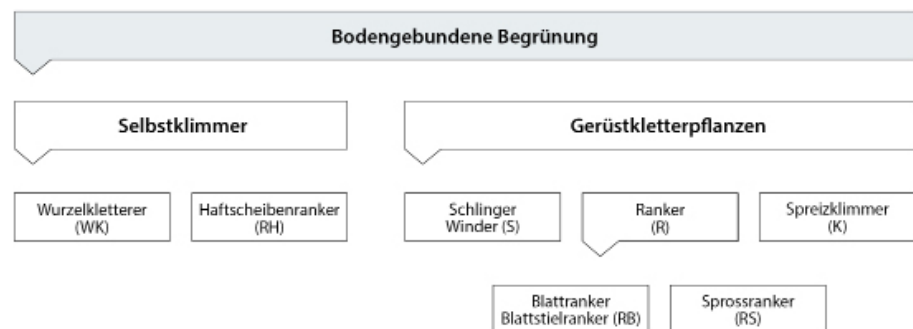


Abb. 15: Systematik Bodengebundene Begrünung (© Nicole Pfoser 09/2009 - Grundlage: FLL Fassadenbegrünungsrichtlinie 2000)

integrierten Vegetationsflächen („Vertikale Gärten“) als „modulare“ oder „flächige“ Systeme ausgebildet. [57; 58; 61; 62; 63; 64; 182]

Unabhängig von der Technik ihrer Substraträger ist den unterschiedlichen Arten der fassadengebundenen Begrünung eine frühe Integration in die architektonische Fassadengestaltung zu eigen: war in der Regel die bodengebundene Fassadenbegrünung eine freie Themenüberlagerung von Fassadengestaltung und natürlichem Pflanzenwuchs (nur selten in eine gestaltete Synergie gebracht), so verlangt die fassadengebundene Begrünung eine integrative Planung und eine Vorstellung des gestalterischen Fertigzustandes. Die Pflanze wird zum kalkulierten Bestandteil der Gestaltung und erfährt eine in bestimmten Intervallen durchzuführende Wartung ihrer Versorgung und Trimmung ihrer Wuchsform [57; 58; 61; 62; 63; 64; 182].

Die Verschmelzung zwischen Architektur, aktiver und passiver Energiegewinnung, Landschaftsarchitektur und Botanik ist ein Kerngedanke dieser

neuen, interdisziplinär anspruchsvollen Begrünungstechnik. Die Pflanze versorgt sich dabei ausschließlich aus dem Nährstoffangebot der vertikalen Flächensysteme (Substrat, nährstoffhaltige Bewässerung). Aus dem alten Paten „Blumenkasten“, der teilweise mit Misstrauen verfolgten Kletterpflanze und der - damals bekämpften - bemoosten Steinfläche entwickelten sich in den zurückliegenden zwanzig Jahren erfolgreiche, anwendungs- und bautechnisch unterschiedliche Systeme sowie innerhalb dieser verschiedene Varianten zur Herstellung, Versorgung und Pflege großflächiger fassadengebundener Vertikalbegrünungen. Die Ergebnisse reichen von der exakt gesteuerten, flächenebenen und monochromen Steinplatten-Bemoosung bis hin zu voluminösen, lebhaft gegliederten Staudengärten („living wall“) selbst in Lagen, die für die klassische erdgebundene Fassadenbegrünung nicht mehr erreichbar wären [vgl. 58; 182].

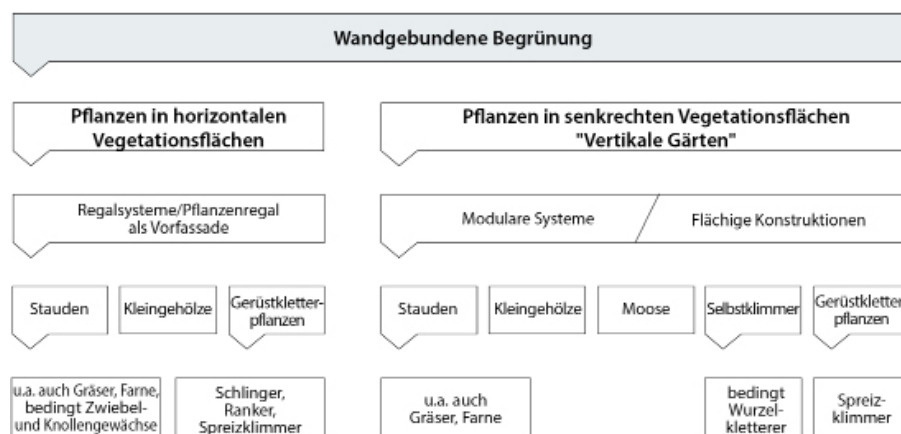


Abb. 16: Systematik Wandgebundene Begrünung (© Nicole Pfoser 09/2009)

Mögliche Anlässe zur Anwendung einer fassadengebundenen Begrünung sind:

- Die Ebene Null ist so eng unterbaut (z. B. Tiefgarage, Städtische Infrastruktur), dass ein qualifizierter Boden- und Bodenwasseranschluss nicht herstellbar ist. [58; 182]
- Die Ebene Null ist mechanisch bzw. chemisch so stark belastet, dass sie als regelrechter Pflanzenstandort ausscheidet (Passanten, Spielplatz, fließender und ruhender Verkehr/Tausalz, Urin, Reinigungsmittel, Benzin/Öl). [58; 182]
- Die Begrünung soll planmäßig abschließlich an höher gelegenen Gebäudeflächen realisiert werden (z. B. Lagebezug der Begrünung zu Geschossebene, Begrünungsfläche ohne Unterbau (vorkragende Außenwand) oder durch nicht begrünbare Flächen (Vollverglasung/Ladenzone) vom Erdboden getrennt. [58; 182]
- Die Begrünung ist als Gestaltungsthema eines hochliegenden Wandfeldes mit Fernwirkung (z. B. als Werbefläche oder Kunstwerk) geplant. [58; 182]
- Bodengebundene Begrünungsbereiche mit natürlichem Erdanschluss werden mit fassadengebundenen Begrünungstechniken kombiniert (Mischformen). [58; 182]
- Anwendung als Interimslösung: immergrüne Systeme ermöglichen eine befristete Überkleidung schadhafter, unsanierter bzw. unansehnlicher Gebäudefassaden, Brandwände etc. Die Systeme eignen sich auch als vorkultivierter Sichtschutz zu Baustellen (Bsp. Corso di Porta Ticinese, Mailand; Green Green Screen, Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo). [58; 182]

Alle wandgebundenen Begrünungssysteme benötigen eine künstliche, automatisch gesteuerte Bewässerungstechnik, vorzugsweise als Regenwassernutzungsanlage, die mit Dachwasser gespeist

wird. Ausnahme: allein eine Bepflanzung als Monokultur mit laubabwerfenden Pflanzen benötigt bei ausreichender sommerlicher Regenbeaufschlagung keine künstliche Bewässerung. Für immergrüne Pflanzen ist eine ganzjährige Wasser- und Nährstoffversorgung erforderlich. Ist eine Verwendung von Leitungswasser nötig, sollte zuvor der Kalkgehalt geprüft und ggf. technisch beseitigt werden, denn das flächig verzweigte Bewässerungssystem der Substratträger kann nur unter hohem Aufwand entkalkt werden, ohne das Substrat durch Lösungsmittel zu schädigen. Die Bewässerungsführung soll von oben mit der Schwerkraft nach unten erfolgen. Überschüssiges Wasser muss (zwingend über öffentlichem Raum) aufgefangen und abgeführt werden, um störendes Abtropfen und Pfützenbildung zu vermeiden. Am Fußpunkt ist eine Einlaufrinne auf Länge der Pflanzenwand anzuordnen. [182]

Die Gestaltungsbreite ist angesichts der kaum eingeschränkten Pflanzenwahl sehr groß. Firmen arbeiten mit einer Auswahl verschiedener bewährter Pflanzenarten, mit davon in der Regel nicht mehr als 10 - 15 pro Begrünung. Wegen des reduzierten Wurzelraumes sollten flachwurzeln Pflanzen zur Anwendung kommen. Sie müssen winterhart sein und möglichst in gedämmte Pflanzgefäße eingesetzt werden. Bei der Pflanzenauswahl ist deren Eignung zu beachten: sie muss im Hinblick auf die Wuchshöhe und das Wuchsverhalten sowie bezüglich Winterhärtezone (in Deutschland in der Regel Winterhärtegrad 2-8), Exposition, Blattphase, Blatt- und Blütenfarbe sowie Wuchshöhe und Wuchsverhalten (aufrecht, kragend, überhängend) ausgewählt werden. [182]

Benachbarte Pflanzen sollten hinsichtlich Lebensform (Geselligkeit, Standortanspruch, Substratzusammensetzung, pH-Wert und Bodenfeuchte) harmonisieren (siehe Kapitel 2.3.4). Zur Ermittlung der aktuellen Bauweisen kann mittlerweile eine internationale Fachliteratur ausgewertet werden [u.a. 8; 29; 52]. In Forschung befindet sich eine umfassende Auflistung zur jeweiligen Pflanzeignung. Hierzu müssen Langzeiterfahrungen abgewartet werden.

Mischformen

Mischformen aus bodengebundenen und wandgebundenen Begrünungssystemen (Abb. 17) sind vorwiegend den örtlichen Verhältnissen angepasste Lösungen. Sie müssen den Versorgungsanforderungen beider Systeme gerecht werden. Ein Anlass zur Realisierung von Mischformen kann in den Pflanzenarten liegen. Beispiel: die ausgewählten bodengebundenen Pflanzen erreichen eine begrenzte Höhe, darüber liegende Geschosse erhalten eine wandgebundene Begrünung. [182]

Konstruktionskriterien

Gestalterische Ziele und bautechnische Möglichkeiten steuern die Auswahl der Begrünungsform und der Pflanzeignung (Abb. 19). Die Reihung der Möglichkeiten zeigt zunächst die klassischen preiswerten Anpflanzungen der Direktbegrünung und der fassadenschonenden Begrünung mit separater Wuchsebene. Ist dies mangels natürlichem Bodenanschluss nicht realisierbar, sind bodenfreie Begrünungen in drei unterschiedlichen Systemen erläutert, die folgende Gemeinsamkeiten haben: [182]

- Wandmontierte Tragkonstruktion zur Aufnahme des Gesamtgewichts
- Ersatzlösung zur Substrat-Bevorratung (Gefäße, Module, Pflanztaschen)
- ganzjährige automatische Wasser- und Nährstoffversorgung, ggf. mit Zisterne
- Anforderung an regelmäßige Kontrolle und Wartung der Komponenten

Die Systeme bilden jeweils eine typische Architektursprache aus. Die Breite der Pflanzeignung ist umfangreich, sie reicht vom ebenen monochromen Teppich bis hin zum buschigen bunten „Vertikalen Garten“. [182]

Die unterschiedlichen Pflanzeigenschaften erlauben jedoch nicht einen

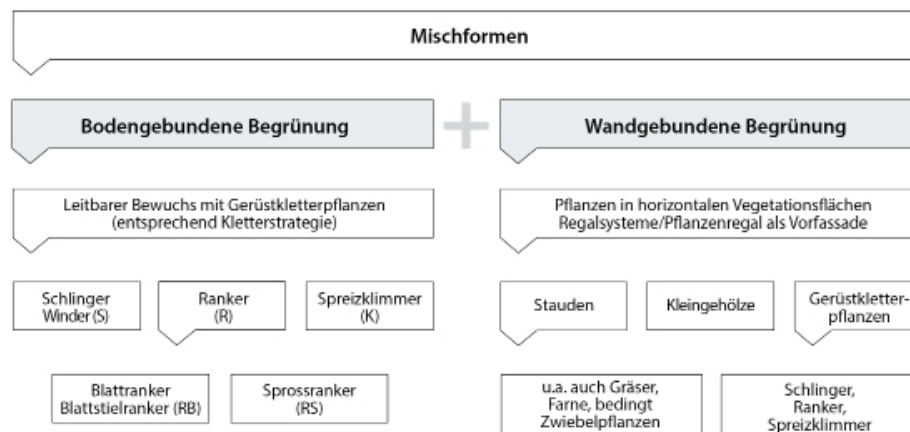


Abb. 17: Systematik Mischformen
(© Nicole Pfoser 09/2009)

Einsatz an jeder Fassade. Die Auswahl ist zunächst hinsichtlich einer Verträglichkeit mit dem Aufbau der Gebäudeaußenwand einzuschränken. Riss- oder fugenreiche Wände und negativ phototrope (lichtfliehende) Haftorgane der Pflanzen dürfen z. B. nicht zusammenkommen. Solarthermische Fassadenflächen zur Unterstützung der Heizungsversorgung benötigen eine saisonal passende Belaubungsphase. [182] Die Abbildung 18 liefert eine Bandbreite jeweils geeigneter Pflanzenarten, aus der anhand weiterer Pflanzenkriterien Einzelpflanzen oder Pflanzengesellschaften hervorgehen.

Qualität der zu begrünenden Wände (Primärkonstruktion) sind zu berücksichtigen. Ausschlaggebend sind die Exposition und das Gesamtgewicht des Begrünungssystems (Eigengewicht ausgewachsener Begrünung, Sekundär- und Versorgungskonstruktionen, Niederschläge, Windkräfte). Wasseranschluss und Außensteckdose (Wartung) sind zu empfehlen. Es besteht in der Regel Baugenehmigungspflicht (Statik/ Brandschutz/Brandlast). Eine rechtliche Klärung ist erforderlich bei Grenzberührung (Überhang, Platzbedarf Wartung). Durch gezielt geplante Wuchshilfen/ Wuchsbehälter kann erreicht werden, dass das Winterbild der Begrünung nicht von abgestorbenen Pflanzenteilen

Abb. 18: Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken (© Nicole Pfoser 01/2012, Grundlage: FLL Fassadenbegrünungsrichtlinie 2000)

Grundsätzliche planerische Klärungen

Die Tragfähigkeit und Oberflächen-

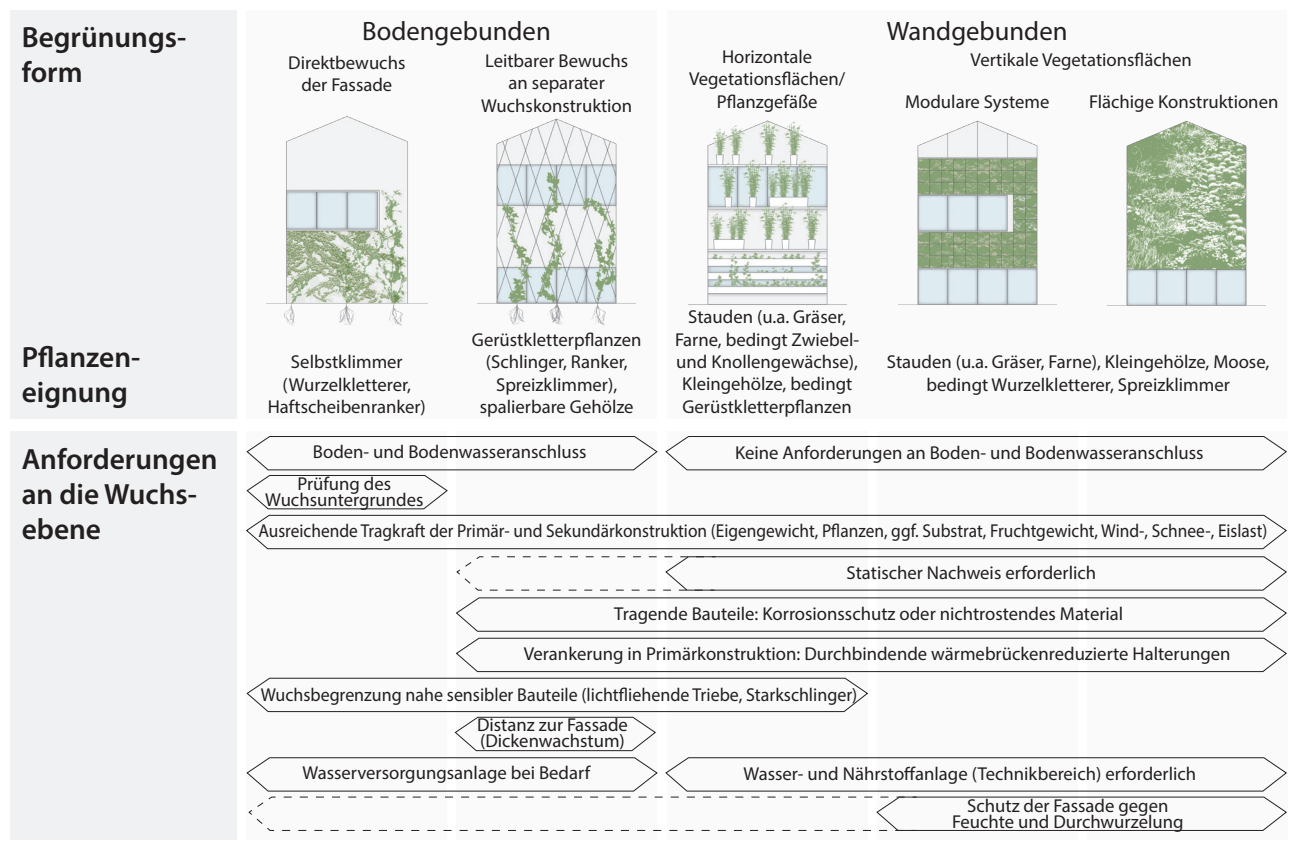
Ungedämmte Außenwände			Gedämmte Außenwände				
Massive Wandaufbauten	Ständer- und Fachwerksbauweise	Luftkollektor-Fassaden zur Direkterwärmung der Wand	Massive Wandaufbauten	Ständer- und Fachwerksbauweise	Mehrschalige nicht hinterlüftete Wandaufbauten	Mehrschalige hinterlüftete Wandaufbauten	Luftkollektor-Fassaden zur Erwärmung eines Luftvolumens
<ul style="list-style-type: none"> • Ortbeton- und Betonfertigteilwände, Sichtfläche glatt oder strukturiert 1, 2-7, 8 • Sichtmauerwerk-Fassaden (mit geschlossenen Fugen) 1, 2-7, 8 • Beton- oder Mauerwerkswände mit Verputz (intakt) 1-2, 4-7, 8 • Beton- oder Mauerwerkswände mit Streichbeschichtung, Fliesen- oder Plattenbelag 1, 2, 4-7, 8 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzskelett-Bauweise bekleidet oder ausgefacht 2, 4-8 • Metallskelett-Bauweise bekleidet oder ausgefacht 2, 4-8 	<p>Lichtdurchlässige Außenhaut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorfassade als Glas, Acrylglas, Polycarbonatplatten 2, 4-8 • Vorfassade als Folienkonstruktion 2, 4, 6-8 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmedämm-Beton 1-8 • Leichtbeton-Mauerwerk 2, 4-8 • Mauerwerk aus porositärem Ziegelmaterial 2, 4-8 • Beton- oder Mauerwerkswände mit Verputz (intakt) 1-2, 4-7, 8 • Beton- oder Mauerwerkswände mit Streichbeschichtung, Fliesen- oder Plattenbelag 1, 2, 4-7, 8 	<ul style="list-style-type: none"> • Glasfassaden, Acrylglas-, Polycarbonatplattenfassaden 2, 4-5, 6-8 • Folienkissen-Konstruktion 2, 4, 6-8 • Sandwichpaneele (Glas, Metall/Bleche, Kunststoff) 2, 4-8 • Mehrschalige gedämmte Fachwerk-wände in Großtafel-Bauweise aus Holzwerkstoffen mit und ohne Putzträger 2, 4-7, 8 • Pfosten/Riegelbauweise aus Konstruktionsholz mit Stroh lehm-Ausfachung, beidseitig verputzt 2, 4-7, 8 	<p>mit Kerndämmung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Außenschale aus Ortbeton oder Beton-Fertigteilen, Sichtfläche glatt oder strukturiert 1, 2-7, 8 • Sichtmauerwerk-Außenschale (mit geschlossenen Fugen) 1, 2-7, 8 • Außenschale aus Mauerwerk oder Beton, zusätzlich Sichtbelegung aus Fliesen oder Platten 1, 2, 4-7, 8 • Außenschale aus Mauerwerk oder Beton, zus. Außenputz (intakt) 1-2, 4-7, 8 <p>mit Außendämmung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf tragender Wand aus Mauerwerk oder Beton 2, 4-8 • Transparente Wärmedämmung (TWD) vor Wärmespeichernder Massivwand 2, 4-8 	<ul style="list-style-type: none"> • Massive Außenschale aus Ortbeton oder Beton-Fertigteilen, Sichtfläche glatt oder strukturiert 2, 4-8 • Massive Außenschalen aus Sichtmauerwerk 2, 4-8 • Mineralische Außenschalen aus Plattenmaterial (Naturwerkstein/Betonwerkstein/Kunststein, Keramik) 2, 4-8 • Außenschalen aus Holz- und Holzwerkstoffen 2, 4-8 • Dünnwandige Vorsatzschalen (Metall-Kantbleche, Kunststoff-Formelemente, Glasplatten, Acrylglas-, Polycarbonatplatten) 2, 4-8 • Verbundwerkstoffe (Metall-/Kunststoff- und Holz-Verbundwerkstoffe) 2, 4-8 • Verbundpaneele mit Photovoltaik 6-8 (nicht verschattend) • Folien-Vorfassaden 2, 4, 6-8 • Gewebe-Vorfassaden (Kunstfaser-Textilgewebe, Metallgewebe) 6-8 	<p>Transparente Ausführung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Glas-, Acrylglas-, Polycarbonatplatten-Vorfassaden 2, 4-8 • Folien-Vorkonstruktionen 2, 4, 6-8 <p>Lichtdichte Ausführung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absorptionsoptimierte Metallblech-Oberflächen 2, 4-8 • Keramische Materialien, Naturwerkstein-, Betonwerkstein-, Kunststeinplatten und Verbundwerkstoffe in Forschung! 2, 4-8
<p>LEGENDE</p> <p>Selbstklimmer (bodengebunden/wandgebunden)</p> <p>1 Wurzelkletterer/Haftscheibenanker</p> <p>Gerüstkletterpflanzen (bodengebunden/wandgebunden)</p> <p>2 Schlinger/Windler 3 Starkschlinger 4 Ranker 5 Spreizklimmer</p> <p>Nicht kletternde Begrünungen (wandgebunden)</p> <p>6 Stauden 7 Kleingehölze 8 Moose</p> <p><i> bedingt geeignet (Prüfung im Einzelfall) Hafgrund und auf pflanzenphysiologische Eignung prüfen! Unerwünschte Möglichkeit des Hinterwachens prüfen! Statische Belastbarkeit der Außenhaut prüfen!</i></p>							

bestimmt wird. Alle Systeme müssen eine sichere Wartungs- und Pflege-Zugänglichkeit haben, um den Ersatz abgestorbener Flächen bzw. Gestaltungsänderungen wirtschaftlich ausführen zu können. Wandgebundene Begrünungssysteme benötigen eine ganzjährige automatisch gesteuerte künstliche Bewässerung mit Nährstoffversorgung, was zugleich sorgfältig aufeinander abgestimmte Pflanzengesellschaften erfordert. Alle Bestandteile eines Begrünungssystems sind auf die geplante Lebensdauer abzustimmen. [182]

Bodengebundene Direktbegrünung (Abb. 20 ①) Für eine Direktbegrünung sind standfeste, rissfreie Fassaden-

oberflächen geeignet (Beton, Mauerwerk vollverfugt, mineralische Putzflächen, mineralisch beschichtete Flächen ohne Hohlstellen). Ungeeignet sind Bekleidungen mit offenen Fugen, Wände mit außenliegender Wärmedämmschicht (WDVS), Dispersionsfarben sowie Wandbereiche mit empfindlichen Mechaniken (z. B. Lüftungsklappen, Markisen, Lamellen, Klapp- und Rollläden, Uhren). Hier können - wie auch bei Verglasungen und an offenen Rinnen - Wuchsbegrenzer an der Fassade montiert werden (nichtrostende Kantbleche gemäß fertiger Bewuchsdicke). Die Boden- und Bodenwasserqualität ist zu prüfen. Die Pflanzorte sollten die spätere Wuchsausbreitung zum Licht hin berücksichtigen. [182]

Abb. 19: Konstruktionskriterien Fassadenbegrünung (© Nicole Pfoser 09/2009)



Begrünung an Sekundärkonstruktion

Ist die Gebäudewand (Primärkonstruktion) für die Aufnahme einer Direktbegrünung oder ihrer Lasten ungeeignet, wird eine selbsttragende Sekundärkonstruktion („Klettergerüst“) als Wuchshilfe mit Distanzkonsolen auf eigenen Fundamenten benötigt (Abb. 20 ②). [182] Wuchshilfen können aus Metall oder Holz (Stäbe, Gitter) bzw. aus Draht- oder Kunstfaserseilen (parallel oder netzförmig) bestehen. Sie dürfen nicht korrodieren und nicht pflanzenschädlich beschichtet sein, sollen sich in der Sonne nicht über 60 °C aufheizen und müssen in ihrer Dimension bzw. Spannkraft auf die jeweiligen Pflanzen-Eigenarten abgestimmt sein. Das Wuchsverhalten bestimmt den Mindestabstand zur Gebäudewand - größere Abstände können aus funktionalen Gründen (Umschließung von Geschossumgängen zur Wartung, Fluchttreppen etc.) oder gestalterischen Gründen (Tageslicht-

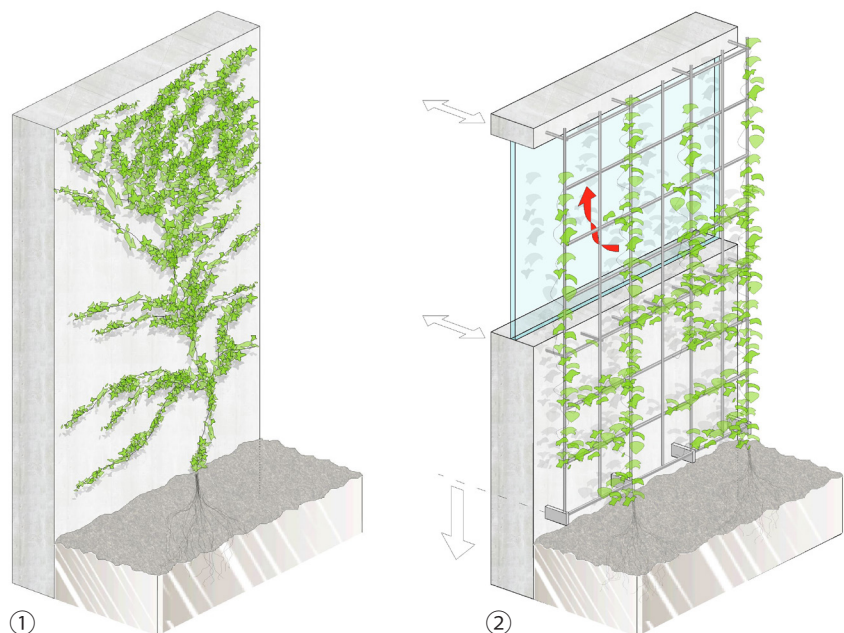
einfall zwischen Wuchshilfe und Gebäudewand, Begrünungsebene als Sichtschutz auf Abstand etc.) realisiert werden. [182]

Wandgebundene Begrünungen

„Lineare Bauweise“

Horizontal laufende Rinnen (Metall, Keramik) oder lineare Reihungen aus Einzelbehältern (Abb. 20 ③) werden an einer tragenden Sekundärkonstruktion bzw. auf Auskragungen so auf Distanz übereinander gestapelt, dass die Wuchsgröße der Pflanzenwahl sowie (vor Glas) ein geplanter Lichteinfall nicht behindert werden. Im Übrigen ist die Pflanzenauswahl kaum eingeschränkt. Die Rinnen bzw. Einzelbehälter nehmen als Wasser- und Nährstoffspeicher das Substrat auf. Die nötige künstliche Wasser- und Nährstoffversorgung verläuft frostsicher bis zur Konstruktion, wird in der Sekundärkonstruktion zu den einzelnen Substratlagen geführt, wo sie z. B. mittels Tropfbewässe-

Abb. 20: Ausbildungsformen der Fassadenbegrünung: ① Direktbewuchs mit Selbstklimmern, bodengebunden. ② Leitbarer Bewuchs an separater Wuchskonstruktion, bodengebunden. ③ Pflanzgefäße, horizontale Vegetationsflächen, wandgebunden. ④ Modulares System, vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden. ⑤ Flächige Konstruktion, vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden. (© Nicole Pfoser 05/2013)



zung das Substrat trinkt. Parallel verläuft eine Entwässerungsleitung (Überschuss z. B. durch Regen). [182]

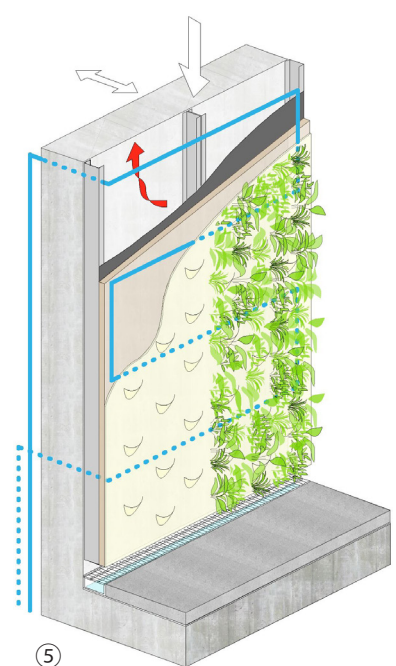
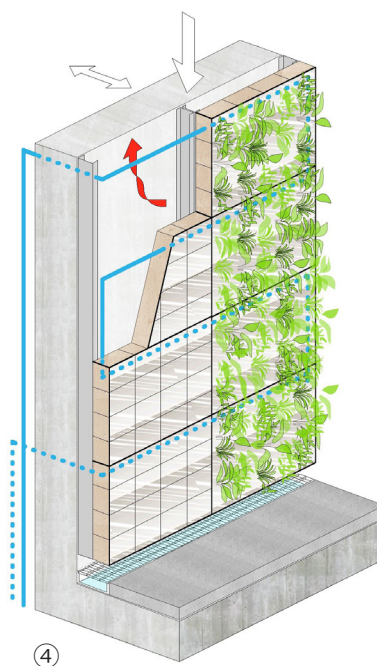
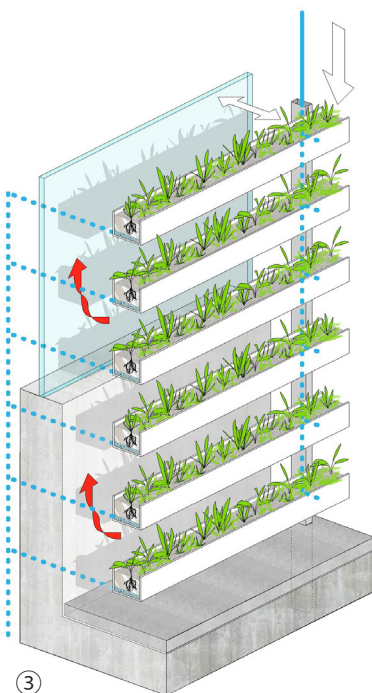
„Modulare Bauweise“

Hier dienen vorgefertigte Quadrat- oder Rechteck-Module als Substratspeicher (Abb. 20 ④). Die Einzelmodule haben in der Regel handliche Abmessungen von 60 - 100 cm (Quadrate, Rechtecke), damit das Versetzen auf der Unterkonstruktion ohne maschinelles Hebegerät vom Baugerüst aus von Hand möglich ist. Zwischen den Modulen und der Gebäudewand ist für eine Feuchte-Abdichtung und Durchlüftung zu sorgen, womit die Mindest-Aufbaudicke bei rund 20 cm liegt. In der nicht sichtbaren Unterkonstruktion der Module (Sekundärkonstruktion) verlaufen Versorgungsleitung und Ablaufleitung, sie werden mit den Tropfrohren der Substratpolster verbunden. Als Systemüberlauf dient

eine übliche Bodenrinne mit Schraubrost (Starkregen). [182]

„Flächige Bauweise“:

Hier wird die zu begrünende Gesamtwand mit einer systemtragenden Sekundärkonstruktion verbaut (Abdichtung, Hinterlüftungs- und Installationsraum) und mit einer verrottungsfreien Trägerplatte vollflächig verschalt (verformungssteife Metall- oder Kunststoffplatten) (Abb. 20, ⑤). Als pflanzentragende Schicht dient der außen vorgesetzte Filzmatten-Behang, der ganzflächig als Wasserspeicher wirkt. Die Pflanzen werden in aufgeklammerte Filztaschen mit Substrateinlage eingebaut, deren Ort und Pflanzenbestückung (Flachwurzler) allein dem Gestaltungsziel des Entwurfs dienen. Alternativ kann eine doppelte Filzlage so mit einer Substratzwischenlage versteppt werden, dass Taschenschlitzungen an beliebiger Stelle möglich sind. [182]





Begrünungssystem

Bodengebunden,
Selbstklimmer

Systemaufbau

Direktbegrünung, keine Sekundär-
konstruktion erforderlich

Gestaltung

Flächenwirkung nach Pflanzen-
wahl (in 5-20 Jahren)
Pflanzenauswahl nach Art, Textur,
Farbgebung, Belaubungsphase
(sommergrün/immergrün)

Pflanzeneignung

Wurzelkletterer,
Haftscheibenranker

Versorgung

Erboden/Bodenfeuchte, Wasser-
und Nährstoffversorgung standort-
bezogen bei Bedarf. Pflanzenaus-
wahl nach Exposition (Licht- und
Windverhältnisse). Pflege- und
Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale

Geringer Investitionsaufwand
Witterungs-, Strahlungsschutz und
Endgröße nach Pflanzenauswahl
(sommergrün/immergrün/Textur).
Lebensraum und Nahrung für
Insekten und Vögel

Kosten (s. a. S. 268-269)

Investition ca. 0,40 €/m²
Pflege/Wartung ca. 15 €/m²/a
zunehmend (höhenabhängig)

Abb. 21: Parthenocissus tricuspidata - Dreilappiger Wilder Wein (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 22: Bodengebundene Fassadebegrünung mit sommergrünem Parthenocissus tricuspidata. a) Winter, b) Herbst, c) Sommer (Fotos: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 23: Systeme (Prinzipschnitte). Bodengebundener Direktbewuchs der Fassade mit Selbstklimmern: ① Hedera Helix, immergrün, ② Parthenocissus tricuspidata, sommergrün (Winter). (© Nicole Pfoser 09/2009)

2.5 Fassadenbegrünung - Systemvarianz

2.5.1 Bodengebunden - Direktbewuchs mit Selbstklimmern

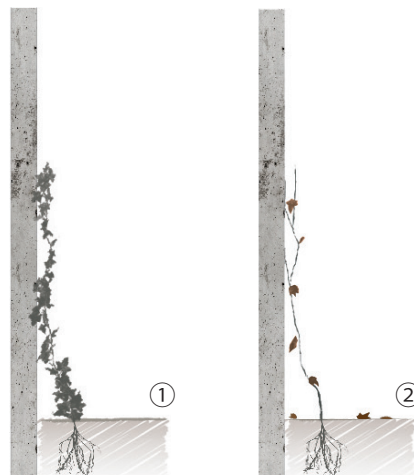
Direkte Fassadenbegrünungen werden mit den Pflanzengruppen der Selbstklimmer (Wurzelkletterer und Haftscheibenranker) durchgeführt, die sich bis zur Vollaussprägung ihrer Wuchshöhe (bis zu ca. 25 m) und ihres Pflanzengewichts ohne weitere Maßnahmen direkt an geeigneten Wandoberflächen anhaften und dabei üblichen Sturm- und Niederschlagsbelastungen standhalten. Bei großvolumigem Pflanzenwachstum und hoher Trockenmassebildung sind Wartungsschnitte und das Ausräumen trockener Pflanzenteile in angemessenen Intervallen durchzuführen. Das Brandrisiko (ggf. mit Brandüberschlag auf Holzbauteile von Fenstern oder Dächern) steigt mit der Zunahme des Pflanzenvolumens und des enthaltenen Totholzes. Die Wartungszugänglichkeit (u. U. auf fremdem Gelände) sollte bereits im Zuge der Begrünungsplanung abgeklärt werden. [182]

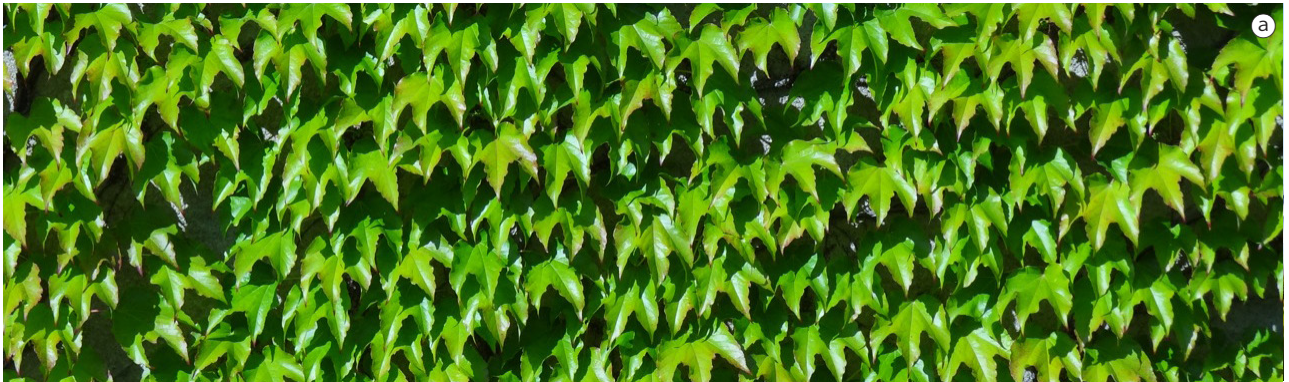
Erscheinungsbild, Gestaltungsrahmen

Bei der ursprünglichsten Form der nur von den gegebenen Lage- und Lichtbedingungen geleiteten Fassadenbegrünung breitet sich der vertikale Pflan-

zenteppich nach eigenem Charakter aus und kann - je nach Wandformat und Pflanzenwahl - in 5-20 Jahren die Fassade voll bedecken. Bei Bestandsbauten mit plastischer Fassadengestaltung wird das sich selbst überlassene, natürliche Pflanzen-Wuchsbild in eine formale Spannung zur Wandgliederung treten (Abb. 22 b-c) mit dem Kontrast aus kalkulierter Architekturform und freier Naturform begründen sich nicht nur der große Reiz sondern auch die Grenzen dieser Kombination. Der Einsatz einer Begrünung mit Selbstklimmern ist eine Entscheidung auf Dauer. Mit einer späten Umentscheidung gehen nicht nur hohe Renovierungskosten einher sondern auch der Totalverlust aller ökologischen Leistungen und Lebensraumangebote. [182] Diese Folgen sind vermeidbar: in den folgenden Kapiteln werden hierzu alternative Begrünungslösungen dargestellt, bei denen eine direkte Fassadenberührung der Pflanzen vermieden wird.

Bei Pflanzen mit flächendeckender Ausbreitung (z. B. immergrün: Hedera helix, sommergrün und herbstbunt: Parthenocissus-Arten) kann ein individuell gewünschtes Wuchsstadium durch eine regelmäßige Formtrimmung erhalten werden, deren Zeitintervall von der Wuchsgeschwindigkeit und vom Breitenwachstum der gewählten Pflanzenart sowie von den Standortbedingungen abhängen. Zu berücksichtigen ist, dass die Skala der hier geeigneten Pflanzen vorwiegend der Richtung des größten Sonnenlichteinfalls entgegen strebt. Eine auf die zu erwartende Begrünungsausbreitung abgestimmte Festlegung der Pflanzorte ist daher maßgeblich für das Wuchsbild und die Flächendeckung. Die Pflanzeneignung (ein Dutzend ver-





21

schiedene Pflanzen, darunter 6 Gattungen in verschiedenen Arten und deren Variationen [66] lässt eine Wahl der Blatt- und Blütenfarbe bzw. eines sommergrünen, herbstbunten oder immergrünen Bewuchses zu. Im Übrigen bleibt der Gestaltungsspielraum gering. [182]

Teilbegrünungen in unterschiedlich genutzten Fassadenbereichen, z. B. in Kombination mit energetisch aktiven Flächen benötigen den planmäßigen Einbau von Ausbreitungs-Begrenzungen mit ausreichend stabilen Winkeln aus nichtrostendem Stahl oder Metall, passend zur Bewuchsdicke. Dies gilt gleichermaßen für die Vermeidung eines Ein- bzw. Überwuchses an Grenzen zu sensiblen Bauteilen wie Fenster und Türen, Fensterläden, Rollladenöffnungen, Lüftungsgittern, offenen Regenwasser-Ableitungen, Flächen zur aktiven bzw. passiven Solarenergie-Gewinnung, Leuchten und konkurrierenden Fassadengestaltungen (z. B. Kunstwerke, Sonnenuhr). Ein Anlass zur Begrünung oder deren Ausschluss kann sich aus denkmalpflegerischen Auflagen ergeben, dies ist vor der Planung einer Fassadenbegrünung bei gelisteten oder bereits geschützten Gebäuden mit der zuständigen Behörde abzustimmen. [182]

Wuchsuntergrund

Der das Pflanzengewicht (zzgl. Wind-, Schnee- und Eislasten) tragende Untergrund sollte riss- und wartungsfrei sein. Geeignete Ausbildungen des Wanduntergrundes sind Massivwände mit intaktem Verputz oder Sichtmauerwerk, Betonwände und massive fugenlose Vorsatzschalen. Die Haftorgane der Pflanze halten sich mechanisch fest oder lösen den Untergrund leicht an, um sich anzuheften. Daher werden Anstriche

von einer Direktbegrünung in der Regel flächendeckend punktwise beschädigt, filmbildende Anstriche können unterwachsen werden. Negativ phototrope (lichtfliehende) Ernährungs- oder Haftorgane wachsen in jede Dimension von Wandfugen ein und bewirken dort durch ihr Dickenwachstum Zerstörungen [1, 2, 182]. Ungeeignet für eine Direktbegrünung sind daher dünnwandige Verkleidungen aller Art mit Hinterlüftung, alle Fassadenaußenflächen mit Zwischenfugen oder Spalten (Platten, Paneele, Bretter, Schindeln) sowie dünn-schichtige Bekleibungen mit Mosaikfliesen etc. [182] Die gegenwärtigen Energie-Einsparbemühungen führten zur hochgedämmten Außenwand, vielfach als verklebtes Wärmedämm-Verbundsystem mit einem äußeren dünnen Spachtelputz auf Kunststoff-Trägernetz ausgeführt. Diese Bauweise ergibt eine mechanisch verletzliche Gebäude-Außenhülle, deren Dampfdiffusion von der feuchten Raumluft zur trockenen Winterluft hin zu einer Bildung von Kondensatfeuchte in den äußeren Schichten führen kann. Um dort Sporenbildung zu vermeiden, werden in der Regel Spachtelputz und Anstrichstoffe mit Bioziden verwendet. Eine Direktbegrünung ist bei dieser Bauweise wegen der mechanischen Belastung der Dämmschicht und wegen der chemischen Belastung der Pflanzen ausgeschlossen [65], insbesondere Diagramm „Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken“ – Wandaufbau-Varianten, Abb. 18). [182]



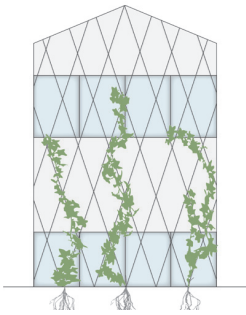
22a



22b



22c



2.5.2 Bodengebunden - Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen

Begrünungssystem

Bodengebunden, Gerüstkletterpflanzen

Systemaufbau

Kletterhilfe/Spalier als separate Ebene (Stäbe, Seile, Gitter, Netze)
Lastabtragung: Wand, ggf. Boden

Gestaltung

Flächenwirkung nach Pflanzenwahl (in 3-12 Jahren)
Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase (sommergrün/immergrün)

Pflanzeneignung

Ranker, Schlinger/Winder, Spreizklimmer, spalierbare Gehölze

Versorgung

Erdboden/Bodenfeuchte, Wasser- und Nährstoffversorgung standortbezogen/bei Bedarf. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse). Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale

Witterungs-, Strahlungsschutz und Endgröße nach Pflanzenauswahl (sommergrün/immergrün/Textur). Leitbar, Verschattungsleistung, ggf. "Vertical Farming"

Kosten (s. a. S. 268-269)

Investition ca. 36-95 €/m²
Pflege/Wartung ca. 10-20 €/m²/a zunehmend

Diese Fassadenbegrünung auf Distanz zur Gebäudeaußenwand benötigt als ebenso bodengebundene Begrünungstechnik die gleichen Bedingungen an einen natürlichen Boden- und Bodenwasseranschluss wie die Direktbegrünung. Anders als diese umfasst jedoch ihre Anwendungsbreite praktisch alle üblichen Fassadenbauweisen (Abb. 28 ① ② ③ ④) einschließlich Glasflächen, energieaktiven Flächen und Gebäudefreiflächen wie Terrassen, Loggien und Balkone. [182]

Bauweise

Die Gruppe der Kletterpflanzen benötigt eine Wuchshilfe, um mit größter Ökonomie Höhe (bis ca. 25 m) und Licht zu erreichen. Sie bildet daher selbst keine statische Struktur aus, sondern nutzt in ursprünglicher Umgebung stattdessen Gehölze bis hin zu Bäumen. Bei Kletterhilfen werden die Gesamtlasten der Begrünung (Pflanzen-Endgewicht, Tragkonstruktion, Niederschlagslasten) in ein eigenes Streifenfundament geführt oder - je nach Eignung - über statisch dimensionierte Konsolen in den Wandaufbau der Primärebene einge-

leitet. Die Abtragung der Windlasten erfolgt normalerweise über aussteifende Distanzkonsolen in die Primärebene. Bei einer Durchdringung von Außendämmungen sind wärmebrückenminimierte Konsolen einzusetzen. [182]

Erscheinungsbild, Gestaltungsrahmen

Die Abmessungen heutiger begrünter Vorkonstruktionen können die Fassadengröße abbilden bzw. unter- oder überschreiten. Als Maximalhöhe können etwa 25 m ab Erdboden von einigen Pflanzen erreicht werden [66]. Die Anordnung einer separaten Pflanzebene vor der Außenwand eines Gebäudes kann unterschiedlich bedingte Gründe haben, die das Erscheinungsbild mitbestimmen [vgl. 182]:

- Die Gebäudefassade ist für eine Direktbegrünung ungeeignet.
- Der hohe technische Anspruch der Fassade mit entsprechender Wartungs- und Reinigungshäufigkeit erfordert einen ausreichenden Pflanzenabstand.
- Eine sinnvolle Anwendung separater Pflanzebenen bietet sich vor energieaktiven Zonen in Wand- und Dachflächen zur passiven Energiegewinnung

Abb. 24: Alpine Finanz, Opfikon, Schweiz (Foto: © Jakob AG 2009)

Abb. 25: Swiss Re Hauptverwaltung, Unterföhring (Foto: © May Landschaftsbau GmbH & Co 2001)

Abb. 26: Laubengang, PTH Frankfurt (Foto: N. Pfoser 2013)

Abb. 27: Fassadenbegrünung Prinz Georg Garten Darmstadt (Foto: Nicole Pfoser 2012)

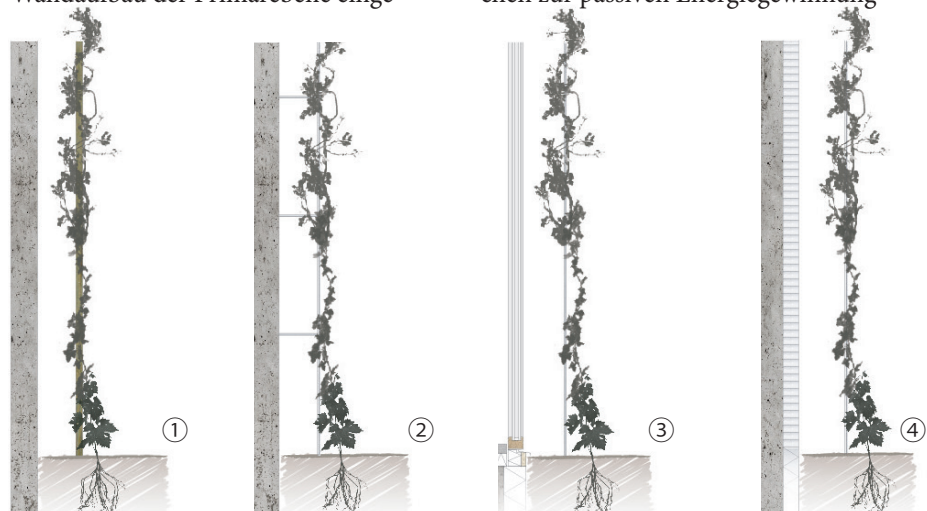
Abb. 28: Systeme (Prinzipschnitte). Leitbarer Bewuchs an separater Wuchskonstruktion, bodengebunden:

① Holzkonstruktion, ② Stäbe,

③ Seile/Netze vor Glasfläche,

④ Seile/Netze vor TWD.

(© Nicole Pfoser 09/2009)





24

an (z. B. Verglasungen, Transluzente Wärmedämmung, Luftkollektoren): sommergrüne laubabwerfende Pflanzen regulieren eine Sommerschattung und eine Sonnenlichtfreigabe während der Wärmebedarfsperiode im Gebäude auf natürliche Weise. Lage und Abstand der Pflanzenebene ergeben sich aus dem Schattenverlauf sowie aus der Oberflächen-Reinigung und der Beseitigung des Herbstlaubs.

- Visuelle Raumerweiterung und Blickschutz: die Gestaltungsabsicht, Räume über ihren Glasabschluss hinaus größer erscheinen zu lassen oder Loggien optisch in den Raum einzubinden, kann mit einer distanzierten, raumhohen Begrünung als optischer Raumabschluss realisiert werden, welcher Schattenspende für Raum und Freifläche sowie - bei immergrüner Bepflanzung - Einblickschutz aus dem Umfeld gewährleistet. Die gleiche Begrünungsanordnung kann umgekehrt auch eine Funktion als Ausblick- und Schallschutz z. B. gegen störende Verkehrs- und Gewerbezone erfüllen.

- Vertikale Begrünungsebenen als raumbildender Ersatz von Wänden: dreidimensionale Anordnungen aus freistehend ausgesteiften Klettergerüsten, z. B. bewachsene (auch mehrgeschossige) Pergolen, bieten den Gerüstkletterpflanzen und Gehölzen räumliche Wuchsebenen an, die je nach Pflanzenwahl als sommerliches oder ganzjähriges „grünes Gartenzimmer“ oder als „dreidimensionaler Stadtpark“ erscheinen.

Zur Anwendung kommen Schlinger/ Winder, Ranker, Spreizklimmer mit rund 60 Wahlmöglichkeiten und spalierbare Gehölze [66]. Die Pflanzenauswahl ist dabei deutlich größer als bei der Direktbegrünung. Zusammen mit

der Gestaltungsvielfalt der Wuchsebenen und den zahlreichen Blüten- und Fruchtfärbungen ergibt sich - je nach Zweck der Begrünung - ein deutlich höherer Gestaltungsspielraum als bei den Direktbegrünungen. [182]

Wuchsuntergrund

Als Sekundärkonstruktionen kommen stabile, biegesteife Gitter- oder Rahmenkonstruktionen zur Anwendung. Neben dem traditionellen Klettergerüst als Gitterform (Abb. 27) sind je nach den Wuchskriterien der Pflanze(n) auch vertikale bzw. horizontale Stangen oder Seile, Netze und Seilspannsysteme möglich (Abb. 24; Abb. 25; Abb. 26). Generell sind die einwirkenden Kräfte der Pflanzen zugrunde zu legen: Eigengewicht bei Vollaussprägung, Fruchtlast, Niederschlagslast (Schnee, Eisbildung) Schlingkräfte (z. B. bei Wisteria Sinensis „Glycine“). [182]

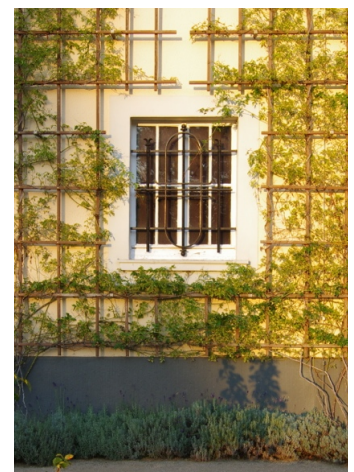
Für die Dimensionierung der Wuchskonstruktion, ihrer Fundamente und Distanzkonsole sind zudem die einwirkenden Windkräfte zu beachten, ebenso die Korrosionsfreiheit der Materialien und die Brandlast der Pflanzen-Trockenmasse. Die Konstruktion muss daher von einem Tragwerksplaner berechnet werden, sie unterliegt einer bauaufsichtlichen Genehmigung. Die Bemessung des Gebäudeabstands muss auf die Pflanzenwahl abgestimmt sein, empfindliche fugenreiche Fassaden dürfen von den nach Halt strebenden Ranken/Trieben der Pflanze nicht erreicht werden. Aber auch die Rastermaße der Wuchsebene müssen der Kletterstrategie und der Haltetechnik der Pflanze angepasst sein [2]. [182]



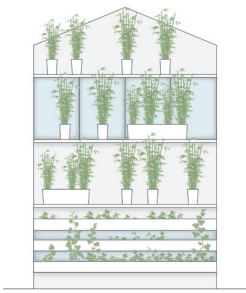
25



26



27



Begrünungssystem	Wandgebunden, Pflanzgefäße
Systemaufbau	Kragkonsolen oder Vorkonstruktion zur Aufnahme von Einzel- oder Linearbehältern
Gestaltung	Sofortige Flächenwirkung bei Vorkultivierung. Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase (sommergrün/immergrün)
Pflanzeneignung	Stauden, Kleingehölze, bedingt Kletterpflanzen
Versorgung	Substrat, Wasser-, Nährstoffbedarf und Exposition nach Pflanzengesellschaft. Drainage, ggf. Feuchteregelung. Pflege- und Wartungszugänglichkeit
Systemtypische Potenziale	Variable Bepflanzung, Witterungs- und Strahlungsschutz nach Pflanzenwahl (sommergrün, immergrün, Textur) Verschattungs- und Verdunstungsleistung, ggf. "Vertical Farming"
Kosten (s. a. S. 268-269)	Investition ca. 230 - 1.000 €/m ² Pflege/Wartung ca. 10 €/m ² /a (abhängig von Erreichbarkeit)

2.5.3 Wandgebunden - Regalsysteme (horizontale Wuchsebene)

Bei den linearen Regalsystemen kommen übereinander angeordnete Langrinnen (Abb. 33 ①), linear gereihte Kästen (Abb. 33 ②) oder Töpfe mit Substrateinlage und Drainebene (Abb. 33 ③ ④) zur Anwendung. Wegen der exponierten Lage und des eingeschränkten Substratvolumens müssen die Pflanzen besonders winterhart sein. In den „Regalböden“ der Grundkonstruktion können die Wasser-/ Nährstoff-Versorgungsleitungen für die jeweils darunter liegende Pflanzenreihe geführt werden. Die Pflanzkastenwahl sollte auf den Entwurf abgestimmt sein, eine hohe mechanische Stabilität bei allen Temperaturen und UV-Beständigkeit sind unbedingt nötig. [182]

Installation und Bauweise

An Loggien, Flachdächern und Laubengängen können geeignete Regalsysteme Brüstungen ersetzen (Abb. 33 ③; Abb. 29; Abb. 31 und Abb. 32). Hierbei sind entsprechende Bauvorschriften (z. B. Horizontal-Lasten) zu beachten. [182]

Die Primärkonstruktion (Gebäudefwand) muss auf das hohe Gesamtgewicht von

Pflanzenregalen abgestimmt sein. Eine Entscheidung muss daher bereits in der Entwurfsphase des Gebäudes getroffen werden. Das gilt ebenso für die erforderlichen Kragkonsolen bzw. Geschoss-Umgänge zur Aufnahme von Pflanzenbehältern. [182]

Alternativ kann eine Vorkonstruktion zur Aufnahme der Pflanzenbehälter selbsttragend mit eigenen Fundamenten angeordnet werden. [182]

Regalsysteme sind vielfältig anwendbar, vor Wandflächen (Abb. 33 ①) ebenso wie vor Verglasungen (Abb. 33 ②) oder als Freiraum-Abschluss für eine erhöhte Privatheit (Loggien, Dachterrassen). [182]

Als Substrat kommen bodenähnliche Mischungen mit wasserspeichernden Stoffen zum Einsatz. Bei Bewässerungsanlagen (automatisch gesteuert oder manuell) sollte auch an eine Drainage für überschüssiges Wasser gedacht werden, um eine unkontrollierte Übernässung des Substrats und ein Überlaufen der Pflanzgefäße zu verhindern. [182]

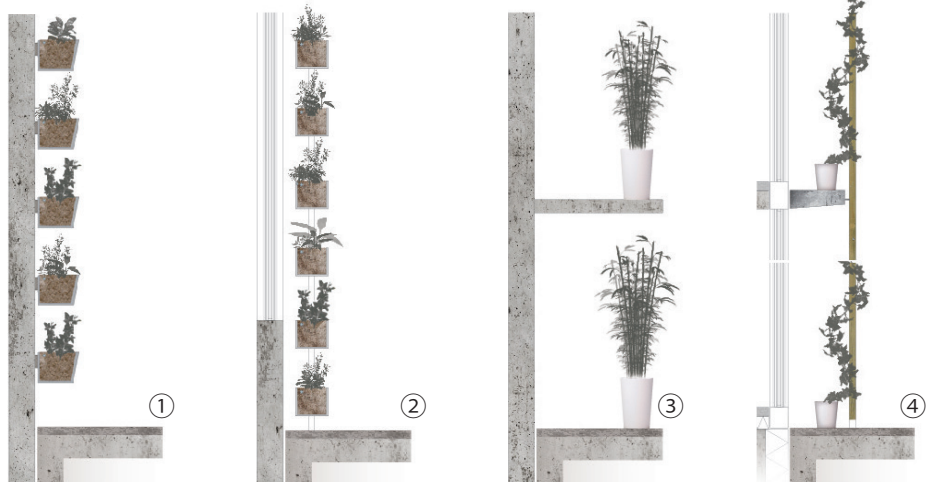
Abb. 29: Flower Tower, Paris, (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 30: Ausschnitt Fassade MA48, Wien, (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 31: "Blumenregal" Stücki Shopping, Einkaufszentrum (Foto: © Jakob Rope Systems)

Abb. 32: Mehrschichtige Fassade, Tekfen Levent Ofis (Foto: Molestina Architekten)

Abb. 33: Systeme (Prinzipschnitte). Substrat in Gefäßen (Einzel- oder Linearbehälter) ① ② ③ ④ (© Nicole Pfoser 09/2009)





29

Bewährt haben sich Pflanzmodule mit Nährstofftank in Kombination mit Kapillarmatten und einer automatischen Feuchteregeung. Eine Beschränkung der Pflanzenauswahl auf winterharte, sommergrüne Pflanzen erspart eine künstliche Bewässerung in den Wintermonaten. [182]

Anwendungsmotive

Die systemtypischen Vorteile [vgl. 182] sind:

- Gestalterische Sofortwirkung nach Fertigstellung durch mögliche Vorkultivierung der Pflanzen (Fassadenbild, Raumbildung, Blickschutz)
- Anpassungsfähigkeit an Maßvorgaben der Fassadengeometrie
- Flächenwirkung und Gestaltwechsel im Jahresverlauf über Pflanzenauswahl steuerbar (Textur, Blattfärbung, Wuchsform, Pflanzabstand, Dimension)
- Leichter Ersatz von Teilbereichen bei Pflanzen-Ausfall (systemabhängig)
- Durch Modularität späterer Weiterbau/Ergänzung nach Bedarf möglich
- Niederschlags- und UV-Schutz der Gebäudeaußenwand (abhängig von Pflanzendichte und -dimension)
- Mögliche Dämmung der pflanzen-tragenden Medien zum Schutz der Wurzelräume vor Frost
- Nach Fertigstellung sofortige positive Umgebungswirkungen wie Kühlung, Schallabsorption, Feinstaubbindung, CO₂-Aufnahme, Sauerstoffproduktion

Erscheinungsbild, Gestaltungsrahmen

Begrünte Regalsysteme sind die technische und gestalterische Weiterentwicklung des klassischen "Blumenkastens" zu einer architekturbestimmenden Pflanzenintegration in die Fassade (Abb. 29-32). Seine steuerbare Wuchsdichte kann als Sonnenschutz

(sommergrün), Ein- und Ausblickschutz (immergrün) oder als Gartenersatz (Terrassen-Umgrenzung, Vertical Farming) genutzt werden. [182]

Mit einer durchlichteten Regalbauweise kann das System gut vor Fensteröffnungen und Glasfassaden (als Innenraum- und Außenraumbegrünung) angewandt werden (Abb. 29 und 32). Eine gleichzeitige Nutzung des Systems als saisonale Verschattung ist mit sommergrünen, laubabwerfenden Pflanzen möglich. Bei Vorkultivierung ist die sofortige Flächenwirkung zusammen mit der Baufertigstellung möglich. [182]

Gestaltungsziel ist die Betonung der Linearität und nicht unbedingt die vollflächig begrünte Wand, die allerdings mit geeigneter Pflanzenwahl auch herstellbar wäre. Ein wesentlicher Teil der Gestaltung ist bei diesem System die Form- und Materialwahl der hier stärker in Erscheinung tretenden Pflanzgefäße. Die nach oben geöffneten Wuchsbehälter unterstützen das natürliche Pflanzenwachstum zum Licht. Die mögliche Pflanzenauswahl ist deshalb sehr hoch. Die Bandbreite reicht von Stauden, u. a. auch Gräser, Farne, Zwiebel- und Knollengewächse, über Kleingehölze bis hin zu Kletterpflanzen. Die Auswahl ist lediglich durch die Forderung an Winterhärte und den begrenzten Wurzelraum eingeschränkt. [182]

Die Entscheidung der Wuchsrichtung (steigend, kragend oder hängend) ist ebenso wie die Blattfärbung und die Belaubungsphase in den Gestaltungsprozess einzubeziehen. Zur gestalterischen Formerhaltung sind Pflanzen mit geeigneter Endgröße zu wählen, andernfalls muss je nach Wuchsgeschwindigkeit mit Rückschnitten gerechnet werden. [182]



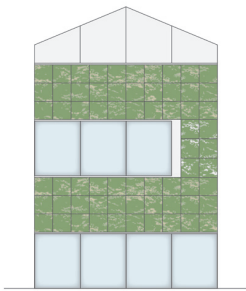
30



31



32



Begrünungssystem
Wandgebunden, modular

Systemaufbau
Sekundärkonstruktion mit vertikalen Substrat/Substratersatz-haltenden Pflanzmodulen

Gestaltung
Sofortige Flächenwirkung bei Vorkultivierung (austauschbar)
Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase (sommergrün, immergrün)

Pflanzeneignung
Stauden, Kleingehölze, Moose, bedingt Kletterpflanzen

Versorgung
Substrat/Substratersatz, Wasser-, Nährstoffbedarf und Exposition (Licht- und Windverhältnis) nach Pflanzengesellschaft, Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale
Bodenfrei, ganzjährig flächiger Witterungs- und Strahlungsschutz. Kühlung durch Bewässerung und außen-temperaturabhängige Verdunstungsleistung, ggf. Vertical Farming

Kosten (s. a. S. 268-269)
Investition ca. 370 - 1.100 €/m²
Pflege/Wartung ca. 10 % der Herstellungskosten/a (lageabhängig)

2.5.4 Wandgebunden - Modulare Systeme (vertikale Wuchsebene)

Das typische Kennzeichen von modularen Begrünungssystemen ist die Gliederung der Sichte Ebene in ein Flächenraster aus gut handhabbaren Einzelfeldern (Abb. 35; Abb. 38). Die Module sind senkrecht stehende quadratische bzw. rechteckige Substrat-Kästen mit einer Bautiefe von ca. 10 - 25 (50) cm. Diese werden vorkultiviert vom Gerüst aus sturmsicher auf die maßlich abgestimmte Unterkonstruktion montiert und durch ein Versorgungssystem (Wasser, Nährstoffe) miteinander gekoppelt. Für ein einzelnes begrüntes Feld liegt die maximale Flächengröße je nach Bauweise etwa bei 0,5 - 1,0 m², darüber hinaus werden Hebegeräte (bei Herstellung und Modul-Austausch) erforderlich. [182] Eine mögliche Ausführung hat geschlossene Rückwände und bietet zugleich die Dichtebene zur Gebäudeaußenwand. Das senkrecht gehaltene Substratvolumen besteht aus mineralischen feuchtespeichernden Gemischen (Lava, Bims), aus Steinwolleplatten oder Schichten aus Sphagnum (Torfmoos). Für Gitterbehälter werden neben Recycling-Kunststoffen korrosionsfreie Metalle und nichtrostender Stahl eingesetzt. [182]

Unterhalb der begrünten Flächen sollen Fangbleche zur Ableitung überschüssigen Wassers angeordnet werden. Dies kann alternativ auch unter den einzelnen Modulreihen geschehen. [182]

Anwendungsmotive

Die Vorteile der modularen vorkultivierten Bauweise [vgl. 182] sind:

- Anpassungsfähigkeit an Maßvorgaben der Fassadengeometrie
- Gute Hinterlüftung (Entfeuchtung) des Fassadenzwischenraums
- Transport, Zwischenlager und Montage ohne großen Platzbedarf
- Niederschlags- und UV-Schutz der Gebäudeaußenwand
- Positive Umgebungswirkungen wie Kühlung, Schallabsorption, Feinstaubbindung
- CO₂-Aufnahme, Sauerstoffproduktion
- Gestalterische und klimatische Sofortwirkung nach Fertigstellung
- Gestaltwechsel bzw. späterer Weiterbau nach Bedarf möglich
- Je nach Pflanzeneinsatz Raster- oder Flächenwirkung möglich
- Leichter Ersatz von Einzelbereichen bei Pflanzen-Ausfall

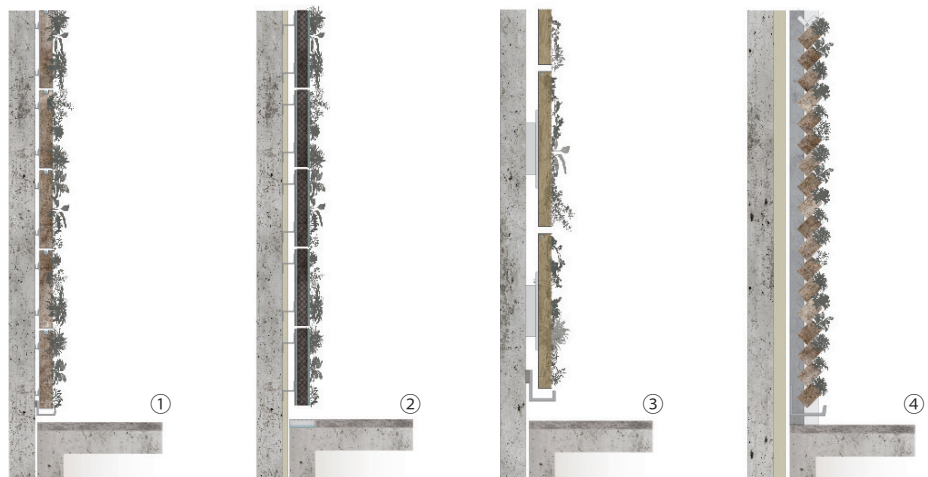
Abb. 34: Ausschnitt modulare Fassadenbegrünung, (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 35: Modul (Foto: © greenwall.fr)

Abb. 36: Monochrome Bepflanzung, (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 37: Direkt begrünte Ziegel (Foto: © geomoss.fr)

Abb. 38: Systeme (Prinzipschnitte). Substrat in Elementeinheiten aus Gitterkörben, Metall oder Kunststoff ① ② ③, substrattragende Rinnensysteme ④, direkt begrünte Ziegel/Stein- oder Betonplatten mit Begrünungsfördernder Oberflächenplastizität ⑤ ⑥, nährstoffhaltige Mattensysteme ⑦ ⑧ (© Nicole Pfoser 09/2009)





34

Gestaltungs-Flexibilität

Neben den Vorteilen der Sofortwirkung und der leichten Veränderbarkeit können Oberflächentextur, Aufbaustärke, Farbgebung und Blühphasen frei gestaltet werden. Bei außenbündiger Bauweise der Pflanzenaußenfläche mit Verglasungen bzw. Bekleidungen kann ein architektonisch anspruchsvoller und rechtlich sicherer (Grenzeinhaltung) Architekturbeitrag geschaffen werden. [vgl. 182]

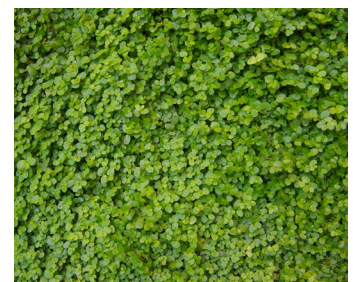
Installation und Bauweise

Infolge der handlichen Montagevorgänge, dem unaufwändigen Geräteinsatz und der kostengünstigen und erfolgssicheren Vorkultivierung im Gartenbaubetrieb werden die Ergebnisse (besonders in Innenstädten) mit relativ kleinen und kurzzeitigen Baustelleneinrichtungen ermöglicht. Bezüglich der Bauweise, der Substrattechnik und der zuverlässigen Wasser- und Nährstoffversorgung sollten keine Kompromisse gemacht werden. Hier zahlt sich Hochwertigkeit aus. Die Systemschnitte zeigen unterschiedliche Techniken der Substratbevorratung zur Einwurzelung der Pflanzen. Der Markt bietet eine Auswahl von Substrat

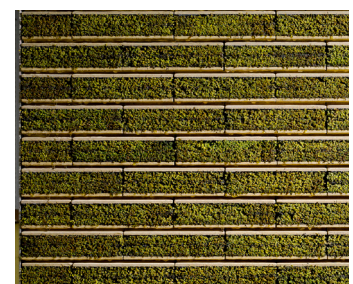
bzw. Substratersatz-Aufnahmetechniken, die mit dem auf die Pflanzenart abgestimmten Substrat angefüllt werden (Abb. 38 ① ② ③). Die Substratdicke bestimmt das Wurzelvolumen und hat damit unmittelbar Einfluss auf die Wasseraufnahme und Pflanzenentwicklung. Rinnensysteme zur Aufnahme von Schüttstoff-Substrat (Abb. 38 ④) können auch ohne Begrünung ein fertiges Fassadenbild liefern, weshalb hier sommergrüne Pflanzen einsetzbar sind und so eine Winterbewässerung eingespart werden kann. Vorsatzschalen aus Ziegelementen, Beton- oder Steinplatten (z. B. Tuffstein) (Abb. 38 ⑤ ⑥; Abb. 37) dienen als Wachstumsgrundlage mit begrünungsfördernder Oberfläche für Flechten und Moose. Hier erfolgt wenn nötig eine künstliche Bewässerung ggf. durch Tropfschläuche im Hinterlüftungsraum oder mit aus den Fugen geführten Feinsprühdüsen. Alternativ dienen bespannte Flachrahmen zur Wasser- und Nährstoffaufnahme (Geotextile, Vliese, anorganische Filze), die je nach Pflanzenwahl durch Schlitzen, Taschen oder durch ihre Webstruktur Wurzelraum bieten (Abb. 38 ⑦ ⑧). [182]



35



36



37

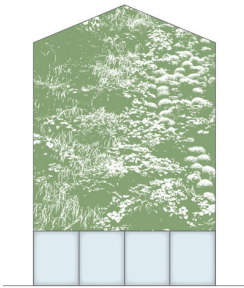


Abb. 39: Typische Feuchtewerte und Saugspannung (hPa) Substrat/ Substratersatz (Nicole Pfoser 2012, nach Gerhard Bambach 2012)

Steinwolle	15-30 hPa	↑
Tongranulat	50 hPa	
Torfhaltige Mischungen	80-150 hPa	
Blähton, Torf, Kokos	120 hPa	
Bimsgranulat	270 hPa	↓

Kontrolle des Feuchtezustands: Erkennen von trockenem oder übermäßigem Bereichen

Erkennen von Fehlsteuerung: z. B. Bewässerungsausfall oder Überdüngung



Begrünungssystem
Wandgebunden, flächig

Systemaufbau
Sekundärkonstruktion mit vertikalen Substratersatz-Flächen an wartungsfreier Primärkonstruktion

Gestaltung
Kurzfristige Flächenwirkung bei Vorkultivierung der Pflanzen. Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase (sommergrün/immergrün)

Pflanzeneignung
Stauden, Kleingehölze, Moose, bedingt Kletterpflanzen

Versorgung
Substrat/Substratersatz, Nährstoffhaltige Bewässerung. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht-, Windverhältniss) und Pflanzengesellschaft. Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale
Ganzjährig flächiger Witterungs- und Strahlungsschutz
Kühlung durch Bewässerung und außentemperaturabhängige Verdunstungsleistung. Keine Anforderung an Bodenausbildung

Kosten (s. a. S. 268-269)
Investition ca. 400 - 1.200 €/m²
Pflege/Wartung ca. 40 €/m²/a (Höhenabhängig)

2.5.5 Wandgebunden - Flächige Systeme (vertikale Wuchsebene)

Wandgebundene Flächensysteme bieten Lösungen für teil- oder ganzflächige homogene Fassaden-Vollbegrünungen, wo ein Boden- bzw. Bodenwasseranschluss nicht verfügbar ist (Abb. 40, ④). Flächensysteme sind nicht partiell austauschbar. Die Bauweise ist auf allen Massivwänden anwendbar. [182]

Installation und Bauweise

Bei direkter Montage ohne Hinterlüftung an eine massive Wand, bzw. Vorsatzschale (Abb. 44 ①) werden die Versorgungsleitungen und das vorkultivierte pflanzen tragende Geotextil/Vlies ohne eine Sekundärkonstruktion direkt montiert. Prinzipschnitt (Abb. 44 ②) zeigt die Montage des pflanzen tragenden Geotextils an einer systemeigenen, hinterlüfteten, ganzflächigen und verrottungsfreien Trägerplatte mit Unterkonstruktion. Horizontal- und Vertikalkräfte werden über die Hinterlüftungsdistanz hinweg in die tragende Außenwand eingeleitet (Eigengewicht feucht, Pflanzen- und Niederschlagsgewicht, Windkräfte). Flächenausschnitte können wie bei der Modulbauweise auf Fenster- bzw. Verglasungen der Gebäude-Außenwand

reagieren (Abb. 40). Die Pflanzen werden einzeln mit ihren Wurzeln in Einschlitzungen des Geotextils befestigt und überwachsen diese vollständig. Größere Pflanzen wurzeln in einzelnen aufgedoppelten Vlies-Taschen, die mit Substrat gefüllt werden. Bei montageproblematischen Wandoberflächen (z. B. Wärmedämmverbundsystem, Keramikbeläge, Vorsatzschalen) ist eine separate selbsttragende Sekundärkonstruktion vor der Wand erforderlich (Abb. 44, ③). Die Lastabtragung des Systems auf eigene Fundamente erlaubt größere Wandabstände (z. B. Umgänge, Fluchttreppen). An das Traggerüst wird eine Montageebene z. B. aus Trapezblech montiert, die den Pflanzenträger (im Raster vernähtes Doppelvlies mit Substrat-Zwischenlage) aufnimmt und zugleich die nötige Abdichtung zum Gebäude darstellt. Während die Hauptverteilung der Wasser/Nährstoffversorgung in der tragenden Sekundärkonstruktion liegt, sind die dünneren Tropfschläuche direkt hinter dem Vlies verlegt. Eine gezielte Oberflächenbegrünung mit Moosen oder Flechten setzt eine ständige Feuchte voraus. Für eine

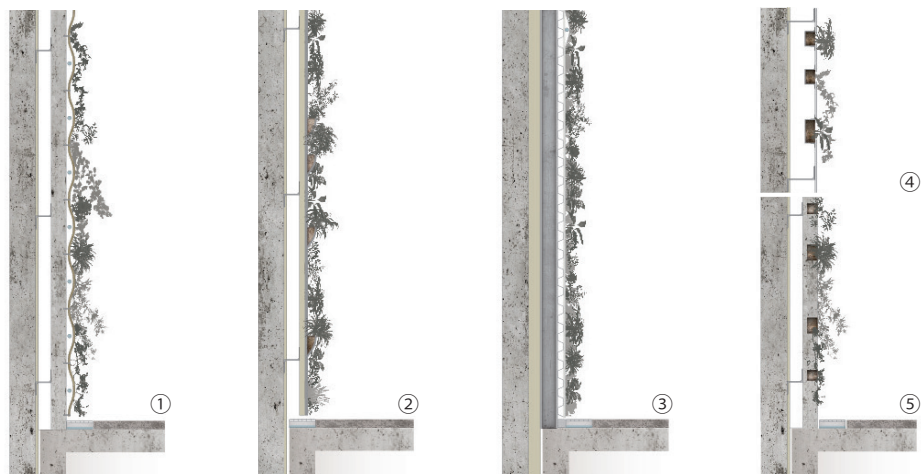
Abb. 40: Begrünte Textil-Systeme Patrick Blanc: a) Musée Quai Branly, b) BHV Homme, Paris (Fotos: Nicole Pfoser 2011)

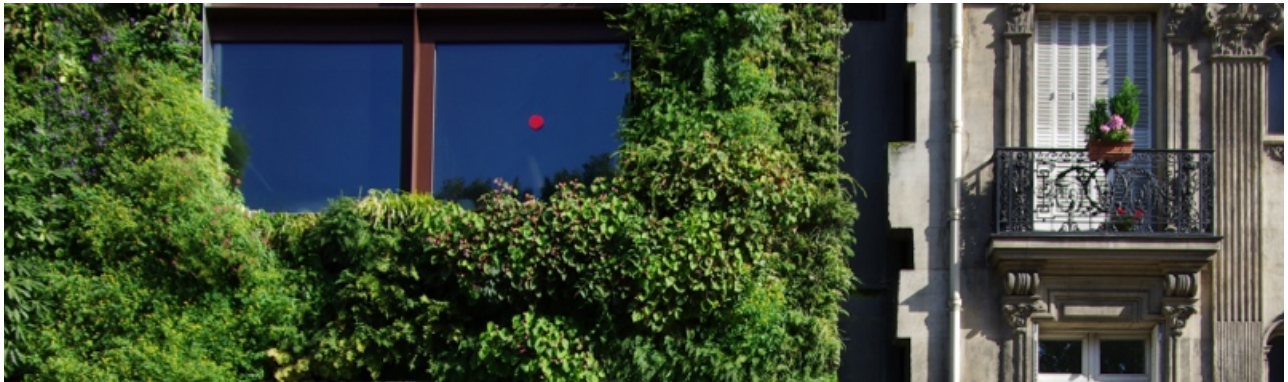
Abb. 41: Begrüntes Textil-Substrat-System (Foto: © Vertiko GmbH)

Abb. 42: Begrünte Metallfassade, Kengo Kuma & Ass., Green Cast, Odawara-shi (Foto: © Daici Ano)

Abb. 43: Fassadenausschnitt Harmonia 57, São Paulo (Foto: © Triptyque Architecture - Nelson Kon)

Abb. 44: Systeme (Prinzipschnitte). Textil-System Direktmontage ①, Textil-Systeme ②, Textil-Substrat-Systeme ③, Metallblech-Systeme ④, Direktbegrünung auf Nährstofftragender Wandschale ⑤ (© Nicole Pfoser 09/2009)





40a

Bemoosung werden poröse Steinplatten (z. B. Tuffstein) mit Feuchtigkeit aus einer feinen Besprühungsanlage versorgt (kalkfreies Wasser), deren Düsen praktisch nicht wahrnehmbar sind. Neue Forschungsergebnisse der Universität Politècnica de Catalunya in Barcelona beschreiben das Produkt "biological concrete" - bemooste Kunststoffflächen, ohne zusätzliche Bewässerung [169]. Eine andere Technik ist der Wandaufbau (in der Regel als Vorsatzschale) aus nährstofftragenden Massivschalen (Abb. 43; Abb. 44 ⑤). Die Begrünung kann oberflächlich bzw. in gestalterisch frei geplanten Vertiefungen angesiedelt werden. Eine künstliche außenliegende Zusatzbewässerung/Nährstoffversorgung ist erforderlich. Die gestalterische Kontrastierung von Technik und "Natur" wird durch Metallblech-Fassaden mit integrierten Vegetationsflächen erreicht (Abb. 42; Abb. 44 ④). [182]

Erscheinungsbild, Gestaltungsrahmen

Bei Textil- und Textil-Substrat-Systemen bestimmt die Anordnung der Einschlitzungen bereits mit über das endfertige Begrünungsbild. Sie erfolgt deshalb in der Regel bereits nach einem Entwurf des Pflanzplanes, der die Pflanzenmischung nach den Kriterien einer geeigneten Geselligkeit, nach den Dimensionen ihrer Wuchsdynamik, ihren Färbungen sowie ggf. nach unterschiedlichem Wasser- und Nährstoffbedarf berücksichtigt. Zur Entscheidung der Bauweise ist es wichtig, realisierte Beispiele nicht nur anhand der im optimalen Zustand aufgenommenen Bilder zu beurteilen, sondern ihre jahreszeitlichen Veränderungen bei der Pflanzenwahl zu berücksichtigen. Die Pflanzenauswahl ist standortbezogen. Patrick Blanc hat in Wels, A. (Headquarter Fronius) rund

150 verschiedenen Pflanzen kombiniert, eine der größten Anwendungen flächiger Bauweise in vergleichbarer Winterhärtezzone. Eine Vorkultivierung wie bei den linearen und modularen Systemen ist nur bedingt möglich. Die Flächenwirkung tritt etwa nach drei Monaten ein. Die Kriterien der Pflanzenwahl entsprechen der modularen Technik, allein der geringere Raum für Wurzelvolumen reduziert das Wasserspeichervermögen und schließt besonders kälteempfindliche Pflanzen aus. [182]

Mit Moosen/Flechten lassen sich monochrome und sehr ebenflächige Wandbegrünungen erreichen. Eine Flächenbegrünung durch Trennung der künstlich befeuchteten porösen Flächen oder Vliese zu trockenen, dichten Materialien ist exakt möglich. Eine Vorkultivierung ist je nach System möglich. Moose erreichen Wuchsdicken bis zu mehreren Zentimetern. Sich selbst überlassene Moos- und Flechten-Begrünungen können langfristig einen vielfarbigen Bewuchs ausbilden. Infolge der ausdauernden Lebensstrategie können sie farbverändernd auch längere Trockenphasen überstehen. [182]

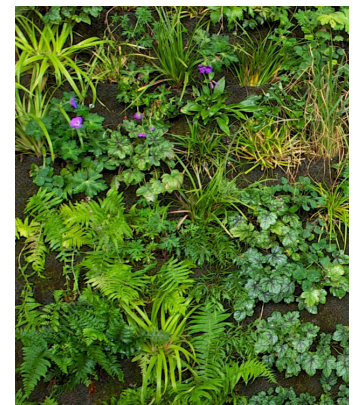
Anwendungs-Motive

Die systemtypischen Vorteile der flächigen Bauweise sind [vgl. 182]:

- mögliche Freihaltung der Bodenfläche (z. B. Fußgängerbereiche, Ein- und Ausfahrten)
- kurzfristige Flächenwirkung bei großer Pflanzenauswahl
- Witterungs- und UV-Schutz der Gebäudeaußenwand
- positive Umgebungswirkungen wie Kühlung, Schallabsorption, Feinstaubbindung
- CO₂-Aufnahme, Sauerstoffproduktion
- eine spätere Erweiterung ist nach Bedarf möglich



40b



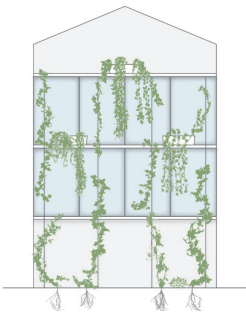
41



42



43



Begrünungssystem
boden-/wandgebunden, Mischform

Systemaufbau
Kragkonsolen oder Vorkonstruktion zur Aufnahme von Pflanzmodulen und Kletterhilfen

Gestaltung
sofortige Flächenwirkung bei Vorkultivierung.
Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase (sommergrün/immergrün)

Pflanzeneignung
Stauden, Kletter- und Kleingehölze nach Systemauswahl

Versorgung
Substrat, Wasser-, Nährstoffbedarf und Exposition nach System- und Pflanzenauswahl.
Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale
Erweiterung der bodengebundenen Begrünung bis in größere Höhen, Witterungs- und Strahlungsschutz nach Pflanzenauswahl (sommergrün, immergrün, Textur)
Verschattungs- und Verdunstungsleistung, ggf. Vertical Farming

Kosten (s. a. S. 268-269)
Investitions-, Pflege-/Wartungsaufwand nach System-, Pflanzenauswahl und Zugänglichkeit

2.5.6 Kombination aus boden- und wandgebundener Begrünung

Je nach örtlicher Situation, Gestaltungsziel und Funktion kann (oder muss) eine parallele Anwendung von bodengebundenen und fassadengebundenen Begrünungstechniken an der selben Fassade zur Anwendung kommen [182]. Als Beispiel sei ein Gebäude der Humboldt-Universität Berlin (Adlershof) betrachtet, dessen Fassade sowohl eine bodengebundene Begrünung als auch eine Ergänzung der Begrünung in wandgebundenen Wuchsbehältern kombiniert (Abb. 45).

Installation und Bauweise

Als Kombination eignen sich z. B. folgende Anwendungen [vgl. 182]: Eine robuste bodengebundene Begrünung (Selbstklimmer an Stützen und Wandscheiben) mit Wuchsbegrenzung zur höheren Gebäudefassade, die mittels Pflanzen-Regalsystem mit steuerbarer Begrünung als Sonnenschutz/Einblickschutz fortgeführt wird (Abb. 49 ①). Städtisches Laubengang Apartmenthaus mit bodengebundener Heckenbegrünung der Eingangs- und Servicezone als Sichtschutz gegen den öffentlichen

Raum. In den Obergeschossen Laubengang-Abschluss als Pflanzenregal mit Absturz-Sicherung und Brüstungsfunktion (Abb. 49 ②).

Das Forschungsgebäude der Humboldt-Universität Berlin-Adlershof zeigt umlaufende Aussengänge zur Fassadenwartung und Verschattung, begrünt mit boden- und wandgebundenen Pflanzen an mehrgeschossigen Wuchshilfen (Abb. 45; Abb. 49 ③).

Durch diese Kombination konnte die zur Verschattung und Kühlung benötigte Begrünung in einem Drittel der Zeit zur Verfügung stehen.

Erscheinungsbild, Gestaltungsrahmen

Die unterschiedlichen Begrünungstechniken können bei entsprechender Pflanzenwahl nahezu unsichtbar zusammengebracht werden, eine kontrastierende Gestaltung ist jedoch ebenso möglich. Der dreidimensionale Stadtpark auf dem ehemaligen Gelände der Maschinenfabrik Oerlikon (Abb. 49 ④) (MFO-Park, Zürich, Abb. 47) zeichnet mit einem begehbaren Stahlskelett die Dimension des ehemaligen Bauvolumens nach. Die

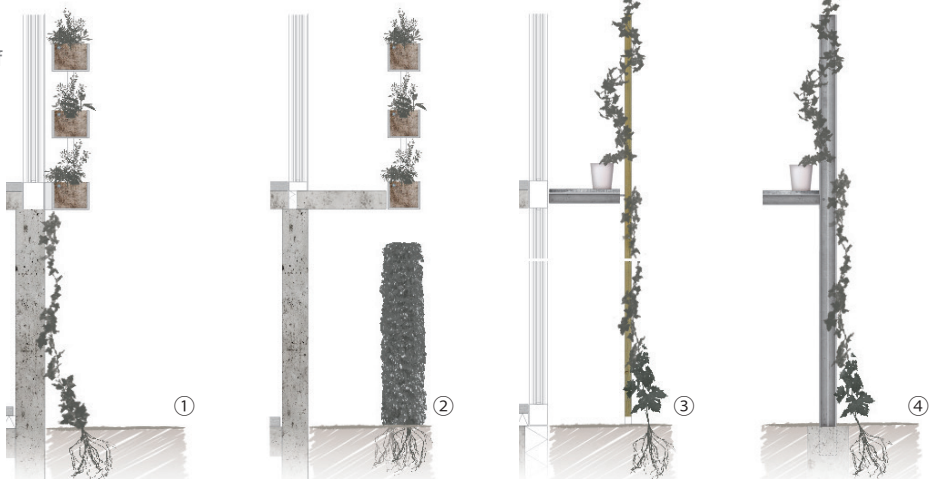
Abb. 45: Fassade Institut für Physik, Humboldt-Universität, Berlin-Adlershof (Foto: N. Pfoser 2009)

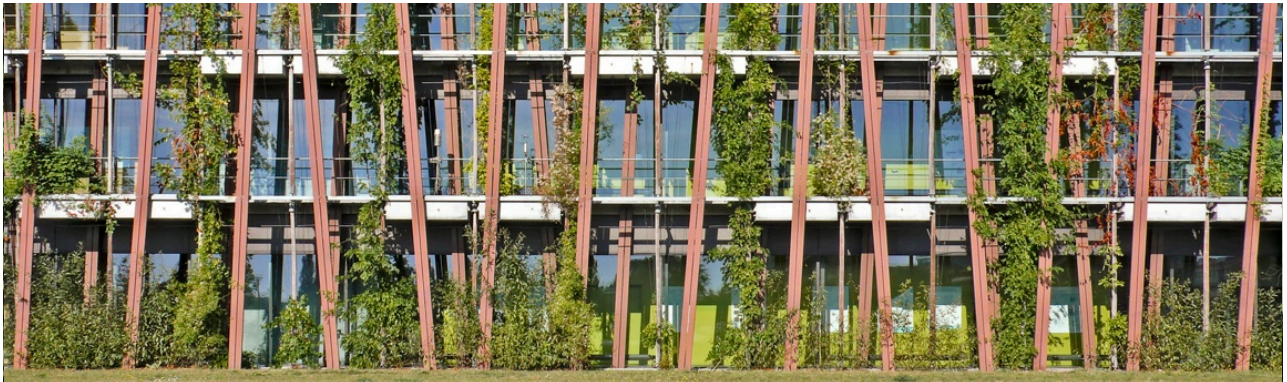
Abb. 46: Ex Ducati, Rimini, (Foto: © Mario Cucinella Architects Srl)

Abb. 47: MFO Park Zürich-Oerlikon (Foto: © Jakob AG)

Abb. 48: "Platanenkubus" Nagold, (Foto: © Ludwig.schönle)

Abb. 49: Systeme (Prinzipschnitte). Bodengebundene Begrünung in Kombination mit Begrünung in Gefäßen ① ② ③ ④. Ggf. Kletterhilfen erforderlich (Seile, Stäbe, Gitter, Netze) (© Nicole Pfoser 09/2009)





45

Begrünung kombiniert bodengebundene Gerüstkletterpflanzen mit Kletterpflanzen in Pflanzkästen in allen Höhen der öffentlich zugänglichen Umgangsstege und Brücken. In der gesamten Skulptur versorgt ein verzweigtes Leitungssystem die Substratbehälter ganzjährig mit Wasser und Nährstoffen. Durch die Kombination beider Systeme verkürzt sich die Dauer bis zur vollständigen Begrünung der Gesamthöhe auf die eines einzelnen Geschosses. [182]

Anwendungsmotive

Die Vorteile von Mischformen sind [vgl. 182]:

- Möglicher Einsatz von kostengünstigen Kletterpflanzen bis in Höhen, die für Pflanzen sonst unerreichbar sind
- Verkürzung des Zeitraums bis zur angestrebten Begrünungswirkung (z. B. Kühlung, Verschattung, Fassadenbild, Raumbildung, Blickschutz).
- Mögliche Vorkultivierung der Pflanzen
- Flächenwirkung und Gestaltwechsel im Jahresverlauf über Pflanzenauswahl steuerbar (Textur, Blattfärbung, Wuchsbild, Pflanzabstand, Dimension)
- Leichter Ersatz von Teilbereichen bei Pflanzen-Ausfall (systemabhängig)
- Hinterlüftung des Fassadenzwischenraums
- Niederschlag- und UV-Schutz der

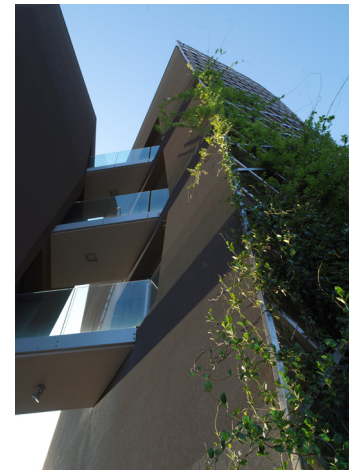
Gebäudeaußenwand (abhängig von Pflanzendichte)

- Mögliche Dämmung der pflanzen-tragenden Medien zum Schutz der Wurzelräume vor Frost
- Nach Bau-Fertigstellung verkürzter Zeitraum bis zur positiven Umgebungswirkung wie Kühlung, Schallabsorption, Feinstaubbindung, CO₂-Aufnahme, Sauerstoffproduktion

Eine Innovation des Bauens mit Grün ist der sogenannte „Platanen-Kubus“ (10 x 10 x 10 Meter, Landesgartenschau Nagold 2012, Abb. 48).

Ein Reihung aus jungen, nebeneinander und übereinander angeordneten Platanen wird zunächst von leichten Stahlfachwerken in Form gehalten und beginnt als Mischform aus bodengebundenen und in Substratbehältern gezogenen Bäumen.

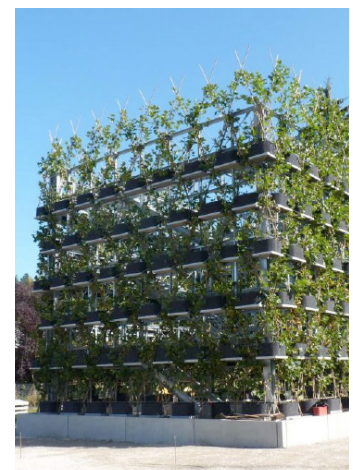
Durch die Verpfropfung zu einer "Gesamtpflanze" entsteht ein netzförmiger Baumverbund, der seine Höhe, Stabilität und eine dichte Blattmasse in deutlich kürzerer Zeit als ein Einzelbaum erreicht. Die Substratbehälter und das Stahlfachwerk werden nach und nach beseitigt, sobald sich das miteinander verwachsene Baumnetz zu einer standfesten, ausschließlich bodengebundenen Struktur ausgeprägt hat.



46



47



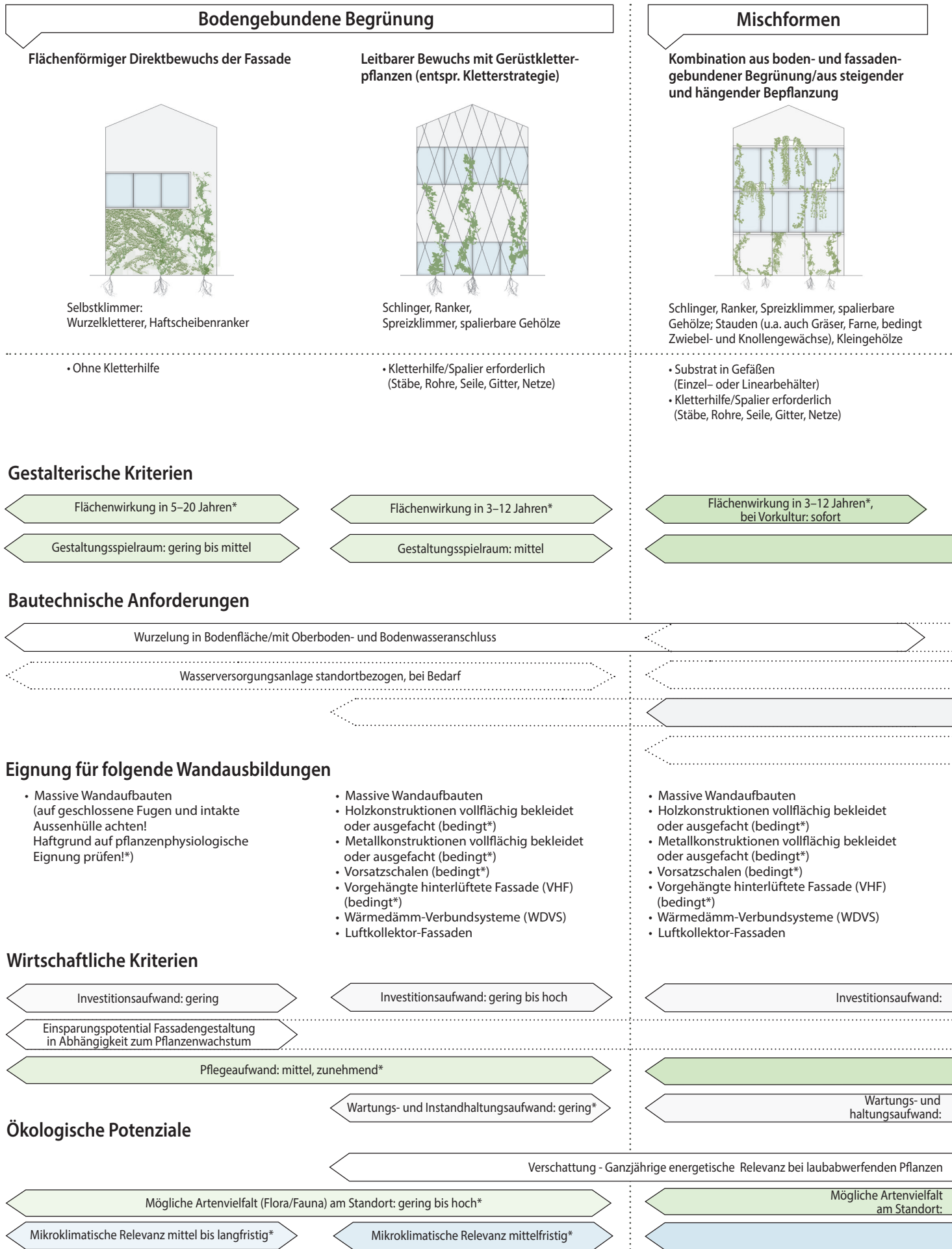
48

2.5.7 Entscheidungsparameter Fassadenbegrünung

Die nachstehende tabellarische Übersicht fasst die konstruktiven und vegetationstechnischen Kriterien der aktuellen Bauweisen zur Begrünung von Fassaden

und Wänden zusammen. Zudem werden gestalterische und wirtschaftliche Kriterien sowie die ökologischen Potenziale der Systeme vergleichend aufgezeigt. [182]

Konstruktive und vegetationstechnische Entscheidungsparameter zur Fassadenbegrünung

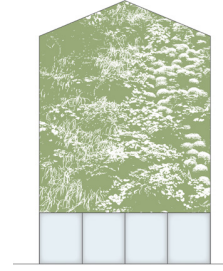
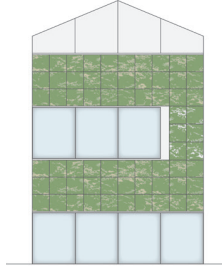


Wandgebundene Begrünung

Pflanzen in horizontalen Vegetationsflächen Pflanzgefäße an Tragkonstruktionen



Pflanzen in senkrechten Vegetationsflächen/"Vertikale Gärten" Modulare Systeme



Stauden (u.a. auch Gräser, Farne, bedingt Zwiebel- und Knollengewächse), Kleingehölze; Schlinger, Ranker, bedingt Spreizklimmer

Stauden (u.a. auch Gräser, Farne), Kleingehölze, Moose; bedingt Wurzelkletterer, Spreizklimmer

Stauden (u.a. auch Gräser, Farne), Kleingehölze, Moose; bedingt Wurzelkletterer, Spreizklimmer

- Substrat in Gefäßen (Einzel- oder Linearbehälter)

- Substrat in Element-Einheiten aus Körben/Gabionen, Matten, Kassetten
- Substrat tragende Rinnensysteme
- Direkt begrünte Kunst- und Natursteinplatten mit begrünungsfördernder Oberflächenrauheit

- Textil-Systeme
- Textil-Substrat-Systeme
- Metallblech-System mit Öffnungen zu Vegetationsflächen (Textil bzw. Substratträger)
- Direktbegrünung auf Nährstofftragender Wandschale

Flächenwirkung bei Vorkultur: sofort

Flächenwirkung bei Vorkultur: kurzfristig

Gestaltungsspielraum: groß

Wurzelung in Substrat-Systemen/keine Anforderung an Bodenausbildung und Bodenwasseranschluss. Ohne Kontakt zum Baugrund

Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage erforderlich

Bauaufsichtlich relevant, statischer Nachweis erforderlich. Tragende Bauteile: Korrosionsschutz oder nicht rostendes Material

Schutz der Fassade gegen Feuchte und Durchwurzelung erforderlich

- Massive Wandaufbauten
- Holzkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Metallkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Vorsatzschalen (bedingt*)
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) (bedingt*)
- Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)
- Luftkollektor-Fassaden

- Massive Wandaufbauten
- Holzkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Metallkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Vorsatzschalen (bedingt*)
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) (stattdessen*)
- Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS), bedingt

- Massive Wandaufbauten
- Holzkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Metallkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht (bedingt*)
- Vorsatzschalen (bedingt*)
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) (stattdessen*)
- Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)

mittel bis hoch

Investitionsaufwand: hoch

Sofortiges Einsparungspotential Fassadengestaltung

Pflegeaufwand: mittel-hoch / gärtnerisch*

Instand-
mittel bis hoch*

Wartungs- und Instandhaltungsaufwand: hoch*

(Flora/Fauna)
mittel*

Mögliche Artenvielfalt (Flora/Fauna) am Standort: groß*

Sofortige mikroklimatische Relevanz bei Vorkultur*

2.6 Dachbegrünung

2.6.1 Begrünung von flachen und geneigten Dächern

Die Realisierung flacher Dächer ist - abgesehen von Sonderfällen in trockenen Ländern - eine Bauform unserer Moderne. Die Geschichte der Planung großflächiger Dachbegrünungen ohne Pflanzgefäße beginnt mit der Herstellbarkeit von widerstandsfähigen Abdichtungs-Aufbauten. Geneigte Dächer waren bis dahin die übliche Bauweise. Ihre Begrünung beginnt bereits parallel mit dem Bau solcher Dächer als Pulte und Satteldächer und ihrer Belegung mit Grassoden auf Rinden-Unterlagen (vorzugsweise die beständige Birkenrinde) in Skandinavien, Island und auf den Färöer Inseln oder mit Steinplatten-Lagen in südlichen Ländern.

Ergänzend zur Nutzung von Dachflächen für die Solarenergie-Gewinnung kommt den Dachbegrünungstechniken wegen ihres gestalterischen und ökologischen Potenzials eine wachsende Beachtung zu. Neben den häufig ausgeführten Begrünungen auf Substratschüttungen gibt es eine Reihe bewährter Alternativen (siehe Abb. 51-53), die für diese Arbeit zusammengefasst und in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben werden.

Extensivbegrünung

Die extensive Begrünung ist in unserem Baualltag der Begriff für kostengünstige, wartungsarme Flachdachbegrünungen. Sie lässt sich in verschiedenen Varianten ausführen (Abb. 51). Neben einer Direktbegrünung von Stein-/Ziegelflächen mit Moosen und Flechten in Anlehnung an Spontanbegrünungen gibt es eine Reihe geeigneter Trägersysteme mit oder ohne Substrat, welche eine Pflanzen-Bandbreite von Moosen über den Sedumteppich bis hin zu Stauden und Kleingehölzen zulassen. Diese Vielfalt von interessanten und erfolgreichen Begrünungstechniken ist auf flachen und schrägen Dachflächen mit geringem Wartungs- und Pflegeanspruch einsetzbar.

Intensivbegrünung

(Abb. 52) Für Begrünungen von genutzten Dachgärten (Wohnungsbau, Hotels) oder städtischen Grüngestaltungen über unterirdischen Bauten (Unterführungen, Tiefgaragen, Tunnels etc.) besteht die Forderung nach einer möglichst wenig eingeschränkten Pflanzenwahl, da diese zumal im öffentlichen Raum höheren

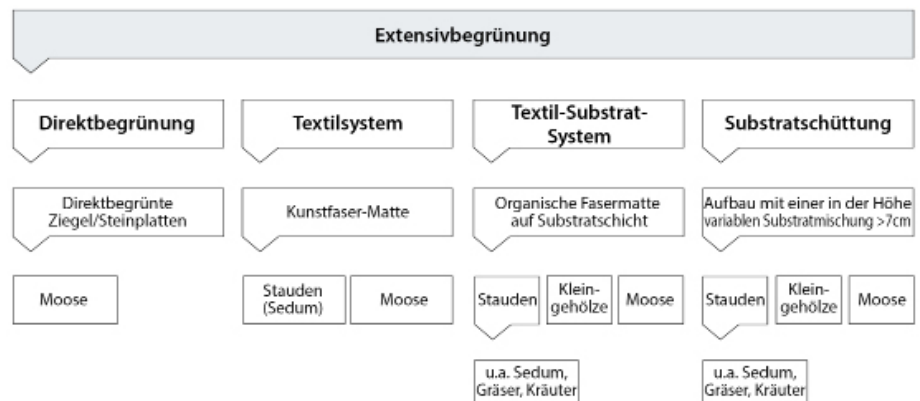


Abb. 51: Systematik Extensivbegrünung (© Nicole Pfoser 01/2013)

mechanischen und klimatischen Belastungen sowie Vorgaben für Gestaltung und Nutzung der Oberfläche gerecht werden muss. Der Aufbau verlangt hierzu eine qualitative Nachbildung des gewachsenen Bodens. Mit der Speicherfähigkeit von geeigneten Substraten beginnt die Schütthöhe mit 15 cm, kann aber flächig oder stellenweise (Standorte für Gehölze /Bäume) deutlich darüber liegen (Bäume ab 80 cm). Wo solche Aufbauhöhen wegen der örtlichen Verhältnisse nicht flächig realisiert werden können, besteht die Möglichkeit, mit

Pflanzgefäßen bereichsweise Raum für ein ausreichendes Substratvolumen als Wurzelraum zu schaffen.

Sonderformen

(Abb. 53) Eine besondere Begrünungstechnik arbeitet mit modularen Substratflächen, Matten oder Rinnen zur Sofortbegrünung bzw. für Interims-Lösungen. Eine andere Sonderform - das Retentionsdach - befasst sich mit einer Dachbegrünung, deren Aufbau auf eine möglichst große Abfluss-Rückhaltung des Regenwassers ausgelegt ist.

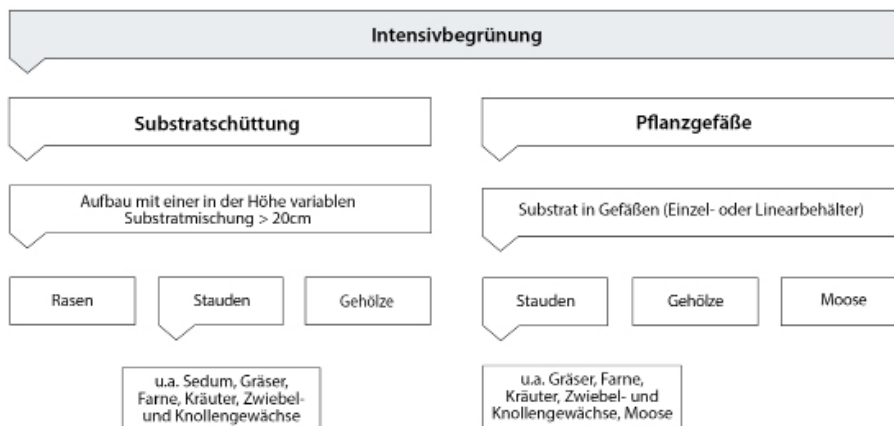


Abb. 52: Systematik Intensivbegrünung (© Nicole Pfoser 01/2013)

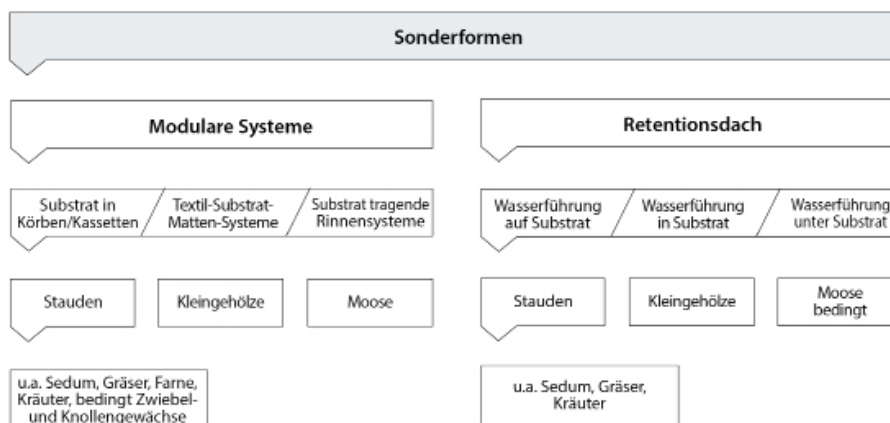
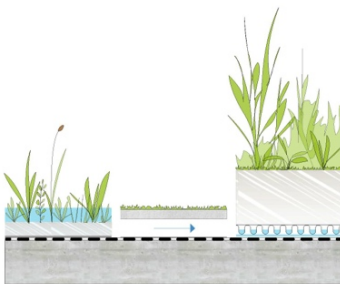


Abb. 53: Systematik Sonderformen der Dachbegrünung (© Nicole Pfoser 01/2013)

2.6.2 Konstruktionskriterien Dachbegrünung

Einschalig, ungedämmt



① **Massivkonstruktion**
Ortbeton oder Fertigteil mit Abdichtung
 Alle Begrünungstechniken möglich.
 Tragkraft beachten!



② **Stahlskelett-Bauweise**
Metal (Trapezblech, Wellblech, Platten)
 Alle Begrünungstechniken auf separater
 Tragschicht für Abdichtung möglich.
 Tragkraft beachten!



③ **Holzskelett-Bauweise**
Brettlage/Tafeln, mit Abdichtung
 Alle „leichten“ Begrünungstechniken möglich.
 Tragkraft beachten!

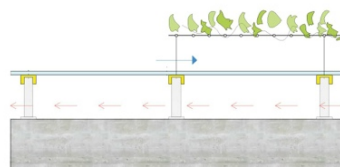


④ **Holzskelett-Bauweise**
Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten
 Sommergrüne Kletterpflanzen möglich.
 Abstand und Tragkraft beachten!

**Zweischalig, ungedämmt,
 belüftet**



⑤ **Massivkonstruktion und Gefälle-Aufbau in Holz-Bauweise mit Abdichtung**
 Alle Begrünungstechniken möglich.
 Tragkraft beachten!



⑥ **Wärmespeichernde Luftkolektor-Konstruktion mit regendichter Schale aus Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten, ggf. saisonal verschattet**
 Sommergrüne Kletterpflanzen möglich.
 Abstand und Tragkraft beachten!

Grundsätzliche planerische Klärungen

Flachdachbegrünungen sind (mindestens als Extensivbegrünungen) in der Regel Auflage der Baugenehmigung für Neubauten.

Negativbeispiel: zur Mindest Erfüllung der Auflage werden Fertigmischungen (Substrat, Pflanze, Dünger) auf die Dachfläche geblasen, verteilt und danach sich selbst überlassen. Solche Dächer werden wenig zu dem angestrebten klimatischen, ökologischen und gestalterischen Nutzen beitragen. Gerade hierbei können sich wind- und niederschlagsbedingte Umverteilungen des Substrats ergeben - mit schädlichen Folgen (unbemerkt Anwuchs von Baumtrieben, unbemerkte Ausfälle).

Dachaufbauten werden im Folgenden unter dem Aspekt der Schnittstelle zwischen Dachaufbau und Begrünung behandelt. Es gelten die einschlägigen DIN-Normen. Dachabdichtungen werden mechanischen, thermischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen ausgesetzt, sie müssen dennoch dauerhaft „wurzelfest“ sein.

Stand der Technik für diese Definition ist das Prädikat „wurzelfest nach FLL“ der Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau (FLL), welche die Materialien einem genormten „Prüfverfahren zur Untersuchung der Wurzelfestigkeit von Bahnen und Beschichtungen für Dachbegrünungen“ unterzieht. Dachabdichtungen sind mit einer Schutzlage aus verrottungs-festen Matten abzudecken.

Zur Wartung von Dach und Begrünung müssen normgerechte Anschlagpunkte (Sekuranten) bzw. Seilhaltungen für Absturz-sicherungen eingerichtet werden. Dacheinläufe sind Tiefpunkte, ihre

Gitter müssen halbjährig sowie nach Sturm und Starkregen gewartet werden (ggf. häufiger unter Großbäumen). Alle Flachdach-Dichtebenen haben Gefälle zu Einläufen, flach geneigte Dächer haben Rinnen an den Tieflinien, bei großen Längen sind Zwischenkehlen mit Einläufen zu empfehlen.

Dacheinläufe sollten so abgedeckt werden, dass sie weder von einer Ansammlung von Schmutz und verwirbelten Pflanzenteilen noch von verbackendem Hagelschlag (Eisverschluss) verstopfen können. Alle Durchstöße und Anschlüsse sind nach DIN 4102-7 im Abstand von 0,5 m dauerhaft von Begrünung freizuhalten, dieses Abstandsmaß gilt auch vor andern sensiblen Anschlüssen wie Rand- oder Bauteil-Verwahrungen. Als Notüberläufe sind zusätzliche Wasserspeicher am Dachrand (sekundäre Tiefpunkte) zu empfehlen. Ebenso eine Anwuchsabnahme der Begrünung mit Nachkontrolle der Substratstärken und eine Nachschau vor Ablauf der Gewährleistungen.

Dachflächen müssen zugänglich sein (Leiter, Hubsteiger, Aufzug). Begrünungen sollten gegen Trockenfall mit einer Schlauchbewässerung versorgt werden können, ein frostsicherer Wasseranschluss und ein spritzwassergeschützter Stromanschluss sollten zu Wartungszwecken eingerichtet werden. Eine Regenwasserstation (Pumpe, Zisterne, Nachspeisung) ist empfehlenswert.

Ungedämmte Dachaufbauten

Massivdächer (Unterführungen, Garagen) mit Abdichtung und Dächer in Stahlskelettbauweise eignen sich von der Substratschüttung bis zum Retentionsdach für alle Begrünungssysteme. Substratkästen (Intensivbegrünung) sind

⑦ **Massivkonstruktion mit Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung**
Alle Begrünungstechniken auf druckfester Dämmung möglich. Auf Dampfsperre achten! Tragkraft beachten!

⑧ **Holzskelett-Bauweise mit Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung**
Alle „leichten“ Begrünungstechniken auf druckfester Dämmung möglich. Auf Dampfsperre achten! Tragkraft beachten!

⑨ **Stahlskelett-Bauweise mit Trapezblech und Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung**
Alle Begrünungstechniken auf druckfester Dämmung möglich. Auf Dampfsperre achten! Tragkraft beachten!

⑩ **Stahlskelett-Konstruktion, Glasüberdeckung**
Sommergrüne Kletterpflanzen möglich. Abstand und Tragkraft beachten!

Einschalig, gedämmt, unbelüftet

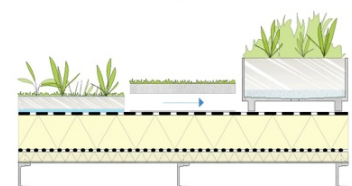
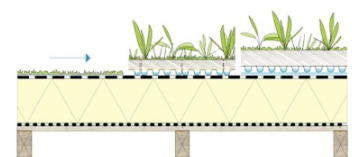
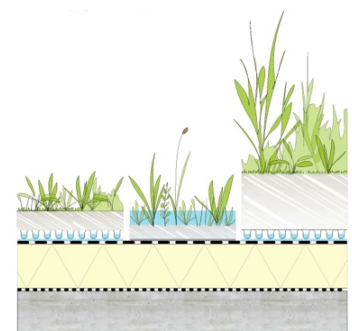
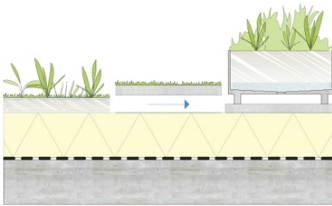


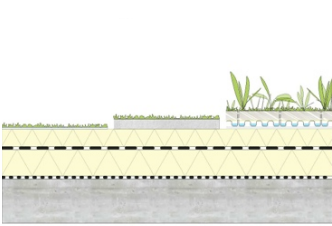
Abb. 54: linke Seite: Dachkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken: Einschalig ungedämmt ① ② ③ ④, Zweischalig ungedämmt, belüftet ⑤ ⑥; rechte Seite: Einschalig, gedämmt, unbelüftet ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
(© Nicole Pfoser 01/2013)

Einschalig, gedämmt, unbelüftet Umkehrdach



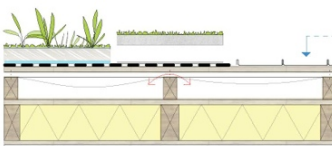
- ① **Massivkonstruktion mit Perimeterdämmung über Abdichtung, sturmsicher beschwert mit Steinplatten oder Kies**
Keine dampfsperrenden Begrünungstechniken oder flächiger Wasseranstau!
Druckfeste Dämmung! Tragkraft beachten!
Substitution Steinplatten/Kies bei flächiger Begrünung

Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung

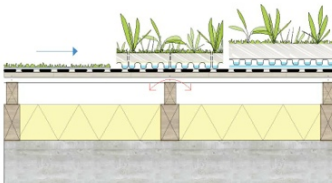


- ② **Massivkonstruktion mit Dampfsperre gedämmt und Abgedichtet. Mit zusätzlicher Perimeterdämmung, sturmsicher beschwert mit Steinplatten oder Kies**
Keine dampfsperrenden Begrünungstechniken oder flächiger Wasseranstau!
Druckfeste Dämmung! Tragkraft beachten!
Substitution Steinplatten/Kies bei flächiger Begrünung

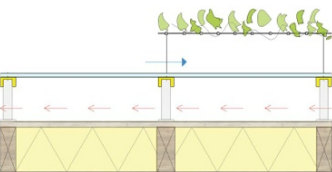
Zweischalig, gedämmt, belüftet



- ③ **Sparrendach mit Schalung, Unterspannbahn und Dachdeckung aus z. B. Dachziegeln, Dachstein, Schindeln, Faserzement, Kunststoffplatten, Metall (Trapezblech, Wellblech, Platten)**
Alle „leichten“ Begrünungstechniken auf separater Tragschicht für Abdichtung möglich.
Tragkraft beachten!



- ④ **Massivkonstruktion mit Gefälle-Aufbau in Holzbauweise mit Abdichtung**
Alle „leichten“ Begrünungstechniken möglich.
Tragkraft beachten!



- ⑤ **Gedämmte Holzskelett-Luftkollektorkonstruktion mit regendichter Schale aus Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten, ggf. saisonal verschattet**
Sommergrüne Kletterpflanzen möglich.
Abstand und Tragkraft beachten!

auf Drainageplatten zu stellen, um die Wasserableitung zu den Einläufen nicht zu stauen. Flachdächer in Holzskelettbauweise haben u.U. geringere Tragkraft, sie sind für nachträgliche Intensivbegrünungen bzw. Retentionsdächer nur bedingt geeignet. Eine statische Nachberechnung ist erforderlich. Zur Nutzlast (Begrünung) zählen Verkehrslasten und die ganzjährigen Niederschlagslasten.

Gedämmte Dachaufbauten

Für Dämmungen unter Dachlasten (Pflanzbehälter, Retentionsdach) gilt maximale Druckfestigkeit. Punktlasten sind zu vermeiden, um die Elastizität der Dachhaut nicht zu überansprechen. Eine sorgfältige innere Dampfsperre-Ebene ist unerlässlich, weil durch die Kühle begrünter Dächer selbst in der warmen Jahreszeit ein Temperaturgefälle von Innen nach Außen herrschen kann, sodass Undichten eine Kondensation innerhalb der Dämmebene bewirken können.

Sonderform Glasdach

Eine Sonderform sind verglaste bzw. transluzent gedeckte Flachdachbereiche, sie dienen meist der Belichtung bzw. einer winterlichen Solarwärmegewinnung. Eine saisonale Sommerschattung durch Begrünung ist möglich, indem bewässerte Substratbehälter am unteren Dachrand die Versorgung laubabwerfender Pflanzen übernehmen, welche auf einer dachparallel liegenden Sekundärkonstruktion die Glasdachfläche überwachsen. Ein Mindestabstand zur Glasebene von 30 cm ist zu empfehlen (und durch Wartung zu erhalten), damit abfallendes Laub vom Wind ausgeblasen, und die Glasfläche gereinigt werden kann.

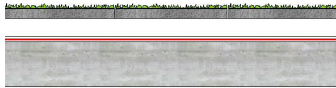
Die untenstehende Tabelle (Abb. 56) greift die in den Prinzipschnitten dargestellten gängigen Aufbau-Varianten von Flachdächern bzw. leicht geneigten Dächern mit beispielhaften Begrünungen auf und ordnet diesen eine jeweils geeignete Gruppe von Pflanzen zu. Für die Pflanzenentscheidung bzw. Auswahl der Pflanzengesellschaft sind zusätzlich die

örtlichen Kriterien wie Klimazone, Winterhärtezone, Windverhältnisse und die Beeinflussung durch umgebende Bebauung zu beachten (Verschattung, Sonnenspiegelung etc.). Zur Entscheidung geeigneter Pflanzen geben die Übersichtstabellen zu den Pflanzenbedürfnissen auf den Seiten 24-31 (Kapitel 2.3.3 bis Kapitel 2.3.5) weitere Unterstützung.

Abb. 55: linke Seite: Dachkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken: Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach) ①, Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung ②, Zweischalig, gedämmt, belüftet ③ ④ ⑤
(© Nicole Pfoser 01/2013)

Abb. 56: Dachkonstruktionen und geeignete Pflanzenauswahl
(© Nicole Pfoser 5/2013)

Ungedämmte Dachkonstruktionen		Gedämmte Dachkonstruktionen			
Einschalig, ungedämmt	Zweischalig ungedämmt, belüftet	Einschalig, gedämmt, unbelüftet	Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach)	Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung	Zweischalig, gedämmt, belüftet
<ul style="list-style-type: none"> • Massivkonstruktion Ortbeton- und Betonfertigteil-konstruktion mit Abdichtung 1-3, 4-6, 7, 8-9, 10, 11-13 • Stahlskelett-Bauweise Metall (Trapezblech, Wellblech, Platten) 1-3, 4-6, 7, 8-9, 10, 11-12 • Holzskelett-Bauweise Brettlage/Tafeln, mit Abdichtung 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 • Holzskelett-Bauweise Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten 11 	<ul style="list-style-type: none"> • Massivkonstruktion und Gefälle-Aufbau in Holz-Bauweise mit Abdichtung 1-3, 4-6, 7, 8-9, 10, 11-12 • Wärmespeichernde Luftkollektor-Konstruktion mit regendichter Schale aus Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten ggf. saisonal verschattet 11 	<ul style="list-style-type: none"> • Massivkonstruktion mit Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung 1-3, 4-6, 7, 8-9, 10, 11-13 • Holzskelett-Bauweise mit Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 • Stahlskelett-Bauweise mit Trapezblech und Dampfsperre, gedämmt, Abdichtung 1-3, 4-6, 7, 8-9, 10, 11-12 • Stahlskelett-Bauweise und gedämmte Sandwichpaneel aus z.B. Glas, Metall/Blech, Kunststoff, nachträglich Dampfsperre, Dämmung, Abdichtung 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 • Gedämmte Holzskelett-Konstruktion in Großtafel-Bauweise mit Dampfsperre und Abdichtung 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 • Stahlskelett-Konstruktion Glasüberdeckung 11 	<ul style="list-style-type: none"> • Massivkonstruktion mit Perimeterdämmung über Abdichtung, sturmsicher beschwert mit Steinplatten oder Kies 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 	<ul style="list-style-type: none"> • Massivkonstruktion mit Dampfsperre gedämmt und abgedichtet. Mit zusätzlicher Perimeterdämmung, sturmsicher beschwert mit Steinplatten oder Kies 1-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11 	<ul style="list-style-type: none"> • Sparrendach mit Schalung, Unterspannbahn und Dachdeckung aus z.B. Dachziegeln, Dachstein, Schindeln, Faserzement-, Kunststoffplatten, Metall (Trapezblech, Wellblech, Platten) 1-3, 4, 7, 10 • Gedämmte Holzskelett-Luftkollektor-Konstruktion mit regendichter Schale aus Glas, Acrylglas-, Polycarbonatplatten, ggf. saisonal verschattet 11 • Massivkonstruktion mit Gefälle-Aufbau in Holzbauweise mit Abdichtung 1-3, 4, 7, 10 • Holzskelett-Konstruktion mit Gefälle-Aufbau in Holzbauweise mit Abdichtung 1-3, 4, 7, 10 • Sparrendach mit Schalung, Unterspannbahn und Dachdeckung aus z.B. Dachziegeln, Dachstein, Schindeln, Faserzement-, Kunststoffplatten, Metall (Trapezblech, Wellblech, Platten) mit innenseitiger Aufdopplung zur Verbesserung der Wärmedämmung 1-3, 4, 7, 10
LEGENDE 1 Moose 2 Flechten Stauden 3 Sukkulente 4 Gräser 5 Rasen 6 Farne 7 Blattschmuck-/Blütenstauden/Kräuter 8 Zwiebel-/Knollengewächse 9 Wasser- und Sumpfpflanzen Gehölze 10 Kleingehölze 11 Klettergehölze (zu energetischen Zwecken sommergrün) 12 Sträucher 13 Bäume bedingt geeignet (Prüfung im Einzelfall) Unerwünschte Möglichkeit des Hinterwachstums prüfen! Statische Belastbarkeit des Daches prüfen!					



Begrünungssystem

extensiv, Direktbegrünung
immergrün/wintergrün

Systemaufbau

Ziegel-/Stein-/Kunststeinplatten zur
Direktbegrünung
Dachneigung: 0-35°, -85° bedingt

Gestaltung

Flächenwirkung sofort.
Auswahl der Begrünung nach Art
und Farbgebung

Vegetation

Moose, Flechten

Versorgung

Trägerplatten mit begrünungsfördernder Oberflächenplastizität auf nicht rostender Stahl-Unterkonstruktion. Speicherfeuchte der Platten, optional Bewässerung über Tropfschläuche oder Nebel-sprühdüsen

Systemtypische Potenziale

geringer Pflege-/Wartungs-
Aufwand, Strahlenschutz der
Dachabdichtung. Feinstaubbin-
dung und Verstoffwechslung.
Ebene Textur, monochrome Farb-
wirkung
Wasserrückhalt bis zu 20 l/m²

Kosten

Investition abhängig von Träger-
platten und Unterkonstruktion.
Pflege/Wartung gering

2.7 Dachbegrünung - Systemvarianz

2.7.1 Extensivbegrünung - Direktbewuchs

Spontanbegrünungen in der Natur sind das Vorbild zukunftsweisender Techniken: die Moosdecken auf den Felsen im Nebel der Wasserfälle oder die von leuchtend gelben Flechten bedeckten Mauerkronen von Bruchsteinwänden haben sich spontan - unmittelbar von selbst - aus ihren Standortbedingungen gebildet. Dieser Entwicklung haben Forscher der „Politecnica de Catalunya“ in Barcelona nachgespürt und entwickeln daraus anwendungsreife Techniken aus begrünbaren mehrschichtigen Betonteilen („biological concrete“) für Fassaden (Abb. 59). Diese Begrünungstechnik bietet die seltene gestalterische Möglichkeit, Fassaden und Flach- oder Steildachflächen mit einer einheitlichen Begrünungsgestaltung herzustellen.

Bau- und Vegetationstechnik

Eine bauseitige wasserableitende Flächenabdichtung ebener und leicht geneigter Dachflächen ist die Voraussetzung für den Aufbau eines flächenbündigen Plattensystems. Bei Neigungen ab 25° (Schrägdach) können überlappende Ziegelsysteme angewandt werden, welche die Anforderungen an eine übliche Dachsteindeckung erfüllen. Die Betonstein- und Ziegelemente werden mit einer begrünungsfördernden rauen, porösen Oberflächenschicht ausgestattet, um Regenwasser so zurückzuhalten, dass eine ausreichende Oberflächenfeuchte für die Moosbildung zur Verfügung steht. Damit sich dieser Vorgang nur an der Oberfläche abspielt, sind die Platten mit einer eigenen innenliegenden Wassersperre und einer eigenen Dämmschicht ausgestattet.

Moose (125 Arten) ernähren sich von den in den Luftstäuben enthaltenen mineralischen und organischen Parti-

keln. Moose sind langlebig (>100 Jahre), äußerst widerstandsfähig gegen Trockenheit, Sonnenstrahlung, Kälte und Hitze (70 °C). Sie unterscheiden sich von den Blütenpflanzen, indem sie Wasser und Nährstoffe aus der Luft aufnehmen und nicht aus Substrat. Sie besitzen keine Wurzeln, sondern Haftorgane. Ihre Oberflächen-Abwicklung ist durch mikrofeine Furchungen um das 30-fache vergrößert, was den Pflanzen zu einer sehr guten Wasserspeicherung verhilft (bis zu 20 l/m²), zu einer entsprechend wirksamen Verdunstungskühlung und zu einer guten Schallabsorption. Moose können durch einen antistatischen Effekt Feinstaub binden und durch Ionenaustausch adsorbieren, dauerhaft binden und verstoffwechslern, ebenso Giftstoffe und Schwermetalle. Sie brauchen keine mechanische Nährstoffzuführung, haben ein geringes Gewicht und sind pflegeleicht. Selbstregeneration: bei mangelnder Feuchtezufuhr stellen Moose ihre Stoffwechselfunktion ein und werden braun, der Prozess ist bei erneuter Befechtung reversibel [9; 226].

Flechten (25.000 Arten) steigern ihren Wassergehalt mit der zunehmenden Luftfeuchte der Abend- und Nachtstunden. Nach Sonnenaufgang erfolgt durch Photosynthese die CO₂-Aufnahme. Mit der Erhöhung der Lufttemperatur vermindert sich die Umgebungsluftfeuchte, die Flechten geben Wasser ab und fallen in eine Trockenstarre [48]. Die maximalen Nettosyntheseraten subalpiner Flechten liegen zwischen 1,2 und 1,7 mg CO₂ x 1/g.h bei optimalen Temperatur-, Feuchte- und Lichtbedingungen. [84]

Flechten kommen mit den Nährstoffen aus, die Luft und Wasser bieten, sie ertragen - wie Moose - bis 70 °C Hitze



57

sowie direkte Sonneneinstrahlung und können - in getrocknetem Zustand - Jahre in einer stoffwechsellosen Ruhepause überdauern. Nur bei Flechten ist die Photosynthese noch weit unterhalb des Gefrierpunkts möglich. Flechten sind abhängig von der Luftfeuchte, Regen oder Tau und saugen sich voll wie ein Schwamm. Der pH-Wert ist ein Unterscheidungsmerkmal für verschiedene Arten, von denen es sonnen- und schattensuchende gibt. [227]

Geeignete Dachkonstruktionen:

Es können herkömmliche Flachdach- und Dachstuhlbauweisen sowie Bestandsbauten mit Flach-, Pult- oder Satteldächern zugrunde liegen. Die Dachstatik muss für einen vollflächigen Belag aus Betonplatten bzw. für eine Eindeckung aus Betondachsteinen ausreichend dimensioniert sein, die Begrünungsentscheidung ist insoweit bauaufsichtlich relevant. Bei Warmdächern muss auf eine lückenlose Dampfsperre geachtet werden, da die Feuchteverhältnisse des begrünten Belags auch in der warmen Jahreszeit eine kühle Oberfläche des Dachaufbaus bewirken. Die begrünten Belagsmodule werden wie Terrassenplatten bzw. auf Schrägdächern wie Dachziegel verlegt.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Kleinteiligkeit der Formate und ihre Eingliederung in marktübliche Bauweisen ist eine gute Voraussetzung für hohe Wirtschaftlichkeit, besonders bei einer Flachdach-Belegung auf der ohnehin nötigen Abdichtungsebene. Bei Schrägdächern sind die Deckelemente zugleich die wasserableitende Schicht. Hier wird die Anordnung einer zweiten Dichtungsebene unterhalb der

Eindeckung erforderlich, weil die hohe Wasserbindung von Moosen und die verlangsamte Wasserableitung zu einem Rückstau in die Elementfugen führen kann. Dies ist ein verteuender Faktor der Bauweise. Zu den Flächenkosten dieser laufenden Entwicklungen liegen bezüglich der Herstellkosten bisher keine Kostenrichtwerte vor, die Wartungs- und Pflegekosten werden wegen des autarken Bewuchses im unteren Bereich liegen.

Eine Stärkung der diesbezüglichen Produktforschung bei den Herstellern von Dachdeckungen wäre wünschenswert.

Anwendungs-Motive

- besondere Pflegeleichtigkeit
- Positive Flächenwirkung unabhängig vom Grad der Begrünung sofort gegeben. Vorkultur möglich
- Widerstandsfähigkeit gegen Witterung und Trockenheit. Ohne künstliche Bewässerung möglich (dann orange/rostfarbige Färbungen)
- Ausprägung eines natürlichen ganzjährigen Farbenspiels
- Gebäudebegrünungen (Moose, Flechte) eignen sich auch für Steildachflächen
- ebene Textur und eine monochrome Farbwirkung
- Feinstaubbindung und Verstoffwechslung bis zu 75 % [228]
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Strahlenbelastung



58



59

Abb. 57: Spontanbegrünung Stützmauer mit Moosen, Flechten (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 58: Spontanbegrünung Mauerkrone mit Moosen, Flechten (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 59: „biological concrete“ Universität Politècnica de Catalunya, Barcelona - Aviation Center, El Prat de Llobregat-Barcelona (Simulation: © ESCOFET)



60

2.7.2 Extensivbegrünung - Textilsysteme

Begrünungssystem Extensivbegrünung immergrün/wintergrün
Systemaufbau begrünte Kunstfasermatte (Stärke ca. 1,5 cm) Dachneigung: 0-35°, -85° bedingt Gewicht 20 kg/m ²
Gestaltung Flächenwirkung kurz bis mittelfristig, bei Vorkultur sofort. Auswahl Begrünung nach Art und Farbgebung
Vegetation Moose
Versorgung feuchtigkeitsspeichernde Kunstfasermatte. Optional Bewässerung
Systemtypische Potenziale Geringer Pflege-/Wartungsaufwand, Strahlenschutz der Dachabdichtung. Feinstaubbindung und Verstoffwechslung. Ebene Textur, monochrome Farbwirkung Wasserrückhalt bis zu 24 l/m ²
Kosten (gem. P. Bott 7/2013) Investition ca.45-60 €/m ² Pflege/Wartung ca. 0,50 €/m ² a

Textilmatten-Begrünungen (Abb. 60, ⑥) bieten den Vorteil ihrer möglichen Vorkultivierung, sodass ein fertiger Moos-Teppich heute schon mit der Gebäudefertigstellung einsatzbereit sein kann. Beim konventionellen Aufbau als Rohmatte mit eingebrachten Sprossen benötigt ein gestalterisch und ökologisch wirksamer Anwuchs der Fläche 3-4 Jahre [9] (Abb. 61). Der Gestaltungsspielraum begrenzt sich auf die Flächenwahl, das Farbenspiel ergibt sich aus den gewählten Moosarten je nach ihrem Feuchte-Zustand von z. B. rostrot bis zu hellgrün.

Bau- und Vegetationstechnik

Vorkultivierte Moosmatten bestehen aus einem Wasserspeicher-Vlies und einem dreidimensionalen Wirrgewebe als Vegetationsträger [226]. Sie werden mit ihrem Gewicht von ca. 20 kg/m² direkt auf die Dachabdichtung befestigt (Klebung) [9, 226].

Für den Fall der Anforderung einer dauerhaften frischen Grünwirkung ist die Entscheidung einer künstlichen Bewässerung (Dachwasser) zu treffen.

Geeignete Dachkonstruktionen

Der Einsatz von Moosmatten erfolgt besonders bei Trapezblechdächern im Industrie- und Gewerbebau. Es können aber auch herkömmliche Flach- und Schrägdachaufbauten mit dieser Technik begrünt werden [9]. Hier gelten die zuvor bei der Direktbegrünung beschriebenen Punkte entsprechend.

Die Entwässerung von flachen und schrägen Flächen erfolgt über die Mattenoberfläche, unkorrekte Gefälleausbildungen würden daher zu anstauenden Pfützenbildungen führen. Eine zusätzliche mechanische Fixierung der Dachabdichtung ist erforderlich [9] we-

gen möglicher Sogkräfte, besonders bei Attika-Aufbauten. An Traufen von Schrägdächern ist eine sorgfältige linear durchlaufende Befestigung der Mattenabschlüsse in der einliegenden Kehlrinne erforderlich, damit Windverwirbelungen das System nicht unterfahren können. Die Außenfläche der Kehlrinne liegt am besten soweit zurückversetzt zur Fassade, dass diese bis zu ihrem oberen horizontalen Abschluss in einer einheitlichen Gestaltung durchgeht. Herkömmliche außenliegende Dachrinnen sind wegen der Aufnahme und Befestigung der voluminösen Mattenränder weniger gut geeignet.

Wirtschaftliche Kriterien

Der Investitionsaufwand der reinen Begrünungstechnik (ohne künstliche Bewässerung) liegt im unteren Bereich, ebenso der Wartungs- und Pflegeaufwand.

Anwendungsmotive

- Vorkultivierung möglich
- besonders schnelle Fertigstellung
- ökologische Relevanz sofort verfügbar
- preisgünstige Herstellung
- geringer Pflegeaufwand
- kein Pflanzenausfall bei Bewässerungsmangel
- Feinstaubbindung und Verstoffwechslung bis zu 75 % [228]
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Strahlenbelastung

Abb. 60: Extensive Dachbegrünung - Moosmatten, „Kongresshaus Baden-Baden 2012“, (Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH)

Abb. 61: Prada, Tokyo, Herzog & de Meuron, 2003 (Foto: © Tim Brown Architecture)



61



62

2.7.3 Extensivbegrünung - Textil-Substrat-Systeme

Das System ist mit dem Textilsystem verwandt, jedoch nicht gleichartig. Zusätzlich befindet sich im Systemaufbau unter einer hier organischen Fasermatte (z. B. Kokosfaser) eine Substratschicht auf einem Schutz- und Speichervlies. Der höhere Systemaufbau hat Einfluss auf die Lage der Hauptentwässerung und führt in trockenen Zeiten zu einer verstärkten Feuchtespeicherung. Der Einfluss auf die Gestaltung ist infolge der umfangreicheren Pflanzenauswahl durch die enthaltene Substratschicht größer.

Bau- und Vegetationstechnik

Es gelten prinzipiell die für das Textilsystem aufgeführten Kriterien. Auch bei dieser Variante ist die mechanische Fixierung des Aufbaus an der Dachabklebung erforderlich [9]. Vorkultiviert mit einer Sedumbepflanzung wiegt der Begrünungsaufbau 30 - 50 kg/m², bei Bepflanzung mit Sedum und Flachballenstauden 60 - 90 kg/m² (Marktauswertung). Die zusätzliche Substratschicht verbessert die Versorgungsbedingungen der Begrünung und führt zu einem widerstandsfähigeren, dichteren Bewuchs.

Geeignete Dachkonstruktionen

Als relativ leichtes System ist es auf allen Dachkonstruktionen mit geeigneter Neigung anwendbar. Bei einem unbelüfteten Warmdach muss auf eine hochwertige Dampfsperre geachtet werden. Über Dächern mit Perimeterdämmung dürfen keine dampfsperrenden Schichten ausgeführt werden. [36]

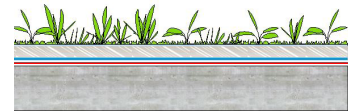
Wirtschaftliche Kriterien

Mit der zusätzlichen Substratschicht gelangt der Investitionsaufwand in den mittleren Bereich. Der Pflegeaufwand

sowie der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sind gering bis mittel einzustufen. Durch ihr Auflagegewicht kann die sonst übliche Flächenauflast gegen Windsogkräfte eingespart werden.

Anwendungsmotive

- zeitsparende Herstellung
- Vorkultivierung möglich
- ökologische Relevanz sofort verfügbar
- unkompliziertes System (geringeres Speichervermögen)
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Witterungs- und Strahlenbelastung



Begrünungssystem
Extensivbegrünung
immergrün/wintergrün

Systemaufbau
vorkultivierte organische Fasermatte auf Substratschicht
Dachneigung: 0-35°, -85° bedingt
Gewicht 30-90 kg/m²

Gestaltung
Flächenwirkung kurz bis mittelfristig, bei Vorkultur sofort
Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase

Pflanzeneignung
Stauden (insbesondere Sukkulente), Kleingehölze, Moose

Versorgung
Substratfeuchte, Wasser-, und Nährstoffversorgung bei Bedarf.
Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse).
Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale
Witterungs-, Strahlungsschutz der Dachabdichtung, Substitution Gewichtsaufgabe gegen Sogkräfte.
Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel
Wasserrückhalt bis zu 20 l/m²

Kosten (gem. P. Bott 7/2013)
Investition ca. 55-70 €/m²
Pflege/Wartung ca. 1,00 €/m²a

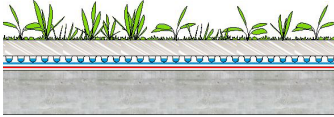
Abb. 62: Extensive Dachbegrünung - Sedummaten (Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH)

Abb. 63: Extensive Dachbegrünung - Ev. Gemeindezentrum Brühl (Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH)



63

65



64

2.7.4 Extensivbegrünung - Substratschüttung 5-15 cm

Begrünungssystem Extensivbegrünung immergrün/wintergrün
Systemaufbau höhenvariable Substratmischung auf Drainageschicht Dachneigung: 0-35°, -45° bedingt Gewicht 50-190 kg/m ²
Gestaltung Flächenwirkung mittelfristig Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase
Pflanzeneignung Stauden (insbesondere Sukkulente), Kleingehölze, Moose
Versorgung Substratfeuchte, Wasserspeicherschicht, Wasser-, und Nährstoffversorgung bei Bedarf. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse). Pflege- und Wartungszugänglichkeit
Systemtypische Potenziale Geringer Investitionsaufwand, Witterungs- und Strahlungsschutz der Dachabdichtung, Substitution Gewichtsaufgabe gegen Sogkräfte. Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel Wasserrückhalt 30-50 l/m ² (30- 70 % N/a)
Kosten (gem. P. Bott 7/2013) Investition ca. 15-35 €/m ² Pflege/Wartung ca. 1,50- 3,00 €/m ² a



65

Abb. 64: Extensive Dachbegrünung - University College, Amsterdam (Foto: © Schadenberg)
Abb. 65: Sedum (Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH)

Mit einer in der Aufbauhöhe bestimmten Substratschüttung von 5-15 cm Dicke auf Dränmatten eignet sich das System für Dachneigungen bis zu 35°. Die Substratschüttung besteht aus wasserhaltenden, lufthaltenden und organischen Bestandteilen. Mit der Bedingung zum Einbau von Schubschwellen gegen ein Abrutschen des Substrats kann die Neigung auf 45° erweitert werden [3]. Mit der sicheren Substratversorgung ist das Einsatzgebiet des Systems qualitativ und quantitativ entsprechend vergrößert und die Artenvielfalt erhöht (siehe Kapitel 5.4).

Bau- und Vegetationstechnik

Dieser Aufbau kann infolge seines erhöhten Gewichts eine Kies- oder Plattenbeschwerung ersetzen, daher ist eine Fixierung der Dachabdichtung nicht erforderlich. Der Aufbau besteht aus der höhenvariablen Substratschüttung sowie einer Schutz-, Speicher- und Entwässerungslage direkt oberhalb der Abdichtungsebene [9].

Das Flächengewicht des vollständigen (feuchten) Begrünungssystems beträgt (je nach Schüttungsdicke von 50 - 190 kg/m² [3].

Kostengünstig ist eine extensive einschichtige Dachbegrünung (Substrat über Schutzlage, ohne Entwässerungslage). Dies setzt hohe Ansprüche an die Substratqualität (z. B. Wasserspeicherfähigkeit, Durchlässigkeit) voraus.

Die Pflanzenauswahl erfolgt nach Winterhärte und Lebensform (Lichtverhältnisse, Wasserbedarf, pH-Wert) sowie Geselligkeit, Blatt-, Blüh- und Farb-Aspekten. Auch der Pflanzzeitpunkt kann ausschlaggebend auf die Pflanzenauswahl sein. Aufgrund der noch

niedrigen Substratschüttung sind bei Staudenverwendung Flachballenstauden zu wählen. Eine Drainageschicht aus Recyclingmaterial ist anzustreben.

Substratschüttungen sind in ihrer Dicke auf die vorgesehene Begrünung eingestellt (z. B. Sedum ca. 8 cm). Damit gewährleistet eine Extensivbegrünung, dass keine für das Flachdach schädlichen Baumtriebe überleben können. Allerdings können stürmischer Wind bzw. Verwirbelungen an Bauteilen zu einer Substratanhäufung führen, die diesen Trieben eine ausreichende Bodentiefe anbietet. Extensivdächer müssen daher auch unter diesem Gesichtspunkt regelmäßig gewartet werden.

Geeignete Dachkonstruktionen

Alle Dachkonstruktionen mit entsprechender Neigung können unter Berücksichtigung der Bauphysik begrünt werden. Der erhöhten Dachlast ist bei der Dimensionierung Rechnung zu tragen.

Wirtschaftliche Kriterien

Das System erreicht einen zusätzlichen winterlichen Dämmeffekt des Dachaufbaus von bis zu 10 % [78]. Der Pflegeaufwand sowie der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sind gering bis mittel einzustufen.

Anwendungsmotive

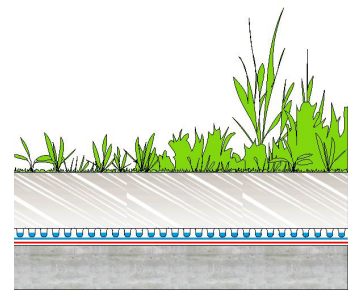
- einfacher kostengünstiger Aufbau
- guter Wasserrückhalt, selten Zusatzbewässerung
- durch einfache Aufbring-Technik schnelle Fertigstellung
- robuste langlebige Möglichkeit
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Witterungs- und Strahlenbelastung



66



67



2.7.5 Intensivbegrünung - Substratschüttung >15 cm

Bau- und Vegetationstechnik

Der Pflanzenauswahl sind bei dieser Form von Intensivdächern bei entsprechender Substrathöhe keine Grenzen gesetzt. Bei den Unterbauten handelt es sich hier in der Regel um Betondecken. Sie sollten bereits vor dem weiteren Aufbau eine Gefälleführung zu den Einläufen haben, denn auch bei höheren Substratschüttungen beginnt der Aufbau oberhalb der Abdichtungsebene mit einem Drainageaufbau, der überschüssiges Wasser abtransportieren muss.

Der Aufbau hat folgende Lagen (von unten nach oben): Wurzelfeste Dachabdichtung, Schutz- und Speichervlies, Drain- und Wasserspeicherelemente (optional Wurzelschutzbahn, Speichervlies, mineralisches Drainsubstrat), Filtervlies, Substratschichten auf Vegetation abgestimmt (Rasen, Stauden und Gehölze, Bäume bei einer Substrathöhe ab 80 cm). Das Aufbaugewicht von 190-680 kg/m² (bei Baumpflanzung) ist statisch relevant, die Daten müssen deshalb bei der Planung berücksichtigt werden (Marktauswertung).

Geeignete Dachkonstruktionen

Massivbauten mit flachen oder flachgeneigten (0° - 5°) Betondecken und unterirdische Betonbauwerke oder andere statisch stabile Konstruktionen.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Kosten des Aufbaus beginnen mit 60.- €/m². Der Wartungs- und Pflegeaufwand entspricht dem von Gärten je nach Pflanzenauswahl. Eine künstliche Bewässerung ist empfehlenswert. Zumindest sollte eine Einrichtung zur Notbewässerung für Trockenzeiten (möglichst als Regenwasser) vorhanden sein.

Anwendungs-Motive

- Nutzertrag („Urban Farming“) möglich (Abb. 68)
- Dachgarten-Überbauung bis hin zu Landschaftsdächern möglich
- Baumpflanzung ohne gewachsenen Bodenanschluss möglich (Abb. 67)
- besonders ausgeprägtes ökologisches Leistungspotenzial
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Witterungs- und Strahlenbelastung

Begrünungssystem

Intensivbegrünung, sommergrün/immergrün/wintergrün

Systemaufbau

höhenvariable Substratmischung auf Drainageschicht
Dachneigung: 0-5°
Gewicht 190-680 kg/m²

Gestaltung

Flächenwirkung mittelfristig
Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase

Pflanzeneignung

Rasen, Stauden, Gehölze

Versorgung

Substratfeuchte, Wasserspeicherschicht, Wasser-, und Nährstoffversorgung. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse). Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale

Witterungs- und Strahlungsschutz der Dachabdichtung. Substitution Gewichtsauflage gegen Sogkräfte. Ausbildung als "Garten" möglich, Urban Farming, Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel
Wasserrückhalt 30-160 l/m² (60-90 % N/a)

Kosten (gem. P. Bott 7/2013)

Investition ca. 5,00 €/m² je cm Substratstärke, Pflege/Wartung ca. 3,50-5,00 €/m²a



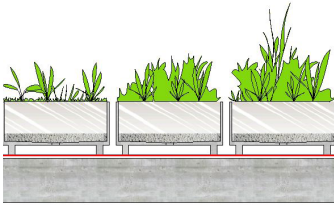
68

Abb. 66: Intensive Dachbegrünung Sommerwiese

(Foto: © ZinCo GmbH)

Abb. 67: Verwaltungszentrum Konradinallee, Wiesbaden Intensivbegrünung einer Tiefgaragendecke (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 68: Urban Farming - Gemüseanbau auf dem Dach, (Foto: © ZinCo GmbH)



69

2.7.6 Intensivbegrünung - Pflanzgefäße

Begrünungssystem
Substrat auf Drainageschicht in Gefäßen
immergrün/sommergrün/wintergrün

Systemaufbau
Substrat auf Drainageschicht in Gefäßen
Dachneigung: 0-5°
Gewicht abhängig von Gefäß- und Pflanzenwahl

Gestaltung
Flächenwirkung kurzfristig, bei Vorkultur sofort. Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase

Pflanzeneignung
Stauden, Gehölze, Moose

Versorgung
Substratfeuchte, Wasserspeicherschicht, Drainage, Wasser-, und Nährstoffversorgung. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse). Pflege- und Wartungszugänglichkeit

Systemtypische Potenziale
Große Pflanzenauswahl durch mögliche Wintereinlagerung, Urban Farming, Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel

Kosten (gem. P. Bott 7/2013)
Investition abhängig von Gefäß- und Pflanzenwahl > 500,00 €/m², Pflege/Wartung ca. 3,50-5,00 €/m²a

Das große Potenzial der Begrünung mit Pflanzgefäßen liegt in der flexiblen Handhabung und Veränderbarkeit. Sie eignen sich neben dem gestalterischen Nutzen für Absperrungen, Einfassungen und Sichtschutz von Bereichen. Es sind vorkultivierte Füllungen mit Staudengewächsen, Gräsern, dichtem Buschwerk aus Gehölzen und Bäumen möglich. Bei den Gefäßen handelt es sich vorwiegend um Beton- Holz- oder Metallblechbehälter, in der Regel mit genormten Maßen. Für den Einsatz vor Fassaden sind Traggerüste als Vorfassade erforderlich.

Bau- und Vegetationstechnik

Bei einem Einsatz auf Umkehrdächern oder nachträglich mit Perimeterdämmung gedämmten Flächen sollte für eine Durchlüftung der Standflächen gesorgt werden. Staunässe in den Behältern muss vermieden werden. Eine Drainage aus Lava oder Kies, abgedeckt mit einem Vlies als Wurzelschutz ist daher zu empfehlen. Die geplante Bepflanzung hat direkten Einfluss auf die Behälterhöhe (für ca. 2 m hohe Sträucher mindestens 50 cm).

Über eine Leitbepflanzung (ganze Vegetationsperiode) und Begleitpflanzen kann eine jahreszeitlich abgestimmte Gestaltung erreicht werden. Bei wichtigen Einsätzen sollte ein Ausfall- und Ersatzplan bestehen.

Konstruktion der Aufstellfläche

Alle statisch ausreichend dimensionierten ebenen Flächen (Maximalneigung ca. 5°). Bei druckempfindlichen Materialien wie Flachdächern mit Dämmungsaufbau müssen druckverteilende Platten untergelegt werden. Wichtig ist die Beachtung der Standfestigkeit auch unter Sturmeinfluss; diese

kann z. B. durch miteinander kraftschlüssig verbundene Übereckanordnungen verbessert werden.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Wartung der Pflanztröge ist über den Erhalt des Gestaltungszwecks hinaus sicherheitsrelevant (besonders bei hoher Bepflanzung) und sollte protokolliert werden: neben mangelnder Sturmsicherheit können die Pflanzen trocken fallen und übergewichtig werden. Im öffentlichen Raum können sie durch Unbefugte umgestellt werden und dadurch zum Unfallrisiko werden.

Anwendungs-Motive

- Intensivbegrünung ohne Gründachaufbau möglich
- durch Umsetzen Gestaltungsänderungen einfach
- Interimslösungen mit vorkultivierten Pflanzencontainern
- Besonders große Pflanzenauswahl durch Eignung nicht winterharter Pflanzen
- Überwinterung nicht winterharter Pflanzen in geeigneten Räumen



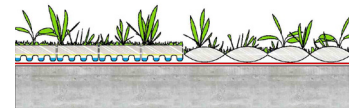
70

Abb. 69: Dachterrasse Immeuble Spirit of Future, 7 rue du Docteur Lancereaux, Paris (Foto: Nicole-Pfoser 2012)

Abb. 70: Pflanzgefäße Innenhof Württembergische Gemeindeversicherung (WGV) (Foto: © Kunder Landschaftsarchitektur)



71



2.7.7 Sonderformen - Modulare Systeme

Der schnellste Weg zu einer dauerhaften oder temporären Begrünung von unterbauten Flächen bzw. Dächern ist die Verlegung von modularen Elementeneinheiten aus Körben bzw. Kassetten, die (fertig vorkultiviert) termingenaue die Baustelle beenden können. Alternativ gibt es Mattensysteme und substrattragende Rinnensysteme. Der Unterbau muss auf ggf. einwirkende Punktlasten unter den Modulen vorbereitet sein. Der Einbau ist zu jeder Jahreszeit möglich, eine Versetzung direkt über der Abdichtung ist möglich. Die Gestaltungsfreiheit ist besonders hoch und behält eine Flexibilität hinsichtlich Lage und Bepflanzung der Module. Die Artenvielfalt ist in vollem Umfang der geeigneten Pflanzen gegeben.

Bau- und Vegetationstechnik

Die Bauweise ist neben Flachdächern auch bei geneigten Flächen von bis zu 20 ° möglich. Für steilere Neigungen sind besondere Bedingungen wie z. B. eine aufwändige Fixierung des Aufbaus nötig. Eine Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage ist erforderlich. Das System ist mit der modularen Wandbegrünung verwandt. Dementsprechend können neben einfachen Sedum-Modulen je nach System auch andere Stauden (u.a. auch Gräser und Farne) sowie Kleingehölze und Moose eingesetzt werden.

Ein Anwendungsfeld besonders für Interimslösungen besteht in der Aufbringung substrat- und samengefüllter Textilschläuche (Abb. 72), die bereits zu handhabbaren Mattengrößen miteinander verbunden sind. Nach Bewässerung durchwachsen die Keimlinge das organische Textilgewebe und bilden nach kurzer Zeit eine flächige Begrünung aus.

Geeignete Dachkonstruktionen

Einschalige und mehrschalige Dachkonstruktionen aller Art, flach oder flachgeneigt (0° - 20°). Die Begrünung steilerer Dachneigungen erfordert aufwändige Unterkonstruktionen.

Wirtschaftliche Kriterien

Der Herstellungs-, Pflege-, Wartungs- und Instandhaltungsaufwand liegt - u.a. wegen der Bewässerungskosten - im mittleren und im Falle einer nötigen Unterkonstruktion im hohen Bereich.

Anwendungsmotive

- temporäre Begrünung von z. B. Baucontainern möglich (vorkultiviert)
- besonders schneller Aufbau erreichbar
- Fläche leicht erweiter- und änderbar
- keine Windverblasung des Substrats
- Schutz der Abdichtungsebene gegen Witterungs- und Strahlenbelastung

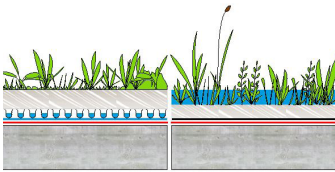


72

Begrünungssystem	Sonderform, immergrün/wintergrün
Systemaufbau	Substrat in Element-Einheiten/ Matten Dachneigung: 0-20°, -85° bedingt Gewicht 50 kg/m ²
Gestaltung	Flächenwirkung kurzfristig, bei Vorkultur sofort. Pflanzenauswahl nach Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase
Pflanzeneignung	Stauden, Kleingehölze, Moose
Versorgung	Substratfeuchte, Wasserspeicherschicht, Drainage, Wasser- und Nährstoffversorgung bei Bedarf. Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht- und Windverhältnisse). Pflege- und Wartungszugang
Systemtypische Potenziale	schneller Aufbau, temporäre Dachbegrünung möglich, Witterungs-, Strahlungsschutz der Dachabdichtung, Substitution Gewichtsauflage, Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel
Kosten (gem. P. Bott 7/2013)	Investition ca. 50-60 €/m ² Pflege/Wartung ca. 1,50-3,00 €/m ² a

Abb. 71: Modulare Dachbegrünung - Vorkultivierte Sedumkisten (Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH)

Abb. 72: Freecell, Earth Cinch (Foto: © Freecell Architecture LLC)



Begrünungssystem	Sonderform, sommergrün/immergrün/wintergrün
Systemaufbau	regulierte Wasserführung je nach System über, in oder unter Substrat, ggf. Wasserkreislauf Dachneigung: 0-5°, -15° bedingt Gewicht 50-210 kg/m ²
Gestaltung	Flächenwirkung kurzfristig, bei Vorkultur sofort. Pflanzenauswahl nach System, Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase
Pflanzeignung	systembezogenen Stauden (ggf. Wasser-/Sumpfpflanzen), Kleingehölze, Moose
Versorgung	Substrat, Wasserversorgung nach Systemwahl. Pflanzenauswahl nach Exposition, Feuchtezahl und Wasserhärte. Pflege- und Wartungszugänglichkeit.
Systemtypische Potenziale	Witterungs- und Strahlungsschutz der Dachabdichtung, zusätzliche Kühlwirkung bei Aufbau mit Wasserfläche, Grauwasserklärung, Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel Wasserrückhalt 8-50 l/m ² (50-90 % N/a)
Kosten (gem. P. Bott 7/2013)	Investition ca.30-40 €/m ² zzgl. Wasserspeicherung und -Versorgung, Pflege/Wartung ca.1,50-3,00 €/m ² a

Abb. 73: Vegetation Retentionsdach Kelterei Possmann Frankfurt/Main (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 74: Vegetationsmatte Retentionsdach Kelterei Possmann (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 75: Zugang, Oberlicht Retentionsdach Kelterei Possmann (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 76: Wasserzulauf Retentionsdach Kelterei Possmann (Foto: Nicole Pfoser 2012)

2.7.8 Sonderformen - Feuchtdach/Wasserdach/Retentionsdach

Das Ziel dieser begrünten Dachbauweise ist die Regenwasser-Rückhaltung zu klimatischen, pflanzenspezifischen oder verfahrenstechnischen Zwecken (Industrie – z. B. Fa. John Deere, Mannheim). Auch die Reduktion der Regenwasserableitung insgesamt und besonders die Vermeidung ihrer Spitzenwerte bei Starkregen kann im Umfang des Retentionsvermögens verbessert werden. Die nach Nutzung der Anstaureserve verbleibende Überlaufmenge kann durch Versickerung dem Erdboden zurückgegeben werden.

Bau- und Vegetationstechnik

Dachflächen als Umkehrdach oder mit späterer Nachdämmung auf ihrer Oberseite sind ungeeignet. Aufschwimmende Bauteile müssen vermieden werden (ausgenommen Schwimmerschalter o. ä. bei automatischer Regelung des Abflusses).

Die geregelte Wasserführung in der Substratschicht, unter Substrat in Drainelementen oder (teilweise) offen an der Oberfläche liefert auch Potenzial für eine klimatisch natürlich gesteuerte Wassergarten-Qualität.

Systeme mit einer Wasserführung unter der Substratschicht gleichen im Prinzip dem Aufbau von Systemen mit Substrat-

schüttung. Lediglich die Dränagematten verzögern den Abfluss des Wassers über eine mäandrierende Wasserführung. Bei einer Wasserführung innerhalb der Substratschicht muss das Substrat der Nutzung entsprechend beschaffen sein.

Die Wasserführung über Substrat wurde bisher in experimentellen Projekten wie der Kelterei Possmann in Frankfurt und der Firma John Deere in Mannheim umgesetzt. Bei diesem Aufbau mit stehender Wasserfläche wird anstatt der Substratschicht eine verrottungsfeste Vegetationsmatte als Verankerungsebene für die Pflanzenwurzeln eingebaut. Die Ab- und Zuläufe werden über eine Pumpenanlage einer gleichförmigen Umwälzung (Kreislaufsystem) der Wassermenge angepasst. Im Regelfall werden Wurzeln und Substrat bis zu 10 cm vom Wasser überdeckt.

Es besteht die Möglichkeit, den Energiegehalt des temperierten Wassers in das Klimakonzept des Gebäudes zu integrieren (z. B. Wärmetauscher). Die mit dem Kühleffekt der Pflanzen (Evapotranspiration und Verschattung) und der Verdunstungskühle der Wasserfläche erreichte Temperaturdifferenz variiert ja nach Dimensionierung. Dieser Effekt kann neben dem Kleinklima auch einer Kühlungsanlage zugute kommen, indem die Rückkühlung des Mediums über-



73

nommen wird (Wärmetauscher) oder ein Kreislauf zur Direktkühlung eingerichtet wird. Die Wassernachspeisung erfolgt soweit möglich mit Regenwasser. Als Pflanzen werden Repositionspflanzen eingesetzt: in der Regel Stauden (Wasser-/Sumpfpflanzen), deren Nährstoff-Versorgung allein über Luft und Regenwasser gewährleistet wird, um auf eine Substratschicht verzichten zu können. Üblicherweise werden Repositionspflanzen für die Rekultivierung und Renaturierung in biologischen Pflanzenkläranlagen verwendet.

Die Lieferung der Vegetationsmatten erfolgt vorzugsweise vorkultiviert, was einen sofortigen hohen Bedeckungsgrad und einen Zeitgewinn bei der Montage ermöglicht [11].

Die Artenvielfalt der Fauna wird durch Wasserflächen und Repositionspflanzen erhöht. Feuchtdächer bieten einen andersartigen Lebensraum, sogar Libellen und Enten sind zu beobachten.

Geeignete Dachkonstruktionen

Die Dachoberfläche als Aufbaugrund muss dauerhaft und zuverlässig dicht sein. Sie muss mit Gefälle zu (verschleißbaren) Abläufen und mit (auf maximale Regenereignisse berechneten) Überläufen versehen sein, sobald die maximale Anstauhöhe erreicht wird.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Herstellungskosten liegen im mittleren bis hohen Bereich (Nutzung als Dachgarten). Sie setzen sich aus den Kosten der Dachdecker-Vorleistungen für eine dichte Wannenausbildung (z. B. druckfeste Dämmung, Anstau-Dachabläufe, keine Bauteilanschlüsse innerhalb der Anstauhöhe), aus den Herstellungskosten des Retentionsdach-Aufbaus und den Kosten für die automatisch gesteuerte Wasserversorgung (möglichst aus einer Regenwasser-Station mit Zisterne) zusammen.

Die Wartungs-, Pflege- und Instandhaltungskosten liegen bei Dach-/Wassergärten im höheren Bereich, bei ständiger Wasser-Umwälzung im mittleren Bereich. Insgesamt ergibt sich eine hohe zusätzliche Gestaltungs- und Nutzungsqualität.

Anwendungs-Motive

- gebäudenaher Umgebungskühlung (Kleinklima)
- Direktkühlung von Prozessen möglich
- Abführung überschüssiger Energie (Wärmetauscher)
- hohe Wasser-Rückhaltung, Verzögerung der Einleitung
- Klärungseinsatz (Chemie, Grauwasser)
- erweiterte Fauna im Wasserbiotop



74



75



76

2.7.9 Entscheidungsparameter Dachbegrünung

Die nachstehende tabellarische Übersicht fasst die konstruktiven und vegetationstechnischen Kriterien der aktuellen Bauweisen zur Begrünung von Flach- und Steildächern zusammen.

Zudem werden gestalterische und wirtschaftliche Kriterien sowie die ökologischen Potenziale der Systeme vergleichend aufgezeigt.

Konstruktive und vegetationstechnische Entscheidungsparameter zur Dachbegrünung

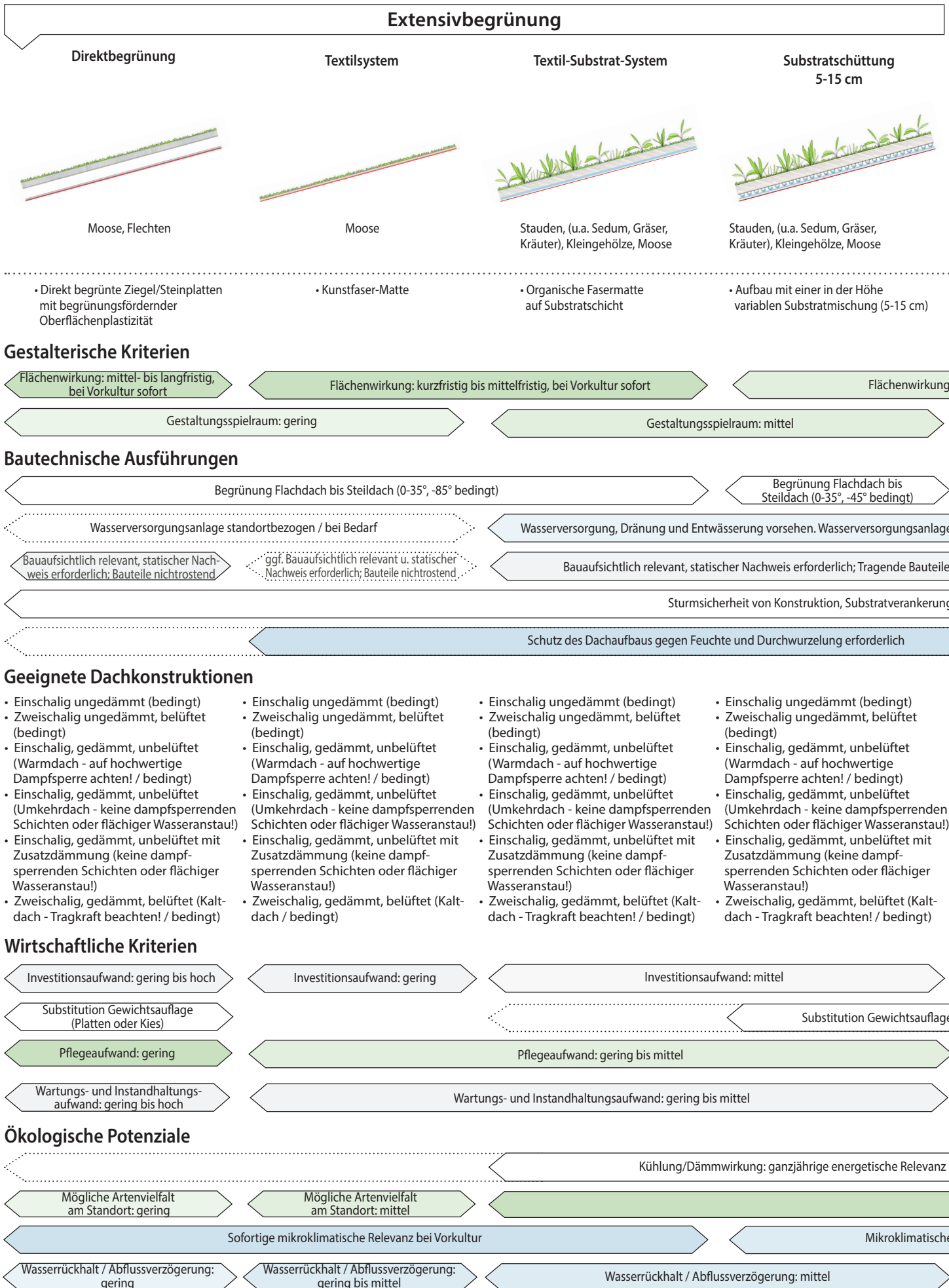


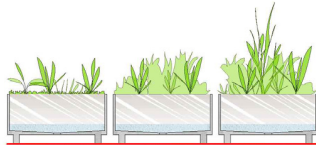
Abb. 77: © Nicole Pfosser 12/2012 - Grundlage Diagramme und Inhalte: siehe Abbildungsverzeichnis

Intensivbegrünung

Substratschüttung > 15 cm



Pflanzgefäße

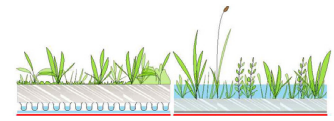


Sonderform

Modulare Systeme



Retentionsdach



Rasen, Stauden, (u.a. Sedum, Gräser, Kräuter, Zwiebel- und Knollengewächse), Gehölze (bedingt Bäume - Substrataufbau > 80cm)

Stauden (u.a. auch Gräser, Farne, bedingt Zwiebel- und Knollengewächse), Gehölze (bedingt Bäume), Moose

Stauden (u.a. Sedum, auch Gräser und Farne), Kleingehölze, Moose

Stauden, (u.a. Sedum, Gräser, Kräuter), Kleingehölze, bedingt Moose

• Aufbau mit einer in der Höhe variablen Substratmischung > 15 cm

• Substrat in Gefäßen (Einzel- oder Linearbehälter)

• Substrat in Element-Einheiten aus Körben/Kassetten
• Matten-Systeme
• Substrat tragende Rinnensysteme

• Regulierte Wasserführung auf Substrat
• Regulierte Wasserführung in Substrat
• Regulierte Wasserführung unter Substrat

mittelfristig

Flächenwirkung: kurzfristig, bei Vorkultur sofort

Gestaltungsspielraum: groß

Gestaltungsspielraum: mittel bis groß

Begrünung Flachdach bis flachgeneigtes Dach (0-5°)

Flachdachbegrünung (0-5°)

Flachdach- bis Steildachbegrünung (0-20°, -85° bedingt)

Begrünung Flachdach bis flachgeneigtes Dach (0-5°, -15° bedingt)

standortbezogen / bei Bedarf

Dränung, Wasserversorgungsanlage standortbezogen / bei Bedarf

Dränung, Wasserversorgungsanlage standortbezogen / bei Bedarf

Wasserpumpenkreislauf/ Dränung ggf. erforderlich

Korrosionsschutz oder rostfreies Material

ggf. statischer Nachweis erforderlich; Verankerungen nichtrostend

Bauaufsichtlich relevant, statischer Nachweis erforderlich; Bauteile: rostfreies Material

und Bepflanzung (Winddruck/Windsog)

Schutz des Dachaufbaus gegen Feuchte und Durchwurzelung erforderlich

- Einschalig ungedämmt (bedingt)
- Zweischalig ungedämmt, belüftet (bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Warmdach - auf hochwertige Dampfsperre achten! / bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach - keine dampfsperrenden Schichten oder flächiger Wasseranstaui)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung (keine dampfsperrenden Schichten oder flächiger Wasseranstaui)
- Zweischalig, gedämmt, belüftet (Kalt-dach - Tragkraft beachten! / bedingt)

- Einschalig ungedämmt (bedingt)
- Zweischalig ungedämmt, belüftet (bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Warmdach - auf hochwertige Dampfsperre achten! / bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach - auf Hinterlüftung der Pflanzgefäße achten!)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung (auf Hinterlüftung der Pflanzgefäße achten!)
- Zweischalig, gedämmt, belüftet (Kalt-dach - Tragkraft beachten! / bedingt)

- Einschalig ungedämmt (bedingt)
- Zweischalig ungedämmt, belüftet (bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Warmdach - auf hochwertige Dampfsperre achten! / bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach - keine dampfsperrenden Schichten oder flächiger Wasseranstaui)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung (keine dampfsperrenden Schichten oder flächiger Wasseranstaui)
- Zweischalig, gedämmt, belüftet (Kalt-dach - Tragkraft beachten! / bedingt)

- Einschalig ungedämmt (bedingt)
- Zweischalig ungedämmt, belüftet (bedingt)
- Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Warmdach - auf hochwertige Dampfsperre achten! / bedingt)
- Zweischalig, gedämmt, belüftet (Kalt-dach - Tragkraft beachten! / bedingt)

Investitionsaufwand: mittel bis hoch

(Platten oder Kies); Bautenschutz

Substitution Gewichtsaufgabe (Platten oder Kies); Bautenschutz

Kühlung, Grauwasserklärung; Bautenschutz

Pflegeaufwand: mittel bis hoch

Pflegeaufwand: gering bis hoch

Pflegeaufwand: mittel bis hoch

Wartungs- und Instandhaltungsaufwand: hoch

Wartungs- und Instandhaltungsaufwand: mittel bis hoch

Kühlung/Dämmwirkung: ganzjährige energetische Relevanz

Kühlenergie: ganzjährige energetische Relevanz

Mögliche Artenvielfalt am Standort: groß

Relevanz: mittelfristig

Sofortige mikroklimatische Relevanz bei Vorkultur

Wasserrückhalt / Abflussverzögerung: mittel bis hoch

Wasserrückhalt / Abflussverzögerung: gering bis mittel

Wasserrückhalt / Abflussverzögerung: mittel

Wasserrückhalt / Abflussverzögerung: hoch

2.8 Pflanzen- und baubedingte Schäden

Fassadenbegrünungen

Das Pflanzenwachstum, die Pflanzenchemie und ihre möglichen Auswirkungen sind umfassend erforscht und beschrieben. Schäden durch Pflanzen können in der Regel durch fehlerfreie Planung und regelmäßige, richtige Wartung vermieden werden. Wetterbedingten Schäden an Pflanzen und Gebäudeteilen kann nur begrenzt vorgebeugt werden.

a. Schadensursache: ungeeignete Pflanzenauswahl/Begrünungstechnik

Selbstklimmer beschädigen mit ihren Haftorganen die Wandoberfläche, indem sie Anstriche punktweise chemisch anlösen, um ihre Haftscheiben direkt an der mineralischen Putzoberfläche zu verankern. Diese Haftorgane bleiben auch bei Beseitigung der Begrünung an der Wand zurück und sind sehr zeitaufwändig zu entfernen. Durch die Pflanzenchemie (Säfte, verrottende Blätter, Fruchtsäure) können irreversible Verfärbungen an Bauteilen eintreten. Zerstörungen an der Bausubstanz: das Überwachsen, Lösen und Verformen von empfindlichen Bauteilen (Rinnen, Rollladenschienen, Metallbleche, Antennen etc.) sind Folgen einer unterschätzten Kraftentwicklung der wachsenden Pflanzen (siehe z. B. *Wisteria sinensis*, „Glycine“). Pflanzenschäden können durch eine sommerliche Überhitzung der Sekundärkonstruktion (z. B. dunkel gefärbte Stahlkonstruktion) ausgelöst werden. Pflanzen mit negativ phototropen (lichtfliehenden) Eigenschaften schädigen durch ihr Einwachsen in Fugen/Risse (Dickenwachstum) die Bausubstanz. Folgeschäden entstehen durch eindringende Feuchtigkeit und Frost. Materialverrottung, Pilz- und Schimmelfeuchtheit können sich bei mangelnder Wartung durch ständige Überfeuchtung

von Pflanzen bzw. bei wandgebundenen Systemen im rückwärtigen Bereich ihrer Versorgungstechnik (anhaltende Kondensatbildung, Undichten, mangelnde Hinterlüftung) ergeben. Hier kann es auch zu einem völligen Pflanzenausfall infolge von Funktionsstörungen des Versorgungssystems kommen. Mechanische Schäden durch das Versagen von Wuchshilfen infolge einer unterschätzten Gesamtlast (Eigengewicht + Schnee-/Eislast + Windlast) der Begrünung können auch Fremdschäden (Sachschäden, Unfälle) bewirken, Hilfskonstruktionen sollten daher auf die Lebensdauer des Pflanzenbewuchses ausgerichtet sein. Auch die mit dem Pflanzengewicht zunehmende Brandlast einer Begrünung (hoher Totholzanteil, Trockenfall) muss ebenfalls bezüglich Eigen- und Fremdschäden beachtet werden, Fahrlässigkeit kann zum Ausschluss von Versicherungsleistungen führen.

b. Schadensursache: bautechnische Planungsfehler

Gebäude-Vorschäden in Form von Rissen bzw. Bauweisen mit offenen Fugen verlangen die sorgfältige Vorklärung geeigneter Begrünungstechniken. Für Sekundärkonstruktionen bereitgestellte, tragende Montagepunkte sind heute in der Regel als rostfreie Stahlkonsolen durch eine Wärmedämmung nach außen geführt: ohne Wärmebrücken-Minimierung erzeugen sie Kondensatfeuchte innerhalb der Dämmung, ein Schadensvorgang, der sich selbsttätig ausweitet. Gebäude-Formationen können den Pflanzenstandort durch ständigen Luftzug (Windschleusen) oder durch Lüftungsauslässe (z. B. Tiefgarage) schädigen. Das gleiche gilt für nachträgliche Veränderungen der Standortbedingungen der Pflanzen durch spätere

Nachbarbauten (Verschattung, Sonnenlicht-Spiegelung, Regenschatten). Bodengebundene Pflanzen an öffentlichen Freiflächen (z. B. Parkplatz) nehmen Schaden durch eingeschwemmte Bodenverunreinigungen (Öl, Benzin, Putzmittel, Urin). Ein Totalverlust der Begrünung kann die Folge unterlassener rechtlicher Nachbarschafts-Klärungen sein, wie z. B. störender Überhang bei grenzständigen Wänden (Anbau auf dem Nachbargrundstück), Beseitigungsverlangen wegen Unverträglichkeit mit der Nutzung (z. B. Kindergarten: Giftpflanzen nicht erlaubt).

Dachbegrünungen

Begrünte Dächer schützen zunächst die Dachabdichtung, dennoch kann es zu Schäden kommen. Die Schadenshäufigkeit an begrünten Dächern wird von Dachundichtigkeiten angeführt: hier treffen empfindliche Baumaterialien, ihre Fügungstechnik sowie die Wurzelchemie bzw. -mechanik aufeinander. Da die Schäden an der begrünten Dachoberfläche nicht zu erkennen sind und auch an der Dachuntersicht oft erst mit jahrelanger Verzögerung (Deckenverkleidungen) an den Folgeschäden erkannt werden, ist das Schadenspotenzial besonders groß.

a. Schadensursache: ungeeignete Pflanzenauswahl/Begrünungstechnik

Bauseitige Schwachstellen (geringe Haftbreite der Folienverschweißung, schwierige Materialwechsel) werden durch die Begrünung und ihre Wartung höher belastet und können undicht werden. Regenwasser kann dann zeitweise (bei Retentionsdach ständig) in die Dämmung eintreten und den Dachaufbau schädigen. Container der Intensivbegrünung verur-

sachen bei unfachlichem Aufbau punktuelle Einbrüche in der Dachabdichtung, z. B. durch Kiesel oder Kunststoffkeile zur Waagrechtstellung. Auch Beschädigungen direkt durch die Wartung und durch vergessene, kaum noch sichtbare Werkzeuge kommen vor.

Mangelhafte Wartung/Pflege der Begrünung kann jederzeit zu Schäden führen, z. B. durch Unterwachsen von Attika-Blechen oder Verschluss von Dacheinläufen. Aber auch ein undichter Verschluss von Abläufen kann z. B. beim Retentionsdach Schäden durch den Trockenfall der Fläche bewirken. Mangelnder Wartung geschuldet ist ein ungeplanter Anwuchs von Fremdpflanzen mit aggressiver Wurzelchemie bzw. -Mechanik (z. B. Birkentriebe).

b. Schadensursache: bautechnische Planungsfehler

Retentionsdächer verlieren ihr Wasser wegen bauseitiger Undichten (z. B. durch fehlerhafte Bahnenfügung der Dachabdichtung oder durch Eisdruck bei unvollständiger Winter-Entleerung). Nachträgliche Umbauten bzw. Dachaufbauten geschehen häufig ohne die Fachkenntnis des Dachaufbaus, wobei schädliche Punktlasten erzeugt oder notwendige Fließrichtungen unterbrochen werden.

Eine nicht sichtbare Schadensursache ist die Einwanderung von Wachstumshemmern in das Substrat oder in die Wasserlage wegen Verwendung einer nicht geeigneten Abdichtungsbahn mit Weichmacher-Anteilen.

Eine zusammenfassende Übersichtstabelle pflanzen- und baubedingter Schäden befindet sich auf der folgenden Seite.

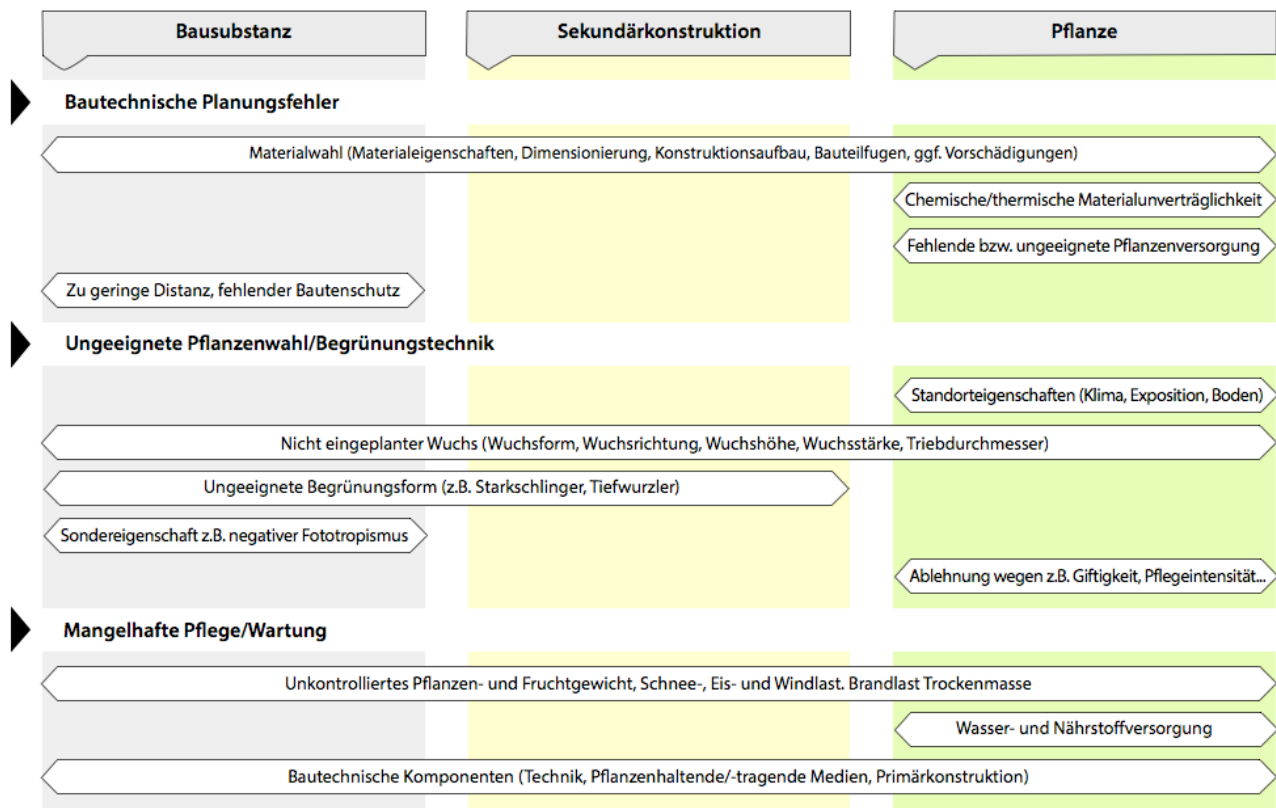


Abb. 78: Diagramm Pflanzen- und baubedingte Schäden (© Nicole Pfoser 12/2012)



Abb.: links:
Wandgebundene Fassadenbegrünung (SNCF Verwaltung, Paris):
Teilausfall von Pflanzen, sichtbarer
Pflege- und Wartungsrückstand
(Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb.: unten:
Bodengebundene Fassadenbegrünung (Schlosshof Erbach i.
Odenwald, 2013):
Abriss des gepflegten Efeu-
Bewuchses durch Belastung nach
Starkregen. Eine Gewichtsentlas-
tung der Direktbegrünung durch
Verankerung ins Mauerwerk hätte
den Schaden vermeiden können.
(Foto: Jörg Dettmar 2013)



2.9 Planungsschritte für eine pflanzengerechte und schadensfreie Gebäudebegrünung

Gebäudebegrünungen sind gestalterisch, technisch und botanisch anspruchsvolle Bestandteile von Bauvorhaben. Sie erfordern in zielführender Abfolge eine Kosten/Nutzen-Klärung der Erwartungen (Gestaltung, Ökologie, Energie), der Bautechnik (Gebäudesubstanz/Begrünungssystem, Statik), der rechtlichen Einbindung (Baurecht, Brandlast, Nachbarrecht/Zugänglichkeit) und der Versorgung der künftigen Begrünung mit Nährstoffen und Wasser (Jahresturnus, Lebenszyklus).

Misserfolge sind bei sorgloser Planung vorprogrammiert. Interdisziplinäres Fachwissen und eine sorgfältige Berücksichtigung aller Kriterien auf dem Weg zur Realisierung und während der Lebensdauer der Begrünung sind die Voraussetzung für ein erfolgreiches Ergebnis [68; 182]. Die nachstehend zusammengefassten Arbeitsstufen zur Schadensvermeidung mögen einen Beitrag hierzu leisten.

Stufe 1 – Grundlagen-Analyse

Zur Schadensvermeidung bei Bestands-Begrünungen, bei Bestands-Sanierungen mit Begrünung und bei zur Begrünung vorgesehenen Neubauten steht eine umfassende Grundlagen-Analyse im Vordergrund, welche zunächst die planungsrelevanten Klärungen zum Standort (Exposition, Klimadaten, Bodeneigenschaften, planungsrechtliche und nachbarrechtliche Umfeldbedingungen) sowie die Klärung des verfügbaren Budgets ermitteln soll. Bei der Bestandssanierung und beim Neubau sind die Chancen zu prüfen, inwieweit die Begrünung zugleich synergetisch in das ökologische/energetische Konzept des Bauvorhabens integriert werden kann. Mögliche Ziele sind die saisonale Regulierung der Verschattung von Raumver-

glasungen wie z. B. Wintergärten, von Funktions-Verglasungen (Luftkollektoren, Transluzente Wärmedämmung etc.) oder von Loggien bzw. Dachgärten. [vgl. 68; 182]

Stufe 2 – Klärung des funktionalen und gestalterischen Anspruchs (Zieldefinition)

In der zweiten Stufe ist der funktionale und gestalterische Anspruch des Bauvorhabens bzw. Sanierungsvorhabens zu klären, um die Planungsziele definieren zu können. [68; 182]

Die Gruppe passender Begrünungsformen kann nur in einer bautechnischen und bauphysikalischen Zusammensicht mit der Außenhauteignung des Gebäudes festgelegt werden. Der bestehende bzw. angestrebte Fassaden- oder Dachtyp wird mit den konstruktiven und botanischen Voraussetzungen der unterschiedlichen Begrünungsformen in Beziehung gesetzt, woraus sich eine eingrenzende Vorauswahl zur bautechnischen Gesamteignung ergibt. Zu beachten sind auch die sehr unterschiedlichen Pflege- und Instandhaltungskosten sowie eine ausreichende Aufstellmöglichkeit für Wartungsgeräte (ggf. auf Fremdgelände). [vgl. 68; 182]

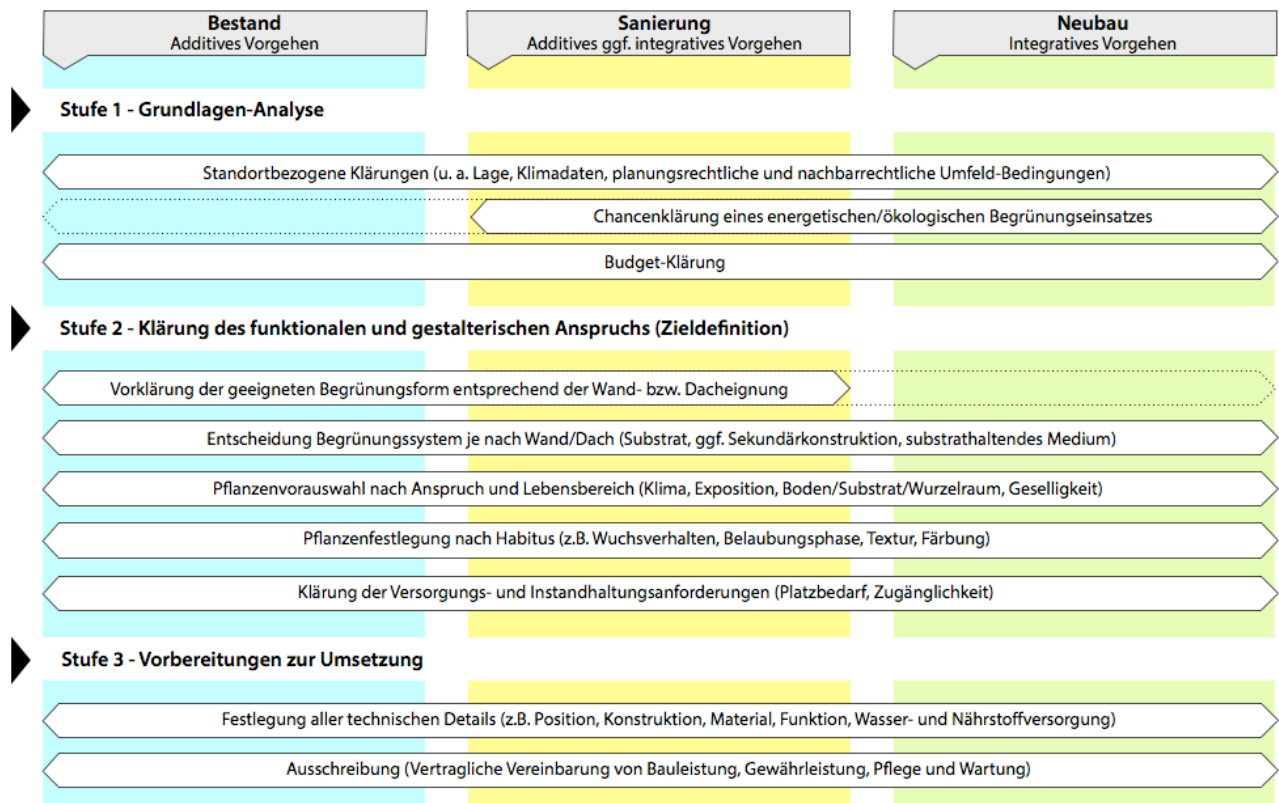
Dabei geht es zudem um die aus der Begrünungsentscheidung folgenden konstruktiven Bauteile: bei Begrünungen steht die Art und Form des substralthaltenden Mediums im Vordergrund, dies ist für das Gebäude gestaltungsrelevant, bestimmt über Form und Bereich der Begrünungsausbreitung, korreliert in ihrem Aufbau stark mit der Pflanzenauswahl, da sie deren Wuchsbedingungen Rechnung tragen muss (dauerhafte Stabilität, Rasterabstände, Materialwahl, Vermeidung zu hoher Temperaturen durch eine helle Farbgebung). [182]

Dies ermöglicht eine Pflanzen-Vorauswahl nach Anspruch und Lebensbereich anhand der bereits geklärten Kriterien Klima, Exposition, Boden/Substrat/ Wurzelraum und der botanisch geeigneten Pflanzengesellschaft. Die endgültige Pflanzenentscheidung erfolgt anhand des Habitus wie Wuchsverhalten (Wuchsform, Wuchsrichtung, Wuchshöhe entsprechend Gebäudehöhe, -Breite, Wuchsstärke, Triebdurchmesser), Belaubungsphase (je nach energetischer Zielsetzung) und Gestaltsanspruch (sommergrün, wintergrün, fakultativ wintergrün, Textur und Färbung). [66; 182]

Stufe 3 – Vorbereitung zur Umsetzung

Die dritte Stufe klärt das Erfordernis einer bauamtlichen Genehmigung (z. B. wegen Auflasten, Abstandsflächen, zusätzlicher Brandlast, Eingriffs- und Ausgleichsregelung) und leistet interdisziplinäre Arbeitsschritte für eine vollständige technische Planung und für die Ausschreibung der Leistungen, welche neben dem vollständigen Leistungsbild auch die Terminierung, den Umfang und die Daten der Gewährleistung sowie der Pflege- und Wartungsleistungen festlegen soll. [66; 182]

Abb. 79: Diagramm Planungsschritte für eine pflanzengerechte und schadensfreie Gebäudebegrünung (© Nicole Pfoser 12/2012)



03

Energieeffizienz und Energiegewinnung am Gebäude

3. Energieeffizienz und Energiegewinnung am Gebäude

„Der Energiebedarf von Gebäuden resultiert hauptsächlich aus Randbedingungen und nutzerbedingten Anforderungen, die zunächst unabhängig von architektonischen Parametern mittelbar oder unmittelbar energierelevante Dienstleistungen auslösen.“ Die Anforderungen erwachsen aus den menschlichen Bedürfnissen nach angenehmen Temperaturen, dem Wunsch nach konstanter Luftqualität, guten Tageslichtbedingungen, nach Hygiene und der Notwendigkeit von Elektrizität. „Um Wohlbefinden herzustellen und die Bedürfnisse von Nutzern und Nutzung umfassend behandeln zu können, sind die fünf verschiedenen Energiethemen Wärme, Kälte, Luft, Licht und Strom zu unterscheiden.“ [zitiert nach 23]

Politische Ziele

Aufgrund des Klimawandels, der wachsenden Weltbevölkerung und Ressourcenverknappung werden die energiepolitischen Ziele hoch gesteckt. So spielen bei vielen Ländern mittlerweile in den aktuellen energiepolitischen Positionspapieren Begriffe rund um das Nullenergiegebäude eine Rolle [85].

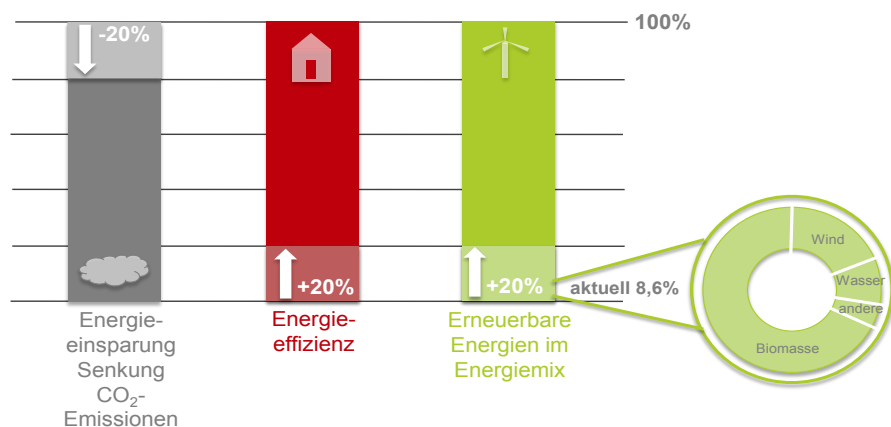
Die Europäische Union fordert in der 2010 novellierten EU-Gebäuderichtlinie „Energy Performance in Buildings Directive“ (EPBD) alle Mitgliedsstaaten auf, bis spätestens Ende 2020 für alle Neubauten den Energiestandard des „Nearly Zero Energy Building“ (Nahezu-Nullenergie-Gebäude, in der deutschen Übersetzung „Niedrigstenergiegebäude“) verbindlich einzuführen. In Deutschland wird mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) der Mindeststandard für Gebäude definiert, der durch Verschärfungen fortgeschrieben wird, um das europaweit festgelegte Ziel zu erreichen.

Prinzipien des Energieeffizienten Bauens

Ein zentrales Element, die klimapolitischen Ziele zu erreichen, ist das energieeffiziente Bauen. Im Mittelpunkt steht das Bemühen, die Effizienz von Gebäuden zu erhöhen und damit den Energiebedarf zu reduzieren und eine komfortable Nutzung sowie Behaglichkeit im Gebäude zu gewährleisten. Daneben soll der verbleibende Energiebedarf möglichst vollständig regenerativ gedeckt werden. Dabei basieren sowohl beim Sanieren als auch beim Neubau

Abb. 80: Die neue EU Gebäuderichtlinie setzt sich die 20-20-20-Regelung zum Ziel. Das bedeutet, dass in der EU bis 2020 zum einen die Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber 1990 verringert werden sollen. Zum anderen soll die zukünftige Energieeffizienz um 20 % gesteigert werden und die Energie zur Deckung des Gebäudebedarfs zu mindestens 20 % aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Das „Niedrigstenergiegebäude“ zählt zu einer Maßnahme, um diese Ziele zu erreichen. (TU Darmstadt, FGee)

Die 20-20-20 Ziele der EU bis 2020



die wesentlichen Maßnahmen auf zwei aufeinanderfolgenden Schritten:

1. Energieverluste minimieren
 - Passive Strategien stärken
2. Erneuerbare Energie erschließen
 - Aktive Systeme optimieren
 - regenerative Energiequellen erschließen

(siehe Abb. 81)

Zu den passiven Maßnahmen zählen u.a. die Optimierung der Gebäudeform, das Dämmen zur Reduktion von Wärmeverlusten oder das Schützen vor übermäßigen solaren Wärmelasten durch Verschattung.

Zu den aktiven Maßnahmen gehören regenerative Energiegewinnsysteme wie die Photovoltaik oder die Solarthermie, die natürlich zur Verfügung stehende solare Strahlung nutzen, um Wärme oder Strom zu gewinnen.

Dazwischen gibt es teilaktive Systeme, wie Luftkollektoren oder die Transparente Wärmedämmung (TWD). Sie nutzen die solare Strahlung, um nötige Energieaufwendungen zu reduzieren.

Effizienzfördernde und energiegewinnende Gebäudehüllsysteme

Im Folgenden sollen einzelne passive, teilaktive sowie aktive Maßnahmen des energieeffizienten Bauens näher betrachtet werden. Ziel ist es, die Systeme vorzustellen, um später in einer Überlagerung die Synergien und Konkurrenzen in einer Kombination mit Gebäudebegrünung zu beurteilen bzw. besser einzuschätzen. Die Betrachtung der Maßnahmen am Gebäude wurde hierfür auf jene Systeme beschränkt, die die Gebäudehülle betreffen und damit auch Gebäudebegrünung direkt tangieren. Die Darstellung besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie soll vielmehr ein allgemeines Verständnis für das System entwickeln, um in der möglichen Kombination mit Begrünungssystemen die richtigen Planungsentscheidungen zu treffen. Für jede Maßnahme werden daher, neben der Systemvorstellung selbst, insbesondere leistungsbestimmende und allgemeine Planungskriterien, sowie konstruktive Kriterien betrachtet. Daneben werden ökologische und wirtschaftliche Kriterien mit aufgezeigt.





Energiethemata		Passiv	Aktiv Gebäudetechnik
		Energiebedarf minimieren	Energieversorgung optimieren
	Wärme	Wärme erhalten	Wärme effizient gewinnen
	Kälte	Überhitzung vermeiden	Wärme effizient abführen
	Luft	natürlich lüften	effizient maschinell lüften
	Licht	Tageslicht nutzen	Kunstlicht optimieren
	Strom	Strom effizient nutzen	Strom dezentral gewinnen

Abb. 81: Die fünf Energiethemata (Energieberater TU Darmstadt)

3.1 Passive Systeme und Maßnahmen

Im energieeffizienten Bauen sind als erster Schritt über eine ausgewogene Einbindung passiver Maßnahmen Energieverluste bzw. hohe Verbräuche hinsichtlich Wärme, Kälte, Lüftung, Licht und Strom zu reduzieren. Denn die Frage, in welchem Umfang Energiedienstleistungen durch technische Systeme bereitgestellt werden müssen, hängt (zum einen) von der Nutzungsart und dem Anforderungsniveau ab, ganz entscheidend aber auch von der Gebäudeform, der Gebäudehülle sowie der Materialwahl. [26]

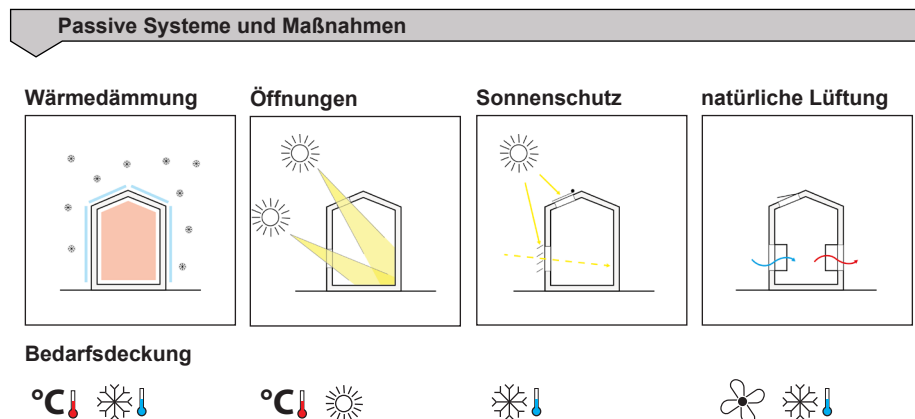
Hierzu zählen unter anderem:

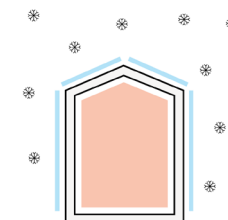
- Optimierung der Dämmstandards
- Öffnung des Gebäudes zur Sonne, um solare Wärmequellen zu nutzen
- Schutz vor Überhitzung durch selektive Verschattung/ Sonnenschutzmaßnahmen
- Freie, nächtliche Kühlung (Nachtlüftung)

In alle grundsätzlichen Überlegungen der Minimierung der Energiebedarfe ist die Sonne als natürlich vorhandene Energiequellen einzubeziehen. Durch

intelligent ausgerichtete Öffnungen kann die Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten das Heizsystem unterstützen. Solche Maßnahmen sind umso effektiver, wenn die Gebäudehülle eine hohe Qualität besitzt und einmal eingefangene Wärme nicht sofort wieder verliert. Durch einen wirksamen Sonnenschutz kann die Überhitzung im Sommer vermieden werden. Nachtspülungen über die natürliche Lüftung helfen zusätzlich, Wärmelasten im Innenraum zu reduzieren und tragen so zu einer passiven Kühlung bei. [26]

Die genannten passiven Maßnahmen stellen nur einen Teil derer, die im Bauen anzuwenden sind, dar. Sie betreffen jedoch alle gleichermaßen die Gebäudehülle. Im Folgenden werden diese im Detail vorgestellt.





3.1.1 Wärmedämmung

Die Dämmung eines Gebäudes trägt im Wesentlichen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung und zum winterlichen Wärmeschutz bei. Die Gebäudehülle sollte dabei möglichst umlaufend die gleiche Dämmqualität aufweisen. Das Einsparpotenzial unterscheidet sich je nach Maßnahme. Da 15-20 % der Wärme über das Dach und 20-25 % über die Fassade verloren gehen, ist eine Dämmung dieser Bauteile besonders sinnvoll.

Systemarten

Dämmmaterialien bestehen aus organischen oder anorganischen Verbundstoffen. Gedämmt wird entweder außenliegend, bspw. durch ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS), oder hinter einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade (VHF), im Kern des Wandaufbaus oder innenliegend. Die Innendämmung spielt bei erhaltenswerten Fassaden eine wesentliche Rolle. Zudem kann ein Dämmstandard auch monolithisch über sog. Dämmziegel oder Porenbetonsteine mit geringer Wärmeleitfähigkeit erzielt werden.

Leistungsbestimmende Kriterien

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) gibt die Grenzwerte für den einzuhaltenen Dämmstandard für Neubau- oder Sanierungsmaßnahmen vor. Für jedes Bauteil gelten andere Anforderungen. Die Dämmqualität drückt sich in der Wärmeleitfähigkeit λ eines Materials bzw. dem U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient, in W/m^2K) eines kompletten Bauteils aus. Nach EnEV 2009, Anlage 3, liegt z. B. der zu erreichende Wert für Einzelmaßnahmen in der Fassade bei $0,24 W/m^2K$, für ein Flachdach bei $0,20 W/m^2K$. Für effizientere Gebäudestandards (u.a. Passivhaus, KfW-Effizienzhäuser) sind i.d.R. höhere Dämm-

standards erforderlich. Dies bedingt z.T. höhere Dämmstärken. Verluste über wärmeleitende, die Dämmung durchdringende Bauteile, sind zu vermeiden. Neben Wärmeverlusten, können diese zu Tauwasserausfall und so zu Bauschäden führen.

Allgemeine Planungskriterien

Die Dämmqualität gem. EnEV gilt unabhängig von der Orientierung und für alle Bauteile.

Konstruktive Kriterien

Die Anforderungen an die Dämmebene gelten gleichermaßen für den Fassaden-, wie Dachaufbau. Hier sind verschiedene Dämmstoffe und Systemarten für massive oder mehrschalige Wandaufbauten sowie für leichte Ständerbauweise, Schräg- und Flachdächer verfügbar.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Investitionskosten variieren je nach Material und Systemanwendung. Dämmplattenpreise liegen zwischen $5-120 \text{ €/m}^2$, Dämmmatten und Einblasdämmungen bei ca. 20 €/m^2 [208].

Ökologische Kriterien

Auch die Dauerhaftigkeit variiert, liegt insgesamt aber im mittleren bis hohen Bereich, ab 30 Jahren aufwärts. Eine gute Dämmung verringert den Heizwärmeverlust wesentlich. Der primärenergetische Aufwand ist bei organischen Stoffen (Holzwohle, Zellulose) gering, bei anorganischen Stoffen (PUR, Schaumglas) sehr hoch. Dennoch amortisiert sie sich in wenigen Wochen oder Monaten. Die Wartung und der Rückbau sind bei verklebten Systemen (WDVS) wesentlich aufwändiger als bei verschraubten Systemen (VHF).

[23; 211]

Bedarfsdeckung



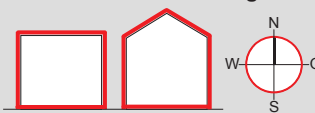
Systemarten

- an-/organische Verbundstoffe
- Außendämmung (als WDVS, in VHF)
- Kerndämmung
- Innendämmung

Leistungsbestimmende Kriterien

- Wärmeleitfähigkeit des Materials
- U-Wert des Bauteils
- Wärmespeicherkapazität
- Vermeidung von Wärmebrücken

Fläche und Orientierung

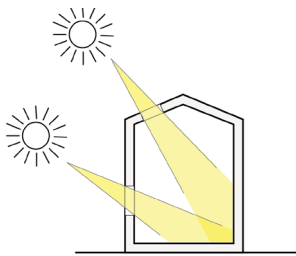


- alle Bauteile betreffend
- alle Orientierungen betreffend

Konstruktion

- massive Wandaufbauten
- Ständer- und Fachwerkbauweise
- mehrschalige Wandaufbauten
- Flachdach
- Schrägdach

Abb. 82: oben Mitte: Apartmenthaus in Innsbruck/A, Das Apartmenthaus wurde in Massivbauweise (Stahlbeton) gebaut. Die Lochfassade vermittelt ein klassisches, dennoch positives Beispiel der WDVS-Anwendung (16cm Polystyrol-Hartschaumplatte, mineralischer Oberputz). (Manzlritsch-Sandner Architekten, Foto: Buccadiez & Rumpäg, Innsbruck)



3.1.2 Öffnungen - solare Wärmegewinne

Bedarfsdeckung



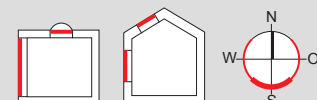
Systemarten

- Überkopf- u. Fassadenverglasungen
- Fensteröffnungen
- Glaselemente
- Atrien
- Oberlichter

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort (Solarstrahlung)
- Orientierung
- Größe der Fenster
- Rahmenanteil, Leibungstiefen
- Verschattung
- U-Werte, g-Werte
- höhere Erträge im Oberlichtbereich
- Nutzerverhalten

Fläche und Orientierung



— Energiesystem

- alle transparenten Bauteile betreffend
- empfohlene FFA (Wohngebäude)
Süd: 50%, Nord: 10%
Ost/West: 20%, Gesamt: 30%
- bis vollflächige FFA (Nichtwohngebäude)
- „sammeln“ solarer Wärmegewinne haupts. im Süden

Konstruktion

- Öffnungen in Dach und Fassade

Die Form eines Baukörpers und dessen Orientierung zur Sonne haben einen substantiellen Effekt auf die passive (wie aktive) Nutzung der winterlichen Wärmegewinne und den sommerlichen Überhitzungsschutz. Solare Wärmegewinne werden über (meist südorientierte) Fassadenöffnungen direkt in den Raum geholt, um die solare Einstrahlung in der Heizperiode optimal ausnutzen zu können. Mögliche Überhitzungen sind durch Verschattungssysteme zu regulieren.

Systemarten

Öffnungen finden sich als Überkopf- und Fassadenverglasungen, können flächig oder partiell eingesetzt werden. Fenster, Atrien, Wintergärten, Oberlichter und andere öffnende Elemente sind passive Sonnenkollektoren.

Leistungsbestimmende Kriterien

Zur optimalen Balance von winterlicher passiver Wärmegewinnung, sommerlicher Überhitzungsreduzierung und einer jeweils optimalen Tageslichtausnutzung spielen Standort, Orientierung und der Fensterflächenanteil (FFA) wichtige Rollen. Nach Süden werden ca. 50 % FFA, nach Norden 10 % und nach Osten/Westen 20 % empfohlen. Der Richtwert des Gesamt-FFA beträgt 30 %. Weiterhin zu berücksichtigen sind Rahmenanteil und Leibungstiefen von Glaselementen, dessen Wärmedämmwerte (U-Wert) und Gesamtenergiedurchlassgrade (g-Wert). Die effektivste Tageslichtnutzung ist über zenitales Oberlicht möglich.

Allgemeine Planungskriterien

Die Orientierung sollte maßgeblich den jeweiligen FFA unabhängig von der Nutzungstypologie des Gebäudes bestimmen.

Im Massivbau werden überwiegend partielle, im Leichtbau auch vollflächige Glaselemente eingesetzt. Wichtige Systemergänzung ist eine effektive Verschattung, die im Sommer erwünscht, im Winter zur Maximierung der solaren Wärmegewinne vermieden werden soll.

Konstruktive Kriterien

Öffnungen können in massive, mehrschalige oder Leichtbau-Wandaufbauten integriert werden. Wesentlich ist die Vermeidung von Fugenbildung und eine Lage der Öffnung möglichst in der Dämmebene. Oberlichter sind Optionen für Flachdächer, Dachflächenfenster für Schrägdächer, Atrien lassen sich in beiden Dachformen realisieren.

Wirtschaftliche Kriterien

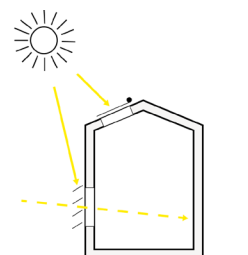
Auch Öffnungen sind Sowie-so-Bauteile, deren Investitionskosten vorrangig abhängig von der Bauteilqualität sind. Hier sollten die empfohlenen Richtwerte der FFA berücksichtigt werden – „je mehr Fenster desto höher der Effekt“ ist der falsche Ansatz und führt letztlich zu höheren Kosten. Der Wartungsaufwand ist je nach Lage (Wand- oder Dachflächenfenster) unterschiedlich. Eine regelmäßige Reinigung und Pflege nicht nur der Glasflächen sondern auch von Beschlägen, Anschlüssen und Rahmen verlängert die Dauerhaftigkeit.

Ökologische Kriterien

Je nach Material und Pflege liegt die Lebensdauer von Fenstern (inkl. Beschläge) zwischen 25 und 50 Jahren [164]. Fenster mit hohen Dämmeigenschaften tragen zur Einsparung der Heizwärme bei. Zusätzlich dient die Tageslichtnutzung zur Einsparung von künstlicher Beleuchtung.

[23; 210; 211]

Abb. 83: oben Mitte: Siedlung de Bomenbuurt, Ulf von ARX Architekten. Wesentlicher Baustein des Energiekonzeptes sind die ungedämmten, nach Süden orientierten Wintergärten, die als klimaausgleichende Wärmepuffer fungieren. (Solarlux, Bissendorf)



3.1.3 Sonnenschutz

Sonnenschutzmaßnahmen bewirken sehr effektiv die Reduzierung starker Wärmebelastungen als auch des (mechanischen) Kühlbedarfs. Hier ist der außenliegende Sonnenschutz am effektivsten. Die Regelung der Verschattung kann manuell oder über eine gesteuerte Gebäudeautomation erfolgen.

Systemarten

Bei Sonnenschutzsystemen wird im Wesentlichen in feststehenden und nachführbaren sowie in horizontalen und vertikalen Sonnenschutz unterschieden. Die Art des Systems (verstellbare oder feststehende Horizontal- oder Vertikal-Lamellen, Rollläden, Pergolen, auskragende Bauteile etc.) hat wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit des Tageslichts. Opake Verschattungssysteme (bspw. Rollläden) erhöhen den Bedarf an künstlichem Licht.

Leistungsbestimmende Kriterien

Der jeweils beste Sonnenschutz hängt von Ort und Orientierung und den projektspezifischen Fensterflächenanteilen ab. In Situationen mit hohem Sonnenstand kann bereits über bauliche (Eigen-)Verschattung sehr effektiv geschützt werden. Bei Nichtwohngebäuden ist der Bedarf an einer automatisierten Regelung höher als bei Wohnbauten, da hier das Nutzerverhalten großen Einfluss auf die Effektivität hat.

Allgemeine Planungskriterien

Je nach Orientierung sind unterschiedliche Systeme effektiver. Im Süden sind gegen die steil einfallende Sonne vorzugsweise horizontale, feststehende Sonnenschutzsysteme (Lamellen, auskragende Bauteile) sinnvoll, im Osten und Westen sind aufgrund der schräg und flach einfallenden Sonne bewegliche

Systeme oder feststehende vertikale Lamellen besser geeignet.

Konstruktive Kriterien

Neben der eingangs erwähnten Relevanz einer effizienten Gebäudeautomation, bilden hinsichtlich teilweise sehr aufwändiger Systeme vor allem auch die Statik (ggf. extra statischer Nachweis) und die Bauaufsicht nicht zu vernachlässigende Planungsaspekte. Verschattungssysteme können – bei entsprechendem Nachweis – vor massive und mehrschalige Wandaufbauten als auch vor Leichtbaukonstruktionen eingesetzt werden.

Wirtschaftliche Kriterien

Bauliche Verschattungen (wie bspw. auskragende Balkone) bedeuten für den (Neben-)Effekt der Verschattung keine Mehrkosten und sind somit Sowie-so-Bauteile. Alle anderen Verschattungssysteme sind additive Bauteile, deren Mehraufwand von sehr gering (einfach feststehende Holzlamellen) bis sehr hoch (automatisch nachführbare Lamellensysteme) eingestuft werden kann. Auch die vielen möglichen Materialien tragen massiv zu einer breiten Kostenspanne bei. Entsprechend der Systemkomplexität und der Materialwahl gestaltet sich auch der Aufwand für Wartung und Instandhaltung.

Ökologische Kriterien

Auch die Dauerhaftigkeit kann hier aufgrund der großen Systemauswahl nicht pauschal benannt werden. Sie ist abhängig vom gewählten Material und der Systemkomplexität. Die Lebensdauer kann somit gering aber auch hoch ausfallen. Die Wirkung zur Reduzierung des Kühlbedarfs kann bei entsprechender Planung sehr hoch sein und fossile Energie für Klimageräte einsparen.

[23; 25; 210; 211]

Bedarfsdeckung



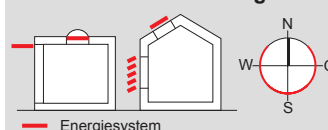
Systemarten

- Horizontal-Lamellen (feststehend oder beweglich)
- Vertikal-Lamellen (feststehend oder beweglich)
- Rollläden, Jalousien, Markisen
- Pergolen
- auskragende Bauteile

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort
- Orientierung / Systemwahl: Süden: vorzugsweise feststehend, horizontal; Osten / Westen: beweglich oder feststehend vertikal oder horizontal
- Verschattungsanteil (fc-Wert)
- Nutzerverhalten

Fläche und Orientierung



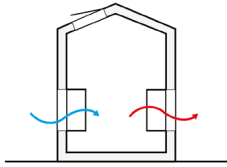
— Energiesystem

- Öffnungsanteile der Gebäudehülle betreffend
- i.d.R. an süd-, ost- und westorientierten Fassaden erforderlich

Konstruktion

- differierend, je nach System

Abb. 84: oben Mitte: Passivhaus in Liebefeld, Bern: Der hohe Fensteranteil hat positive wie belastende Einflüsse auf die Energiebilanz des Hauses. Um die Räume vor Überhitzung zu schützen, gibt es außen liegende Holzjalousien. Das auskragende umlaufende Balkonband sorgt für einen weiteren feststehenden, horizontalen Sonnenschutz. (Halle 58 Architekten GmbH, Prof. Peter Schurch, Foto: Christine Blaser, Bern)



3.1.4 Natürliche Lüftung

Bedarfsdeckung



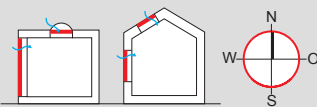
Systemarten

- Lüftung über Fenster
- opake Lüftungsflügel
- Lüftungsschlitze in Fensterrahmen
- Nachtlüftung

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort
- Orientierung
- Luftverunreinigung
- Verschattung
- Lärmbelastigung
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperaturen

Fläche und Orientierung



- Öffnungsanteile in der Gebäudehülle betreffend
- alle Orientierungen

Konstruktion

- Öffnungen in Dach und Fassade

Die natürliche Lüftung dient der Frischluftzufuhr. Die Zuluft wird in der Regel nicht konditioniert. Damit können über einen Kälte- bzw. Wärmeeintrag über die Luft Heizwärmeverluste bzw. zusätzliche Kühllasten entstehen. Im energieeffizienten Bauen werden daher häufig maschinelle, kontrollierte Lüftungssysteme mit Wärmetauschern empfohlen. Nachtlüftungssysteme hingegen dienen der Gebäudekühlung und werden in Gebäudeenergiekonzepten bewusst eingesetzt. Über nächtliche Querlüftungen werden Speichermassen, wie schwere Betondecken, wieder abgekühlt und für eine erneute Wärmeaufnahme am Tag regeneriert.

Systemarten

Die natürliche Frischluftführung erfolgt üblicherweise über Fenster, Lüftungsschlitze in Fensterrahmen oder Lüftungskappen opaker Bauteile. Eine natürliche Querlüftung setzt öffnere Fenster oder automatisch gesteuerte Ein- und Auslassklappen an gegenüberliegenden Raumwänden voraus. Ebenso verbreitet sind freie Lüftungskonzepte durch Nutzung des thermischen Auftriebs im Gebäude. Die freie/natürliche Lüftung arbeitet mit Druck- und Temperaturdifferenzen zwischen der Gebäudeaußenhülle und dem Innenraum. Die Zuluft erfolgt dabei meist über die Fassade. Wird sich eines Solarkamineffektes bedient, kann die Abluftführung über Öffnungen auf dem Dach erfolgen.

Leistungsbestimmende Kriterien

Systeme der natürlichen Lüftung sind in ihrer Leistungsfähigkeit von den klimatischen Gegebenheiten im Außenraum abhängig. Dies betrifft u.a. die Temperierung und Qualität der Frischluft, welche der Gebäudestandort und

dessen Orientierung bestimmen. In den Sommermonaten ist kühlere Zuluft erwünscht. Verschattungen und Zuluft über Nordfassaden sind hier vorteilhaft. Luftverunreinigungen durch Verkehr können die Luftqualität negativ beeinflussen. Unabhängig von der Frischluft können Lärmbelastigungen und unbehagliche Zugserscheinung durch Fensterlüftung entstehen.

Allgemeine Planungskriterien

Natürliche Lüftungssysteme sind bei allen Gebäudetypen üblich, jedoch vor allem bei Bestandsgebäuden zu finden. Nachtlüftungssysteme kommen bei Gebäudetypen mit hohen externen und internen Kühllasten, wie Bürogebäuden, zum Einsatz. Der Flächenbedarf von natürlichen Lüftungssystemen ist an den Luftwechselbedarf gebunden, stellt aber in der Regel die natürlichen Öffnungsanteile in der Gebäudehülle dar. Der Frischluftbedarf besteht ganzjährig. Der Gestaltungsspielraum ist gemäß der Vielfalt von Öffnungssystemen groß.

Konstruktive Kriterien

Lüftungskappen und Schlitze sind z.T. mit Insektenschutzgittern versehen. Bei natürlichen Lüftungselementen kann der Schallschutz eine wichtige Rolle spielen.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Kosten differieren stark, je nach Wärmeschutzanforderung und zusätzlichen Funktionen, wie Schallschutz sowie Materialität und Aussehen.

Ökologische Kriterien

Die Dauerhaftigkeit von Fensterbauteilen beträgt i.d.R. >30 Jahre. Über die natürliche Lüftung wird der Frischluft eintrag gesichert, jedoch können Wärmeverluste bzw. -einträge entstehen.

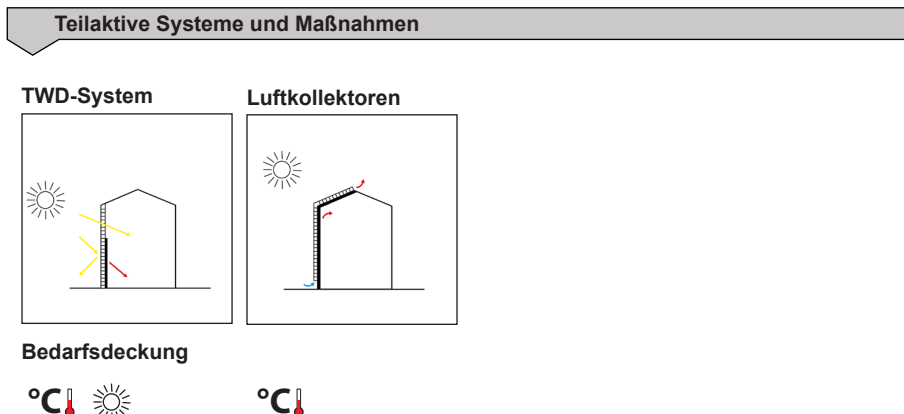
Abb. 85: oben Mitte: Opake Zuluft-elemente für Nachtlüftung in der Fassade des Umweltbundesamtes in Dessau. (Foto: Nathalie Jenner)

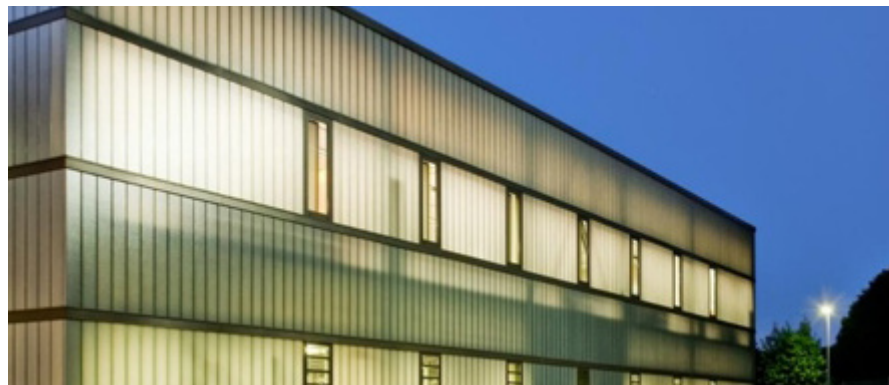
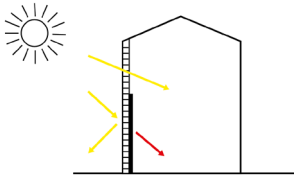
3.2 Teilaktive Systeme und Maßnahmen

Zu den teilaktiven Maßnahmen zählen Systeme, die die solare Strahlung nutzen, um einen Dämmeffekt zu erzielen (dynamische Dämmung) bzw. über die Zuführung solar erwärmter Luft fossil erzeugte Heizwärme einsparen. Zu diesen Systemen gehören:

- Transparente Wärmedämmung
- Luftkollektor

Die dynamischen Systeme erwärmen die Außenseite der Gebäudehülle. Wenn diese die Innentemperatur übersteigt, gibt es keinen Wärmeverlust, unabhängig von der Höhe des U-Wertes des Aufbaus. Die Speichermasse hinter dem Kollektor glättet Temperaturschwankungen. Aufgrund der Dynamik der Systeme sind teilaktive Systeme komplexer bei Planung und Nutzung. Zum Teil kommen hier aktive Komponenten wie Ventilatoren oder Wärmetauscher (Luftkollektor) zum Einsatz. Im Folgenden werden diese Systeme näher betrachtet.





3.2.1 Transparente Wärmedämmung (TWD)

Bedarfsdeckung



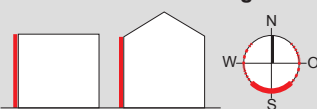
Systemarten

- TWD-Elementfassade, konvекtives System (vorgehängt oder Pfosten-Riegel)
- TWD vor Massivwand
- Hybridsystem (gekoppelt an Speicher)
- Isolierglassysteme (Direktgewinnsystem)

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort (Solarstrahlung)
- Orientierung
- Wirkungssteigerung durch dunkle Schicht auf Innenseite
- ohne dunkle Schicht Nutzung der Lichtdurchlässigkeit des Materials
- U-Werte Gesamtsystem
- Verschattung: im Winter zu vermeiden, im Sommer erwünscht (gegen unnötige Aufheizung der Fassade)

Fläche und Orientierung



- möglichst vollflächig vor opaken Fassaden
- teilflächig vor Öffnungen i.d.R. südorientierte Fassaden

Konstruktion

- vor massiven Wandaufbauten als Element- oder Verbundsystem
- Ständerbauweisen / Pfosten-Riegel-Element System (lichtdurchlässig)

Transparente Wärmedämmung (TWD) verbindet den Effekt der Wärmedämmung (winterlicher Wärmeschutz) bei gleichzeitiger Lichtdurchlässigkeit. Sie schützt vor Wärmeverlusten, heizt mit der gewonnenen Sonnenstrahlung und kann je nach System das Tageslicht ohne Blendung nutzen und so den Kunstlichtbedarf reduzieren.

Systemarten

TWD besteht aus Materialien, die es ermöglichen, auf die Fassade treffende Solarstrahlung an die dahinter liegende Wand oder den Raum weiterzuleiten. Waben- bzw. Kapillar- oder Hohlkammerstrukturen leiten dabei die flach stehende Wintersonne weiter, die steile Sommersonne wird hingegen größtenteils reflektiert. Im Winter, wenn eine „warme Wand“ erwünscht ist, trifft die Solarstrahlung auf die dahinterliegende massive (bestenfalls dunkle) Wand. Die aufgenommene Wärme wird zeitverzögert nach innen abgegeben, die Räume kühlen nachts nicht aus.

TWD kann entweder in ein Fassadendämmsystem integriert werden, als Tageslichtsystem (Isolierglassysteme) oder als zusätzliche Gebäudehülle (vorgehängte Elementfassade) eingesetzt werden.

Leistungsbestimmende Kriterien

Die Systeme eignen sich insbesondere zur vollflächigen Integration in Südfassaden, sind aber auch im Osten, Westen und sogar im Norden ertragreich. Der dynamische Dämmwert der Konstruktion ist wesentlich abhängig von der auftreffenden Solarstrahlung und der Materialstärke. TWD-Module sollten als Massivwandsystem in der Regel einen U-Wert von unter $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen. Je höher die winterliche Einstrahlung ist,

desto effektiver wirkt auch das Dämmsystem. Im Sommer hingegen ist eine Aufheizung der Fassade unerwünscht. Eine Verschattung in dieser Jahreszeit ist insbesondere auf West- und Ostflächen von Vorteil.

Allgemeine Planungskriterien

Die Systeme sind für jegliche Typen anwendbar. Besonders wirkungsvoll ist TWD für Sanierungsmaßnahmen mit nur wenig südorientierten Fensterflächen.

Konstruktive Kriterien

Wie bei den klassischen Dämmsystemen (passive Systeme) gilt auch hier für die optimale Wirkung des Systems die Vermeidung von Fugenbildung und von Wärmebrücken. Die Systeme können je nach Systemvariante vor massive oder mehrschalige Wandaufbauten eingesetzt oder als Pfosten-Riegel-Fassade in Leichtbauweisen integriert werden.

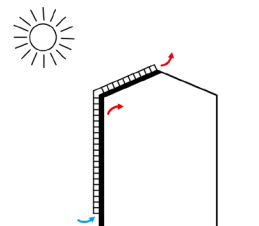
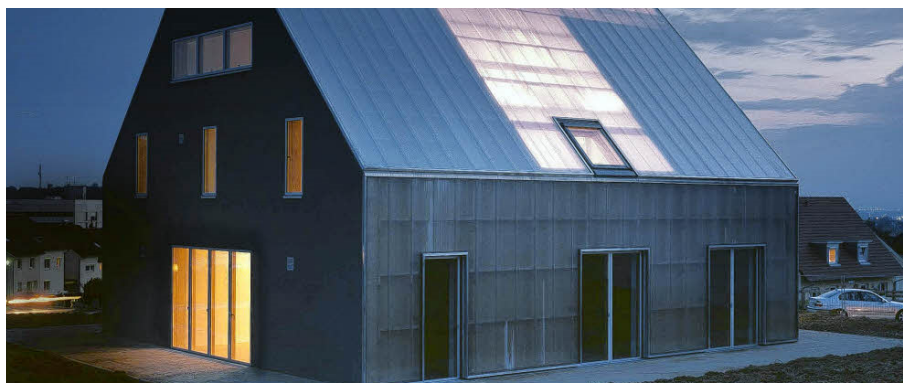
Wirtschaftliche Kriterien

Die Systeme müssen für eine effektive Wirkung vollflächig eingesetzt werden und bilden somit eine flächige Substitution (des Sowieso-Bauteils der Gebäudedämmung). Die Kosten eines TWD-Systems sind wesentlich teurer als konventionelle Wärmedämmung. Deshalb und wegen einer im Vergleich meist höheren Leistungsfähigkeit konventioneller Dämmung besitzt TWD eine geringere Verbreitung.

Ökologische Kriterien

Die Dauerhaftigkeit von TWD-Systemen variiert nach Herstellern. Das überwiegende Material Kunststoff weist eine mittlere Lebensdauer von ca. 25 Jahren auf. In der Regel sind die Systeme gut rückbaubar.

Abb. 86: oben Mitte: TWD-Fassade für Profilglas, BERU Electronics GmbH, Bretten (wacotech.de)



3.2.2 Luftkollektor

Luftkollektoren wandeln Strahlung in Wärme um. Je nach Bauart können sie wie TWD eine „dynamische Wärmedämmung“ bilden oder über Frisch- bzw. Umluft zur Erwärmung des Raumes dienen.

Systemarten

Luftkollektoren sind je nach Bedarf rein passive Systeme zur Direkterwärmung der Luft oder der dahinterliegenden Speichermasse. Eingebunden in aktive Systeme mit Wärmetauschern nützen sie einem Speichersystem zur verzögerten Wärmeübergabe. Es gibt industriell vorgefertigte Kollektoren aus Stahlblech oder Aluminium oder einfache Polycarbonatplatten, die örtlich vor Wand- oder Dachschichten montiert werden.

Leistungsbestimmende Kriterien

Die Leistung wird im Wesentlichen über die vorherrschende Solarstrahlung und damit über den Standort bestimmt. Insbesondere Südorientierungen erzielen hohe solare Gewinne, aber auch Ost- und Westfassaden sind möglich. für eine effektive Funktionsfähigkeit benötigt das System einen thermischen Auftrieb in der Fassade. Der Wärmedämmeffekt ist u.a. von der Speicherfähigkeit der dahinter liegenden Wand abhängig.

Allgemeine Planungskriterien

Luftkollektoren können als einzelne Paneele bzw. vollflächig in die Fassade integriert werden – je nach Bedarf. Der Industrie-Kollektor hat eine wesentlich höhere Leistungsfähigkeit und benötigt demnach weniger Fläche (EFH: 20-25 qm und somit 2-3 mal weniger Fläche als der Vor-Ort-Kollektor). Anwendungen sind sowohl im Wohnungsbau als auch bei Nicht-Wohngebäuden erprobt. Wichtig ist hier, das angekoppelte System

in seiner Dimensionierung der Nutzungstypologie anzupassen. Im Sommer kann eine Verschattung des Kollektors durch Überhitzungsvermeidung positiv wirken, im Winter und in den Übergangszeiten ist sie nicht erwünscht, um die Wärme nutzen zu können.

Konstruktive Kriterien

Für den wichtigen thermischen Auftrieb innerhalb der Konstruktion ist ggf. eine mechanische Unterstützung notwendig, ebenso die Anbindung und Integration in das zentrale Haustechnik-System mit Wärmeübergabestation. Luftkollektoren haben u.a. aufgrund besonderer Brandschutzvorgaben eine hohe bauaufsichtliche Relevanz. Wärmebrücken gilt es unbedingt zu vermeiden. Luftkollektoren funktionieren vor massiven und mehrschaligen Wandaufbauten als Elementsystem sowie vor Ständer-Leichtbauweisen. Im Dach werden sie (thermischer Auftrieb) nur an Schrägdächern eingesetzt.

Wirtschaftliche Kriterien

Luftkollektoren können entweder nur die Dämmschicht oder auch das gesamte Fassadensystem vollflächig ersetzen. Mehraufwand ist einzuplanen und immer gegen den ggf. geringen Effekt abzuwägen. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten sind aufgrund des luftgeführten Systems eher gering.

Ökologische Kriterien

Die Lebensdauer von industriellen Luftkollektoren wird mit mind. 20 Jahren angesetzt. Vor-Ort-Systeme sind noch dauerhafter (Lebensdauer Polycarbonat min. 30 Jahre).

[210; 215; 216]

Bedarfsdeckung



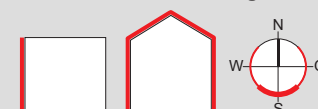
Systemarten

- Luftkollektor zur Direkterwärmung der Luft/ des Bauteils
- LK mit Wärmetauscher und Speichermedium zur verzögerten Wärmeübergabe
- LK-Fassade als Lüftungssystem

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort (Solarstrahlung)
- Orientierung
- bei Luftkollektorfassade thermischen Auftrieb bedenken
- U-Wert Gesamtsystem
- g-Wert
- Verschattung: Im Winter zu vermeiden, im Sommer erwünscht (gegen unnötige Aufheizung der Fassade)

Fläche und Orientierung



— Energiesystem

- einzelne Paneele bis vollflächig über Fassade und Dach
- i.d.R. südorientiert (Ost, West-Orientierungen zudem möglich)

Konstruktion

- vor massiven Wandaufbauten als Elementsystem oder transparente Scheibe vorgehängt, hinterlüftet
- im Schrägdach (Aufbauten entsprechend Fassade)

Abb. 87: oben Mitte: Patchworkhaus, Müllheim, Pfeifer Kuhn Architekten (Pfeifer Kuhn Architekten, Fotograf: Fotostudio Ruedi Walti, Basel)

3.3 Aktive Systeme und Maßnahmen

Neben dem Einsatz bzw. der Anwendung passiver Maßnahmen sollte der Restenergiebedarf möglichst effizient und regenerativ gedeckt werden. Denn der Gebäudebetrieb erfordert in vielen Klimaregionen, wie in Deutschland, neben den passiven Maßnahmen über die Gebäudehülle, dennoch die regelbare Zufuhr von Energie über eine aktive Gebäudetechnik.

Um fossile Energie einzusparen, kann die Energieaufwendung für Strom oder Heizwärme vollständig bzw. zum Teil über folgende Systeme gedeckt werden:

- Photovoltaik
- Solarthermie

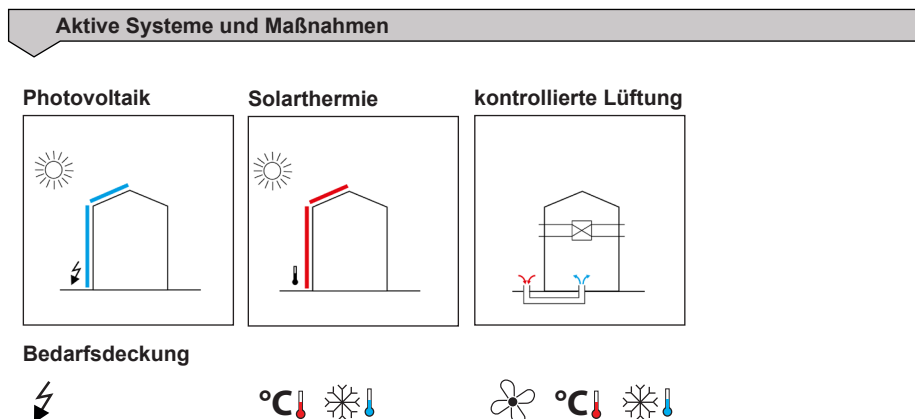
Photovoltaik und Solarthermie stellen solaraktive Energiegewinnsysteme dar, die direkt in der Gebäudehülle zum Einsatz kommen können. Darüber wird das Gebäude bzw. die Gebäudehülle selbst zum Energieerzeuger. Die Systeme nutzen die Solarstrahlung um Strom bzw. Heizwärme zu erzeugen.

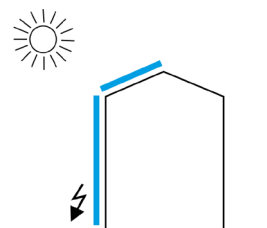
Neben der regenerativen Energiebereitstellung ist zudem die Effizienz der technischen Maßnahmen zu erhöhen.

- **Kontrollierte Lüftung**

Diese hilft mit einer Wärmerückgewinnung, Wärmeverluste über die Lüftung zu reduzieren und konditionierte Luft effizient zu nutzen.

Im Folgenden werden die aktiven, die Gebäudehülle betreffenden, Maßnahmen beschrieben.





3.3.1 Photovoltaik

Photovoltaik (PV) nutzt die Solarstrahlung, um Elektrizität zu erzeugen. Diese kann entweder direkt im Haus genutzt, gespeichert oder ins öffentliche Netz eingespeist werden.

Systemarten

PV wird im Wesentlichen in kristalline (Mono- und Polykristallin) und Dünnschichttechnologie unterschieden. Die Zelltechnologien differieren u.a. in ihrem Herstellungsverfahren, ihrem Aufbau, den Wirkungsgraden und in ihrem Aussehen. PV-Module werden in der Regel als Glas-Kunststoff-Lamine, als Glas-Glas-Module oder in Form von Kunststoffmembranen verbaut.

Leistungsbestimmende Kriterien

Kristalline Module besitzen einen Modulwirkungsgrad (Ausnutzung der Solarstrahlung bei Standardtestbedingungen) von 13 – 20 %, Dünnschichtmodule erreichen nur Modulwirkungsgrade von 8 – 12 %, besitzen jedoch ein besseres Schwachlichtverhalten und eine geringere Empfindlichkeit gegenüber steigenden Temperaturen. Neben dem Wirkungsgrad sind der Standort in Bezug auf die dort vorherrschende Globalstrahlung, sowie die Ausrichtung und Orientierung zur Sonne weitere wichtige Faktoren der zu erzielenden Leistung. Die höchste Leistung ist in deutschen Breiten bei Südorientierung und 30° Neigung zu erzielen. Geringere Leistungen sind jedoch auch auf West und Ostfassaden möglich. Einen wichtigen Einfluss stellt zudem die Verschattung dar. Schon teilverschattete Module können einen Ausfall der in Reihe geschalteten Modulstrings bewirken. Der Leistungsverlust verhält sich daher bei Verschattung überproportional. Als elektrisches Bauteil ist die Leistung zudem

von der vorherrschenden Temperatur abhängig. Die Leistungsminderung gibt der so genannte Temperatur-Koeffizient an. Dieser beträgt je nach Zelltyp i.d.R. +/- 0,3 %/K bis +/-0,5 %/K [86]. Er wird auf 25 °C gemäß der Standardtestbedingungen bezogen. Um eine Überhitzung zu vermeiden, ist eine Hinterlüftung der Module dienlich.

Allgemeine Planungskriterien

Die Technologie wird im Wohnungsbau- wie auch im Nichtwohnungsbau zur regenerativen Stromerzeugung genutzt. Die Flächenbestimmung von PV-Anlagen ist bedarfsunabhängig und kann große Teile der Gebäudeflächen einnehmen.

Konstruktive Kriterien

Bei PV-Systemen unterscheidet man im Wesentlichen zwischen Dach- und Fassadensystemen. Flachdachanlagen sind in der Regel aufgeständert oder flach aufgelegt. Schrägdachanlagen können auf Ziegel aufgesetzt sein oder als „Solarziegel“ die wasserführende Schicht selbst bilden. Überwiegend werden Dachanlagen installiert. Fassadensysteme werden in der Regel – aufgrund des geringeren Stromertrags – seltener gebaut. Sie sind jedoch gerade bei aktiven Gebäudekonzepten wie dem Plus-Energie-Standard eine wichtige Komponente. In der Fassade können PV-Module in Pfosten-Riegel-Konstruktionen als Warmfassade oder in vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden als Bekleidung integriert werden. Für die Integration bieten die Gestaltungsmöglichkeiten durch verschiedene Modulgrößen, Farbigkeit und Transparenzgrade einen weiteren Spielraum. Für die Installation sind Leitungsführungen zu beachten.

Bedarfsdeckung



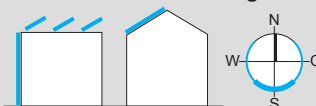
Systemarten

- nach Technologie:
- Mono-/polykristalline Module
 - Dünnschichtmodule
- nach Bauart:
- Glas-Glas-Module
 - Kunststoffmembrane

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort (Globalstrahlung)
- Orientierung und Neigung
- Verschattung
- Verschmutzung
- hohe Modultemperaturen
- Widerstände (Leitungen, Wechselrichter)

Fläche und Orientierung



— Energiesystem

- Dach und Fassade
 - bedarfsunabhängige Flächeninanspruchnahme:
 - teil- bis vollflächig
- Neigung:
- optimal: 30°, Südorientierung (Ost- u. Westorientierung möglich)

Konstruktion

- auf Flachdach aufgeständert
- auf geneigten Dächern aufgesetzt oder integriert
- in die Fassade integriert

Abb. 88: oben links: Haus P, mit einer gestalterisch integrierten PV-Dachanlage, Steinbach im Taunus (ee concept GmbH, Foto: Eibe Sönnecken, www.eibefotografie.de)

Abb. 89: oben rechts: Solar Decathlon-Sieger 2009, SurPLUS-home der TU Darmstadt, mit einer „Solarfassade“ aus Dünnschichtmodulen. (TU Darmstadt, FGe, Foto: Thomas Ott, www.o2t.de)

Um den erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom zu transformieren sind zudem Wechselrichter ein Teil des Anlagensystems.

Wirtschaftliche Kriterien

Je nach Art des gewählten Systems (aufgeständert oder integriert) und der verwandten Zelltechnologie differieren die Kosten für PV-Systeme. Am günstigsten sind aufgeständerte bzw. aufgesetzte Systeme. Die Preise werden pro kWp (Nennleistung) angegeben und beziehen sich demnach auf die Leistung des Moduls. Derzeit liegen die Preise bei ca. 1.000 € bis 1.500 €/kWp [solarserver.de, 12.2012]. Erfahrungen zeigen, dass die reinen Investitionskosten für integrierte, vorgehängte, hinterlüftete Photovoltaikfassaden zwischen 500 – 800 €/m² noch sehr hoch sind. Jedoch birgt bei einer Integration die Berücksichtigung des Ersatzes eines Sowiesso-Bauteils wie der Fassadenbekleidung oder des Dachbelages einen wirtschaftlichen Vorteil, der in wirtschaftliche Betrachtungen einbezogen werden sollte.

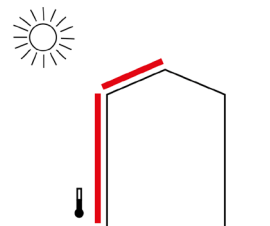
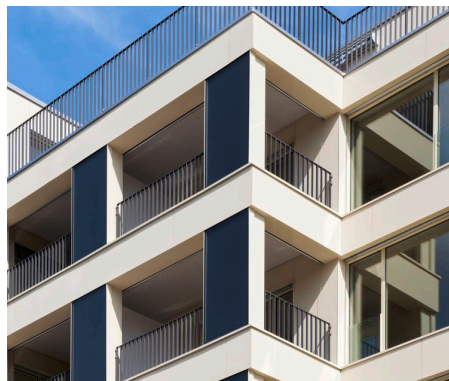
Im Gebäudebetrieb besitzt das „Bauteil“ Photovoltaik mit der Stromerzeugung und der damit verbundenen Einsparung teurer Stromkosten bzw. über den Verkauf des regenerativen Stroms einen besonderen wirtschaftlichen Vorteil. In Deutschland wird die Abnahme und Vergütung von ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenem Strom mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Danach sind Netzbetreiber verpflichtet, Strom aus erneuerbaren Energien abzunehmen. Der Anlagenbetreiber erhält darüber hinaus ab Inbetriebnahme seiner Anlage eine auf 20 Jahre zugesicherte Betriebsvergütung je Kilowattstunde. Die Wirtschaftlichkeit wird häufig über

die Amortisationsdauer (i.d.R. zwischen 10 – 15 Jahre) und der zu erhaltenden Rendite abgewogen. Jedoch ist hier zu berücksichtigen, dass Photovoltaik eines der wenigen Bauteile ist, welches auch gleichzeitig Strom generiert. Eine Wartung erfolgt in der Regel halbjährlich bis alle drei Jahre.

Ökologische Kriterien

In Abhängigkeit von ihrem Einsatzort mit den jeweiligen Umweltbedingungen erreichen Solarmodule eine Lebensdauer von mindestens 20-30 Jahren. Dabei rechnen die Hersteller mit einer Leistungsminderung von 0,5 % pro Jahr. Eine Leistungsgarantie wird für 20 Jahre mit Berücksichtigung der Leistungsmin- derung gegeben. Die Verglasung selbst ist, mit dem Glasbau vergleichbar, länger haltbar. Sie kann weit über 30 Jahre hinaus die Bauteilfunktionen weiter übernehmen. Strom ist eine Energieform hohen Gutes. Der allgemeine Strommix bedarf zurzeit noch eines Primärenergieeinsatzes von $f_p = 2,6$ (EnEV 2009). Im Vergleich dazu wird für Erdgas $f_p = 1,1$ angesetzt. Die Solartechnologie selbst benötigt einen sehr hohen Energieaufwand zur Herstellung. Besonders hoch ist dieser bei kristallinen Siliziumzellen. Über die Stromproduktion und die bilanzielle Einsparung von CO₂ amortisiert sich die Herstellungsenergie jedoch im Lebenszyklus bereits nach einigen Jahren.

[23; 24; 86; 209]



3.3.2 Solarthermie

Solarthermie-Kollektoren nutzen die Solarstrahlung, um Heizwärme, Warmwasser oder Kälte über sog. Absorptionskältemaschinen zu erzeugen.

Systemarten

Solarthermische Systeme bestehen als zentrales Element aus einem Kollektor, der die eingestrahlte Sonnenenergie absorbiert und in Wärme umwandelt. Es gibt verschiedene Kollektoren, die sich hinsichtlich des Wirkungsgrads und der Betriebstemperatur, aber auch ihres Aufbaus und Aussehens, grundsätzlich unterscheiden: offene Absorber, Flachkollektoren (FLK), Luftkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren (VRK). [210]

Leistungsbestimmende Kriterien

Die einfachsten Kollektoren sind offene Absorbersysteme, effizienter sind FLK oder VRK. Neben dem Wirkungsgrad der Systeme sind weitere standortbezogene, wie technische Faktoren, leistungsbestimmend. Während sich die maximale Einstrahlung über das Jahr betrachtet in deutschen Breiten über einen Aufstellwinkel von 30° nach Süden definiert, bestimmt sich der optimale Ertrag aus weiteren, projektspezifischen Parametern wie dem Nutzungszweck (z. B. Heizungsunterstützung) oder dem Nutzungszeitraum. Der Warmwasserbedarf liegt ganzjährig vor. Hier ist ein effizienzoptimierter Aufstellwinkel von ca. 30° von Vorteil. Für eine Heizungsunterstützung, die hauptsächlich in den Wintermonaten erforderlich ist, ist die Neigung auf das Einfangen der flachen Wintersonne zu optimieren (40-90°). Verschattungen und Verschmutzungen sind zu vermeiden. Leistungsminderungen verhalten sich jedoch im Gegensatz zu Photovoltaikanlagen nicht überproportional zum Verschattungsanteil.

Verluste des Kollektors sind zudem von der Differenz zwischen Absorber- und Außenlufttemperatur abhängig. Je größer die Differenz, umso höher die Wärmeabgabe. Diese Verluste sind jedoch stark kollektortypabhängig.

Allgemeine Planungskriterien

Solarthermieanlagen werden überwiegend im Wohnungsbau angewandt. Der Flächenbedarf von Solarthermieanlagen ist bedarfsbezogen (Trinkwarmwasser- oder Heizwärmebedarf) und nimmt in der Regel im Vergleich zu Photovoltaikanlagen kleinere Flächen (4 -10 m²/WE) in Anspruch.

Konstruktive Kriterien

Solkollektoren können sowohl auf dem Dach als auch in die Fassade integriert oder aufgesetzte werden. Auf Flachdächern werden die Anlagen meist aufgeständert, auf Schrägdächern meist auf die Dachdeckung aufgesetzt. FLK können jedoch auch die Dachdeckung substituieren. In der Fassade können FLK als Warmfassade oder hinterlüftet verbaut werden. Als Sonnenschutz oder Brüstungselemente können VRK dienen.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Investitionskosten differieren je nach Kollektortyp und Anlagengröße. Offene Absorber bilden das preiswerteste System, sind jedoch nur in den Sommermonaten funktionsfähig. Mit steigendem Wirkungsgrad folgen die FLK, darauf die VRK.

Ökologische Kriterien

Die garantierte Leistungsdauer beträgt i.d.R. 20 Jahre. Durch die regenerative Energieproduktion kann Solarthermie fossile Energieträger wie Gas oder Öl ersetzen.

[23; 26; 210; 211; 212]

Bedarfsdeckung



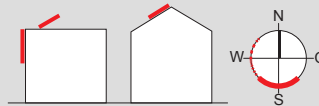
Systemarten

- Offene Absorber
- Flachkollektor
- Vakuumröhrenkollektor

Leistungsbestimmende Kriterien

- Standort (Globalstrahlung)
- Orientierung und Neigung
- Verschattung
- Verschmutzung
- Wärmeabgabe abhängig von der Differenz Absorber- zu Lufttemperatur
- Leitungs- u. Speicherverluste

Fläche und Orientierung



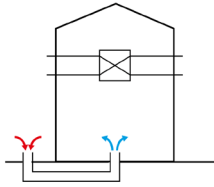
- Dach und Fassade
- bedarfsabhängige Flächeninanspruchnahme
- für TWW: 1-2 m²/ Pers.
- für Heizung: 0, 1-0,5 m²/m³ Wfl.
- Neigung:
- für TWW: 30°, Süd
- für Heizung: > 40°, Süd

Konstruktion

- auf Flachdach aufgeständert
- auf steil geneigten Dächern aufgesetzt oder integriert
- an der Fassade vorgehängt oder integriert

Abb. 90: oben links: Dachintegrierte Solarkollektoren Sporthalle Markt Großostheim (PFOSER 2003)

Abb. 91: oben rechts: Fassadenintegrierte Solarthermiekollektoren als gestalterisches Element: Wohn- und Geschäftshaus, Mühlebachstrasse in Zürich. (© kämpfen für architektur ag, Zürich, Foto: René Rötheli, Baden)



3.3.3 Kontrollierte Lüftung

Bedarfsdeckung



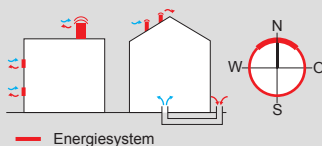
Systemarten

- Zu- und Abluftsysteme
- de-/ zentrale Gebäudelüftung
- Kopplung an Erdkanal
- Kopplung mit Wärmerückgewinnung

Leistungsbestimmende Kriterien

- Luftgeschwindigkeit
- Vorkonditionierung
- Bei Luftansaugung Vermeidung von: Verunreinigungen (Stäube, Bakterien), Wärme, Gerüche, Abgase, Kleintiere

Fläche und Orientierung



- i.d.R. geringer (kleine Lüftungsrohre, Lüftungsklappen) bis größerer Flächenbedarf (Technikzentrale z. B. auf Dachflächen)
- alle Orientierungen möglich

Konstruktion

- zentral:
 - An- und Abluft meist über Dach
- dezentral:
 - Ventilatoren in der Fassade

Die maschinelle Lüftung dient der kontrollierten Ab- bzw. Frischluftzufuhr. In mechanisch betriebenen Lüftungskonzepten wird der Luftwechsel über eine Lüftungsanlage und definierte Lüftungsöffnungen fest eingestellt. Im Vergleich zur rein natürlichen Lüftung können über die maschinelle, kontrollierte Lüftung Lüftungswärmeverluste vermieden und bei Bedarf die Luft konditioniert, d.h. gekühlt oder gewärmt, befeuchtet und gefiltert werden. Lüftungswärmeverluste werden über die Kopplung an eine Wärmerückgewinnung vermieden. Konditionierungen können passiv über die Zuluftführung durch erdverlegte Rohrleitungen, so genannte Erdregister, erfolgen oder aktiv durch Heiz- und Kühlregister. Für zusätzliche Kühlzwecke kann die Zuluft durch das Versprühen von Wasser in der Abluft über dessen Verdunstung gekühlt werden.

Systemarten

Man unterscheidet zwischen reinen Abluft-, Zu- und Abluftsystemen sowie zwischen zentraler und dezentraler Gebäudelüftung.

Leistungsbestimmende Kriterien

Die Leistungsanforderungen an eine Lüftungsanlage werden über den benötigten Luftwechsel sowie u.a. den benötigten Wärme- bzw. Kältebedarf definiert. Die Konditionierung der Luft mit Kälte oder Wärme ist abhängig von den Außenluft- und Innenraumtemperaturen sowie dem Wärmetauschersystem. Trotz möglicher Filterung der Luft sollte diese möglichst staubfrei sein, zudem ist der Eintrag von Bakterien oder Pilzsporen zu vermeiden.

Allgemeine Planungskriterien

Um die Ansaugung verschmutzter Luft zu vermeiden, ist die Zuluft in der Regel

60 cm über Dach bzw. 3 m über Gelände zu führen. Bei dezentralen Anlagen ist in den Sommermonaten die Zuluft über Nord bzw. schattige Fassadenflächen von Vorteil. Die Zu- und Abluftführung ist in der Regel standortbezogen. Kontrollierte, maschinelle Lüftungen werden bei allen Gebäudetypologien angewandt. Die Anlagen sind in der Regel im Fassadenbild nicht direkt ersichtlich.

Konstruktive Kriterien

Dezentrale Anlagen werden in der Regel in der Fassade installiert. Bei zentralen Anlagen kann die Luftansaugung auf dem Gelände oder am Gebäude (Fassade oder Dach) erfolgen. Die Abluft wird meist über das Dach geführt.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Investitionskosten sind stark von den Anlagenkomponenten, von dem Leitungsaufwand sowie von der Art der Anlage (zentral oder dezentral) abhängig. Der Wartungsaufwand kann je nach Anlagentyp hoch sein. So muss z. B. ein regelmäßiger Filteraustausch gewährleistet werden.

Ökologische Kriterien

Die Lebensdauer beträgt gemäß der Dauerhaftigkeit von technischen Anlagen im Durchschnitt 20 Jahre. Kontrollierte, maschinelle Lüftungssysteme sind in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung im energieeffizienten Bauen eine wichtige Maßnahme, um Heizungswärmeverluste zu minimieren. Für hocheffiziente Standards, wie dem Passivhausstandard, ist eine kontrollierte Lüftung zwingend erforderlich.

[23; 26; 210; 212]

Abb. 92: links: Lüftung über Dach, Mensa, Veranstaltungs- und Sporthalle, Buchhausen-Vilsen, (EK & P - Architektur, www.architekten-ekp.de, Foto: Gabriele Beuter-Kijewski)

Abb. 93: rechts: Holzfassade mit dezentralen Lüftungselementen des Woodcube-Gebäudes, IBA Hamburg; (Foto: F. Hassemmer)

3.4 Gesamtübersicht der effizienzfördernden und energiegewinnenden Gebäudehüllsysteme

Im Folgenden werden in einer Gesamtübersicht nochmals die vorgestellten effizienzfördernden und energiegewinnenden Gebäudehüllsysteme dargestellt. Nebeneinandergestellt sind die übergeordneten Kriterien und systemabhängigen Charakteristika zur vergleichenden Übersicht zusammengefasst. (siehe folgende Doppelseite)

Die hier beschriebenen Kriterien von Energieeffizienz- und Energiegewinnmaßnahmen wurden betrachtet, um diese im Folgenden mit einer Gebäudebegrünung zu überlagern. Dabei sollen unterstützende Wirkungen und Konkurrenzen herausgestellt und deren Einfluss in Bezug auf Energiemaßnahmen evaluiert werden.

Diese ist wie folgt gegliedert:

- Unter „Bedarfsdeckung“ wird anhand der Energiethemen Wärme, Kälte, Luft, Licht und Strom dargestellt, welcher Bedarf über die jeweilige Maßnahme gedeckt werden kann.
- Unter „Systemarten“ werden die verschiedenen Möglichkeiten der Systemausführung aufgelistet.
- Die „leistungsbestimmenden Kriterien“ setzen sich aus systemspezifischen Kriterien zusammen.
- Die „Allgemeinen Planungskriterien“ zeigen die Abhängigkeiten der Parameter Standort, Orientierung, Gebäudetypologie, Bauteilsubstitution, Flächenbedarf in der Gebäudehülle, Gestaltungsspielraum, Verschattung und Saison.
- Die „konstruktiven Kriterien“ sind abhängig von der Verortung am Gebäude (Dach / Fassade), der Bautechnik und der Gebäudebauweise (Massivbau, Leichtbau etc.).
- Die „wirtschaftlichen Kriterien“ betrachten die Investitionskosten und den Wartungs-/ bzw. Instandhaltungsaufwand.
- Die „ökologischen Kriterien“ berücksichtigen die Dauerhaftigkeit, die energetische Wirkung, den Primärenergieaufwand und den Rückbauaufwand einer Maßnahme.

Effizienzfördernde und energiegewinnende Gebäudehüllsysteme

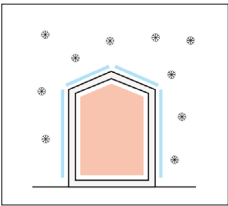
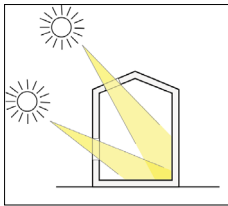
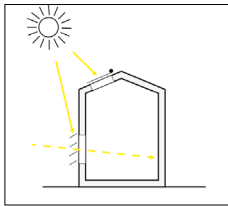
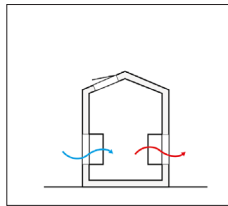


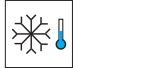
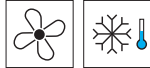

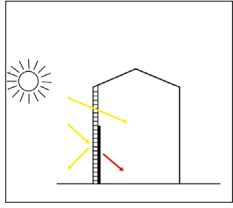
passive Systeme und Maßnahmen			
Wärmedämmung 	Öffnungen 	Sonnenschutz, außen 	natürliche Lüftung 
Bedarfsdeckung 			
Systemarten + an-/organische Verbundstoffe + Außendämmung (WDVS, VHF) + Kerndämmung + Innendämmung	+ Überkopf- u. Fassadenverglasungen + Fensteröffnungen + Glaselemente + Atrien + Oberlichter	+ Horizontal-Lamellen, fixiert/ beweglich + Vertikal-Lamellen, fixiert / beweglich + Rollläden, Jalousien, Markisen + Pergolen + ausragende Bauteile	+ Lüftung über Fenster + opake Lüftungsflügel + Lüftungsschlitze in Fensterrahmen + Nachtlüftung
Leistungsbestimmende Kriterien + Standort + U-Wert (Wärmedämmwert) des Dämmmaterials + Wärmespeicherkapazität	+ Standort + Orientierung + FFA Süd: 50%, Nord: 10% + Ost/West: 20%, Gesamt: 30% + Größen der Fenster + Rahmenanteil, Laibungstiefen + U-Werte, g-Werte + höhere Erträge im Oberlichtbereich + Nutzerverhalten	+ Standort + Orientierung + Öffnungsanteile + Süden: vorzugsweise feststehend horizontal + Osten / Westen: beweglich oder feststehend + Nutzerverhalten	+ Standort + Orientierung + Luftverunreinigung + Verschattung + Lärmbelastung + Windgeschwindigkeit + Lufttemperaturen
Allgemeine Planungskriterien			
Orientierung für alle Orientierungen gleiche Anforderungen	Orientierung bestimmt Fensterflächenanteil (FFA)	je nach Orientierung unterschiedliche Systeme einzusetzen	orientierungsunabhängig
Gebäudetypologie unterschiedliche Anforderungen für Wohn- und Nichtwohngebäude	alle Gebäudetypologien	alle Gebäudetypologien; hoher Bedarf bei Nichtwohngebäuden	alle Gebäudetypologien; i.d.R. Wohngebäude und Bestandsbauten
Flächenbedarf alle opaken Bauteile betreffend	30 - 60 % der Hüllfläche im Massivbau; im Leichtbau auch höher	in Abhängigkeit zu Fensterflächen	i.d.R. Fenster mit Öffnungsflügel; je nach Frischluftbedarf
Verschattungsempfindlichkeit bei gut gedämmter Wand hat Verschattung geringen Einfluss	Verschattung im Sommer erwünscht - im Winter vermeiden	in Abhängigkeit zu Fensterflächen	Verschattung im Sommer gewünscht, im Winter unerwünscht
Saison ganzjähriger Einfluss	solare Wärmegewinne: Winter und Übergangszeiten; Tageslichtnutzung ganzjährig	Sommer u. z.T. in Übergangszeiten; Blendschutz ganzjährig	ganzjährig; im Winter wärme Luft, im Sommer kältere Luft erwünscht
Konstruktive Kriterien			
VERORTUNG 			
BAUTECHNIK + Vermeidung Fugenbildung + Vermeidung Wärmebrücken	+ Vermeidung Fugenbildung	+ Gebäudeautomation + bauaufsichtlich relevant + teilw. extra statischer Nachweis + witterungsbeständig	+ i.d.R. Fensteröffnungen + Lüftungsklappen mit Insektengitter versehen + z.T. Automation
KONSTRUKTION			
Fassade + massive Wandaufbauten + Ständer- und Fachwerkbauweise + mehrschalige Wandaufbauten	Fassade + massive Wandaufbauten (un-/gedämmt) + Ständer- und Fachwerkbauweise (un-/gedämmt) + mehrschalige Wandaufbauten	Fassade + vor massive Wandaufbauten (un-/gedämmt) + vor Ständer- und Fachwerkbauweise (un-/gedämmt) + vor mehrschalige Wandaufbauten	Fassade + Fensteröffnungen + opake Öffnungsflügel + Lüftungsklappen + Lüftungsschlitze
Dach + Flachdach + Schrägdach	Dach + Flachdach (Oberlichter, Atrien) + Schrägdach (Dachflächenfenster, Atrien)	Dach + Flachdach (kein außen liegender Sonnenschutz üblich) + Schrägdach (Rollläden) + Überkopfverglasungen (bedrucktes Glas)	Dach + Fensteröffnungen + opake Öffnungsflügel + Lüftungsklappen + Lüftungsschlitze
Wirtschaftliche Kriterien			
Bauteilsubstitution: Sowieso-Bauteile	Bauteilsubstitution: Sowieso-Bauteile	überwiegend additive Bauteile, teilweise Sowieso-Bauteile (Balkone)	Sowieso-Bauteile
Investitionskosten je nach System gering bis hoch	Investitionskosten je nach System und Entwurf gering bis hoch	additive Bauteile - Investitionsmehraufwand gering bis hoch	Kosten je nach System gering bis hoch
mittlerer - hoher Wartungs-/ Rückbauaufwand (Element oder Verbundsystem)	je nach Lage mittlerer - hoher Wartungs-, geringer Rückbauaufwand	i.d.R. geringer Wartungs-/ Rückbauaufwand, da additives System	geringer bis mittlerer Wartungs-/ Rückbauaufwand (je nach System)
Ökologische Kriterien			
mittlere - hohe Lebensdauer > 30 Jahre	mittlere - hohe Lebensdauer 25 - 40 Jahre	geringe - hohe Lebensdauer 15-60 Jahre	mittlere - hohe Lebensdauer > 30 Jahre
Einsparung Heizwärme, (Kühlbedarfsreduktion)	Einsparung Heizwärme, (Kühlbedarfsreduktion)	hohe Kühlbedarfsreduzierung möglich	Frischluftbeitrag; Wärmeverlust möglich; Nachtspülung unterstützt Kühlbedarf
Primärenergieaufwand gering - hoch je nach Material (Element oder Verbundsystem)	Primärenergieaufwand hoch - sehr hoch	Primärenergieaufwand gering - hoch je nach Material (Holz oder Aluminium etc.)	Primärenergieaufwand mittel - hoch je nach Material

Abb. 94: Übersicht effizienzfördernder und energiegewinnender Gebäudehüllsysteme (TU Darmstadt, FGee)

teilaktive Systeme

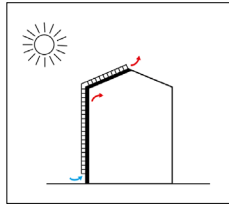
TWD-Systeme



- + TWD-Elementfassade, konvекtives System (vorgehängt / Pfosten-Riegel)
- + TWD vor Massivwand
- + Hybridsystem (gekoppelt an Speicher)
- + Isolierglassysteme (Direktgewinnsystem)

- + Standort (höhere Einstrahlung und bessere Wirkung in südlichen Zonen)
- + Orientierung
- + Wirkungssteigerung durch dunkle Schicht auf Innenseite
- + ohne dunkle Schicht Nutzung der Lichtdurchlässigkeit des Materials
- + U-Werte Gesamtsystem
- + Verschattung

Luftkollektoren

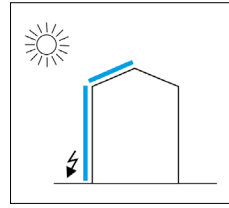


- + Luftkollektor zur Direkterwärmung
- + LK mit Wärmetauscher und Speichermedium > verzögerte Wärmeübergabe
- + LK-Fassade als Lüftungssystem
- + LK mit Absorptionskältemaschine zur Kühlung

- + Standort (höhere Einstrahlung und bessere Wirkung in südlichen Zonen)
- + Orientierung
- + bei Luftkollektorfassade thermischen Auftrieb einplanen
- + U-Wert Gesamtsystem
- + Verschattung

aktive Systeme und Maßnahmen

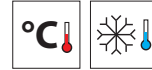
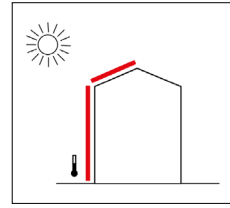
Photovoltaik - Systeme



- Differenzierung in Zellarten:
 - + Mono-, polykristalline Module
 - + Dünnschichtmodule (a-Si, CIS, CdTe)
- Differenzierung in Modultypen:
 - + Glas-Glas-Module
 - + Kunststoffmembrane

- + Standort (höhere Einstrahlung und bessere Wirkung in südlichen Zonen)
- + Orientierung und Neigung (ideal 30°)
- + Verschattung
- + hohe Modultemperaturen wirken leistungsmindernd (i.d.R. Kühlung durch Hinterlüftung; aktiv durch Wasser)
- + Verschmutzung
- + Widerstände (Leitungen, Wechselrichter etc.)

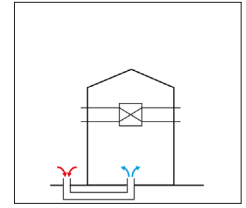
Solarthermie - Systeme



- Solarthermie:
 - + Schwimmbad-Absorber
 - + Flachkollektoren
 - + Vakuum-Röhren-Kollektoren

- + Standort (höhere Einstrahlung und bessere Wirkung in südlichen Zonen)
- + Orientierung und Neigung (je nach Bedarfsauslegung)
- + Lufttemperatur
- + Verschattung
- + Verschmutzung (gering)
- + Leitungs- und Speicherverluste

Kontrollierte Lüftung



- + Zu- und Abluftsysteme
- + de-/ zentrale Gebäudelüftung
- + Kopplung der Lüftung an Erdkanäle
- + Kopplung mit Wärmerückgewinnung und Heizregistern für die Konditionierung der Raumluft (Heizen + Kühlen)

- + Vorkonditionierung (Wärme im Winter, Kühle im Sommer z.B. durch Erdkanal oder adiabater Kühlung durch Luftansaugung über Grün oder Wasser)
- + bei Luftansaugung Vermeidung von Verunreinigung (Stäube, Bakterien), Wärme, Gerüche, Abgase, Kleinstiere
- + Luftgeschwindigkeit (Luftstrom)

insbesondere für Südorientierungen geeignet, geringere Wirkungsgrade aber auch in anderen Orientierungen erzielbar

unabhängig - System-Dimensionierungen anzupassen

vollflächig in der (Süd-) Fassade - hoher Flächenbedarf

einzelne Paneele bis vollflächig in Fassade und Dach - hoher Flächenbedarf

bedarfsunabhängig; Ziel **meist vollflächige** Belegung solaraktiv nutzbarer Flächen

überwiegend Wohnungsbau; für Sorbtionskühlung auch bei Nicht-Wohnung

bedarfsabhängig; Deckung TWW: **1-2m²/Pers.**; Heizwärme: **0,1-0,5m²/m² Wfl.**

alle Orientierungen möglich; bei Kühlung Ansaugen an Südfassade vermeiden

alle Gebäudetypologien

i.d.R. geringer Flächenbedarf

Verschattung im Sommer erwünscht - im Winter vermeiden

sehr hohe Verschattungsempfindlichkeit; bei kristallinen- höher als bei Dünnschicht

Verschattungen sind zu vermeiden, keine überproportionalen Leistungsverluste

i.d.R. **unabhängig**; bei Konditionierung der Raumluft im Sommer erwünscht

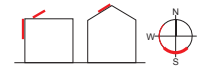
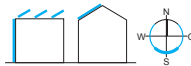
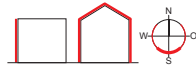
Dämmwirkung: Winter und Übergangszeiten

Wärmenutzung im Sommer und Übergangszeiten; Kühlung im Sommer

Sommer und Übergangszeiten; im Winter Leistung gering

WW ganzjährig; Heizungsunterstützung haupts. Übergangszeit, Winter gering

Frischluftbedarf ganzjährig; im Sommer Kühleffekt, im Winter Wärmeeffekt



- + Vermeidung Fugenbildung
- + Vermeidung Wärmebrückenbildung
- + bauaufsichtlich relevant

- + thermischer Auftrieb > ggf. mechanische Unterstützung notwendig
- + Anbindung an zentrales Haustechniksystem mit Wärmeübergabe
- + bauaufsichtlich relevant (Brandschutz) Wärmebrücken vermeiden

- + Stromleitungen in Dach und Fassade
- + zentrale o. dezentrale Wechselrichter
- + i.d.R. Netzanschluss
- + i.d.R. Anbringung über Unterkonstruktionen
- + selten Stromspeicher

- + für längere Bereitstellung von Heizwärme auch 90°-Neigungen geeignet (sammeln der Wintersonne)
- + Leitungsführungen mit Wasser oder Sole

- + Luftansaugung sollte möglichst staubfrei erfolgen
- + zentral/ dezentral
- + Zuluft ist 60 cm über Dach zu führen; im Gelände min. 3 m über Gelände
- + Konditionierung der Außenluft über adiabate Kühlung/Erdkanal möglich

Fassade

- + vor massiven Wandaufbauten als Element- oder Verbundsystem
- + **Ständerbauweisen** / Pfosten-Riegel-Element System (lichtdurchlässig!)
- + **mehrschalige** Wandaufbauten

Fassade

- + vor massiven Wandaufbauten als Elementsystem
- + **Ständerbauweisen** / Pfosten-Riegel-Element
- + **mehrschalige** Wandaufbauten
- Dach**
- + Schrägdach (Aufbauten entsprechend Fassade)

Fassade

- + vorgehängt, hinterlüftet vor massiven oder Ständerbauweisen (Pfosten-Riegel)
- + Sonnenschutz

Dach

- + Flachdach: aufgeständert, flächig aufgelegt, Oberlicht-Integration, Dachbahnen
- + Schrägdach: Schindelprinzip, flächige Verlegung, Dichtung der Fugen, Oberlichtintegration, Dachbahnen

Fassade

- + vorgehängt, hinterlüftet vor massiven oder Ständerbauweisen
- + Sandwichelement ohne Hinterlüftung

Dach

- + Flachdach: aufgeständert
- + Schrägdach: flächig aufgelegt

Fassade

- + dezentrale Systeme:
- + Ventilatoren in der Fassade

Dach

- + Lüftungsführung über Dach

flächige Substitution (nur Dämmschicht oder gesamter Wandaufbau)

Bauteilsubstitution - Mehraufwand **mittel**

je nach System **geringer bis mittlerer** Wartungsaufwand; i.d.R. gut rückbaubar (ebenfalls systemabhängig / Element- oder Verbundsystem)

je nach Wand- oder Dachaufbau Integration möglich / Ersatz Warmfassade oder vorgehängter Verkleidung, Ersatz Verschattungssystem, Glaselemente, Sichtschutzelemente

hoch - sehr hoch je nach Integration; Anrechnung von Bauteilsubstitution

Wartungsintervalle von 1/2 bis 3 Jahre durch Fachkräfte; i.d.R. gut rückbaubar

mittel je nach Integration; Anrechnung von Bauteilsubstitution

mittlerer Wartungsaufwand; ohne Verkleidungen i.d.R. gut rückbaubar

keine Substitution von Bauteilen; Integration von dezentralen Lüftungssystemen

niedrig bis hoch, je nach System und Menge

Wartungen von Filtern; i.d.R. gut rückbaubar

mittlere Lebensdauer 25 Jahre

mittlere Lebensdauer 25 bis 40 Jahre

mittlere Lebensdauer bis 30 Jahre (solaraktiv); danach Bauteilübernahme

mittlere Lebensdauer bis 30 Jahre (solaraktiv); danach Bauteilübernahme

mittlere Lebensdauer ~20 Jahre für Gebäudetechnik

mittlere Bedarfsreduzierung

mittlere - hohe Bedarfsreduzierung

mittel - hoch; regenerative Stromerzeugung je nach Zelle, Einbaart und Standort

Erzeugung von WW und Heizwärme (anteilige, saisonal abhängige Deckung)

Frischluftversorgung; Konditionierung der Raumluft (Heizen, Kühlen)

Primärenergieaufwand **gering - hoch** je nach System (Verbund- oder Element)

Primärenergieaufwand **gering - mittel** je nach System

sehr hoher PE-Aufwand; Amortisation durch Energieerzeugung über Lebenszyklus

mittlerer PE-Aufwand; Amortisation durch Energieerzeugung über Lebenszyklus

stark systemabhängig

04

Gebäudebegrünung und Energie

- Wirkung auf das Gebäude

4. Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

Gebäudebegrünung ist nicht nur „öko“, sondern kann in den heutigen klimapolitischen Diskussionen einen wichtigen Beitrag zur energieeffizienten und nachhaltigen Gebäudeplanung leisten. Die Realisierung von Gebäudebegrünung kann dabei in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der energetischen Optimierung eines Gebäudes stehen.

Die Potenziale der Gebäudebegrünung sind bekannt. Ihr werden Wirkungen im Bereich der Kühlung, der Verschattung, der Dämmung, des Bautenschutzes bis hin zu CO₂-Speicherung und Feinstaubbindung zugeschrieben [2; 4; 32; 34; 36; 39; 55; 59; 71; 81]. Die Wirkungen werden jedoch in der Regel nicht auf ihre konkrete systemunterstützende Leistung untersucht und eingesetzt. Um die energetischen Optimierungspotenziale von Gebäudebegrünung zu konkretisieren, werden in dem folgenden Kapitel deren Wirkung auf die zuvor untersuchten Energiesysteme bezogen und Planungshinweise abgeleitet. Zusätzlich zu den

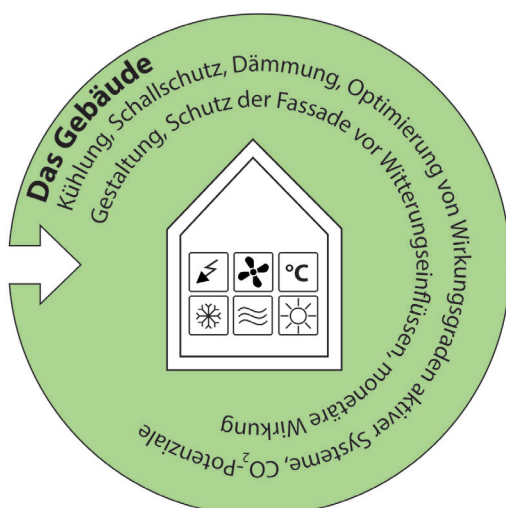
zuvor beschriebenen Systemen werden die Biomasse, die Regenwasserbewirtschaftung, adiabate Kühlung sowie das Thema Ökobilanz und Lebenszykluskosten mit betrachtet.

Es wird geprüft, bei welchen Systemen die Gebäudebegrünung die energiegewinnenden bzw.-einsparenden Systeme substituiert, unterstützt oder ob sie eine Konkurrenz bildet. Um die Einflüsse zu quantifizieren oder Aussagen zu belegen, werden zu den einzelnen Themen Untersuchungen aus Industrie und Forschung zitiert und kommentiert.

Einzelne Dopplungen zu den Kapiteln 2 und 3 sind beabsichtigt, damit das Kapitel 4 auch bei einer separaten Betrachtung verständlich ist.

Begonnen wird die Betrachtung auf der Gebäudeebene. In den folgenden Kapiteln wird der Einfluss zudem auf das Gebäudeumfeld bis hin in den Stadt- raum erweitert.

Neben dem energetischen Einfluss ist die Aufwertung des Erscheinungsbildes eines Gebäudes ein wichtiger Effekt. Das Gestaltungspotential wird in diesem Kapitel nicht mitbetrachtet, es bezieht sich allein auf den energetischen Einfluss. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Gestaltungskriterien neben denen der Energie immer in der Planung mit zu denken sind. Sie stellen ebenfalls wichtige Kriterien für das Wohlbefinden und somit der Nachhaltigkeit dar.



4.1 Historie

Die klimatischen Bedingungen eines Ortes zählen zu den offensichtlichen, äußeren Rahmenbedingungen, die die Entwicklung des Entwurfs und damit auch die konkrete Planung eines Gebäude- (Energie-) Konzeptes beeinflussen. Maßgebend sind dafür mehrere unterschiedlich starke Faktoren, die sich auf die Bedürfnisse der verschiedenen Nutzer auswirken: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlag, Bedeckungsgrad und Sonnenscheindauer [26]. Als Vorbild für heutige Maßnahmen zum energieeffizienten Bauen und der Gebäudebegrünung dienen historische Gebäude, die aus ihren ortsspezifischen Klimateinflüssen entstanden sind oder markante Merkmale einer Anpassung an die gegebene Witterung aufzeigen.

Wesentlich sind bauliche Maßnahmen, die sich in den unterschiedlichen Dachformen und -überständen, den

Konstruktionsweisen aber auch Grundrisszonierungen widerspiegeln.

Bereits in alten Schriften werden die Vorteile einer Anwendung der Gebäudebegrünung dargestellt. Häufigstes Argument für eine Begrünung waren der Bauteilschutz (Trockenhaltung des Mauerwerks, Schutz gegen zu hohe Wärmeaufnahme durch Sonnenstrahlung, Schutz der Bausubstanz gegen Verwitterung und Auswaschungen) [172; 173; 174]. Weitere wirtschaftliche Gründe waren die Dämmung [175; 174], die Einsparung von Fassadenkosten des Steinmetzes [173] und die Möglichkeit zur Energieeinsparung [176]. Neben der Zierde des Hauses bewirkte die Begrünung „sozialintegrative und gesellschaftsstabilisierende“ Effekte [177] sowie einen einfachen Insektenschutz (u.a. Pelargonium - Ursprung der „Geranien“ am Schwarzwaldhaus). [182]

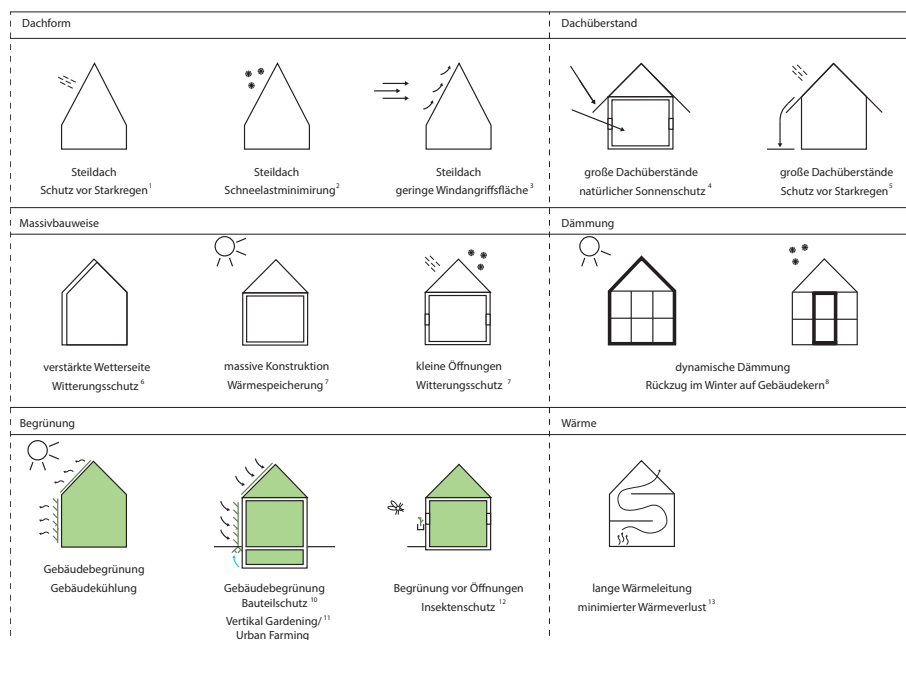
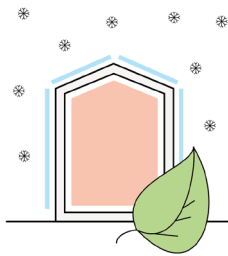


Abb. 95: Schematische Darstellung von traditionellen Energie- und Begrünungsmaßnahmen in gemäßigten Klimazonen (z. B. Deutschland): immerfeuchtes Klima, Monatsmitteltemperatur von 0 bis 25 °C, geringe Temperaturschwankungen. (TU Darmstadt, FGee/FGef, nach: 1-2,4-8 [26, S.26]; 3 [72, S.63 ff.]; 3,13 [27, S.48 ff.]



Bedarfsdeckung



Synergie

- dämmende bzw. puffernde Wirkung
- Abminderung des Wärmedurchgangs
- Beitrag zum sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz

Energetisches Potenzial

- Erhöhung der Dämmwirkung im Dach (3 - 10 %) durch 10 - 15 cm extensive Dachbegrünung [157]
 - positiver Effekt in der Fassade
- Dämmende Wirkung ist abhängig von:
- Bewuchsdicke und -dichte
 - Substratschicht,
 - Durchfeuchtung
 - vorhandenem Dämmstandard

Begrünungssysteme

- dichte Fassadenbegrünung mit hoher Blattmasse
- Dachbegrünung mit möglichst hohem Substrataufbau (extensiv, intensiv)
- möglichst immergrün

Fehlervermeidung

- aufgrund wechselnder Feuchte für Wärmeschutznachweis nicht anrechenbar
- Wärmebrücken durch UK vermeiden
- Selbstklimmer auf WDVS meist nicht anwendbar

Flächen und Orientierung

- opake Flächen betreffend
- orientierungsunabhängig



- Energiesystem
- Kombination mit Gebäudebegrünung

4.2 Passive Systeme und Maßnahmen

4.2.1 Wärmedämmung und Gebäudebegrünung

Synergie

Die Dämmung ist wärme- und kältebewahrend. Gerade bei immer dicker werdenden Hüllaufbauten sind Synergieeffekte erwünscht. Die Gebäudebegrünung besitzt solche Synergieeffekte. Sie übernimmt nicht nur die Funktion der wasserführenden Schicht oder der Gestaltung, sondern trägt auch dazu bei, den Wärmeverlust zu mindern [37].

Der Wärmeverlust über ein Bauteil ist abhängig vom Temperaturgefälle zwischen innen und außen sowie dem Wärmedurchlasswiderstand der verschiedenen Bauteilschichten. Die Gebäudebegrünung kann beide Eigenschaften verbessern. Eine dämmende bzw. puffernde Wirkung kommt durch eine zusätzliche beruhigte Luftschicht (Schutz vor Auskühlung durch Wind und Feuchte) bzw. durch den Substrataufbau zustande, der auch den Wärmedurchgang mindert. Allgemein besitzt Gebäudebegrünung darüber hinaus eine temperatenausgleichende Wirkung.

Wirkung

Die dämmende Wirkung wurde bereits in verschiedenen Temperatur- und Wärmedurchgangsmessungen quantifiziert. In Bezug auf den winterlichen Wärmeschutz ergab die Messung einer Fassadenbegrünung mit Efeu beispielsweise einen Temperaturunterschied zwischen Außenblättern und Wandoberfläche von 3 °C [4; 37]. Bei einer wandgebundenen Fassadenbegrünung mit linearen Pflanzgefäßen des Magistratgebäudes in Wien (MA 48) (siehe Abb. 97, ① und Abb. 100, links) konnte im Winter hinter dem System eine bis zu 7 °C höhere Temperatur gemessen werden [171]. Die höheren Temperaturen sind mit dem Schutz vor Wind zu erklären. Wandgebundene Systeme besitzen eine zusätzli-

che Substratschicht, die als Widerstand wirkt, sind jedoch i.d.R. vorgehängt, hinterlüftet. Punktuelle Wärmebrücken über die Unterkonstruktion sind zudem zu berücksichtigen. Dennoch bilden sie eine Art „Puffer“ aus, dessen Wirkung einen positiven Einfluss auf die Dämmung besitzen kann. Bei einer ungedämmten Fassade des benannten MA48 konnte der Wärmefluss beispielweise um die Hälfte reduziert werden [171] (siehe auch S. 107 „Forschung und Beispielprojekte“, Abb. 101,102). Bei einer gedämmten Fassade ist der Einfluss gering.

Im Gegensatz zu der Fassade besitzen Dachbegrünungen in der Regel einen Substrataufbau, der zur zusätzlichen Minderung von Wärmeverlusten beitragen kann. Über Messungen der Wärmeleitfähigkeit konnten an der Hochschule Neubrandenburg Wärmedurchlasswiderstände (R) verschiedener extensiver Gründachaufbauten ermittelt werden. Bei einem 10 cm starken Substrat erreicht ein extensiv begrüntes Dach, je nach Substratart, einen zusätzlichen R-Wert von 0,14 bis 0,40 m²K/W unter maximaler Wassersättigung. Dies entspricht ca. 6 mm bis 16 mm einer konventionellen Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) 040. [157] Im Vergleich zu einem bekieschten Dachaufbau konnte hier für extensive Dachbegrünungen mit einer Aufbauhöhe von 10 - 15 cm ein 3 - 10 % geringerer Wärmeverlust im Winter bestimmt werden [156; 157]. Da typischerweise 15 - 20 % der Wärmeverluste über das Dach erfolgen, ist ein zusätzlicher Dämmeffekt hier besonders positiv [78].

Wenn auch der Dämmeffekt im Vergleich zu modernen Dämmsystemen nicht zu überschätzen ist, kann der



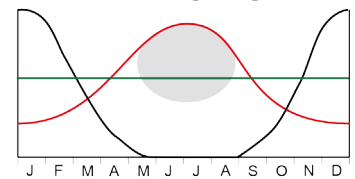
Gebäudebegrünung eine positive Wirkung zugeschrieben werden. Insbesondere extensive und intensive Dachaufbauten besitzen im Vergleich zu Standardüberdachungen eine bessere thermische Leistung.

Der Einfluss auf die Dämmwirkung ist sowohl für das Dach- als auch für die Fassadenbegrünung stark systemgebunden und u.a. von der Dicke und der Dichte des Bewuchses, der Substratschicht, der Durchfeuchtung und dem bereits vorherrschenden Dämmstandard abhängig [37]. Der variable Vegetationseinsatz und die unterschiedliche Durchfeuchtung des Substrats führen zu variablen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten), so dass Gebäudebegrünungen auf dem Dach und an der Fassade bisher in Wärmeschutzbetrachtungen keine Berücksichtigung finden. So sind für die Erfüllung der EnEV die erforderlichen Dämmstärken unter der Begrünung vorzusehen [78]. Von Herstellern werden bereits Begrünungssysteme in Kombination mit Wärmedämmung (sog. Thermodächer) für Dachbegrünungen angeboten. Bei diesen übernimmt die Dämmung über deren

Form gleichzeitig die Drainagefunktion. Für den Sanierungsfall bieten sie eine Vereinfachung der Installation und den nachweisfähigen Beitrag gemäß EnEV. [170; 78]

Allgemein trägt Gebäudebegrünung zur Abminderung von Temperatur-extremen bei. So besitzen Bauwerksbegrünungen eine ausgeglichene Temperaturamplitude in Bezug auf die vorherrschende Außentemperatur. Im Einsatz als Bauteilschicht ergibt eine Dachbegrünung, z.B. im Vergleich zu einem Bitumendach, eine geringere Tag-Nacht-Differenz. Dies ist vor allem dem sommerlichen Wärmeschutz zuträglich, dem durch die Forschung im Vergleich zum winterlichen Wärmeschutz eine größere Wirkung zugeschrieben wird [157]. Im Sommer heizt sich das Dach am Tag weniger auf und weist für die Nachtstunden eine geringere Auskühlung auf. So zeigt sich in einer Messung der Ufa-Fabrik in Berlin Tempelhof eine Temperaturamplitude von 50 K eines Bitumendaches im Vergleich zu 10 K einer Dachbegrünung [78] (siehe Abb. 154, Kap. 4.7). Messergebnisse der Hochschule Neubrandenburg zeigen,

Saisonale Überlagerung



Heizenergiebedarf

Solarstrahlung

Kühlbedarf

Gebäudebegrünung (Immergrün)

Abb. 96: Qualitative Darstellung des Heizwärme- und Kühlbedarfs aufgrund sommerlicher, solarer Lasten, in Überlagerung mit dem Wirkungszeitraum von Immergrünen Pflanzen. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

Abb. 97: ① Wandgebundene Fassadenbegrünung mit linearen Pflanzelementen; ② Bodengebundene Fassadenbegrünung; ③ Intensive / extensive Dachbegrünung mit und ohne Drainage. (© Nicole Pfoser, 2013) Darstellung der Unterstützung des Dämmeffekts unter Darstellung der Einflussfaktoren:

- vorhandene Dämmstärke
- beruhigte Luftschicht
- Volumen / Blattmasse
- Substratschicht des Dachaufbaus (Höhe, Material, Wassersättigung bzw. Luftschicht bei Drainage)
- Dimensionierung von Halterungen in der Fassade (Pflanzengewicht/ Wärmebrücke)

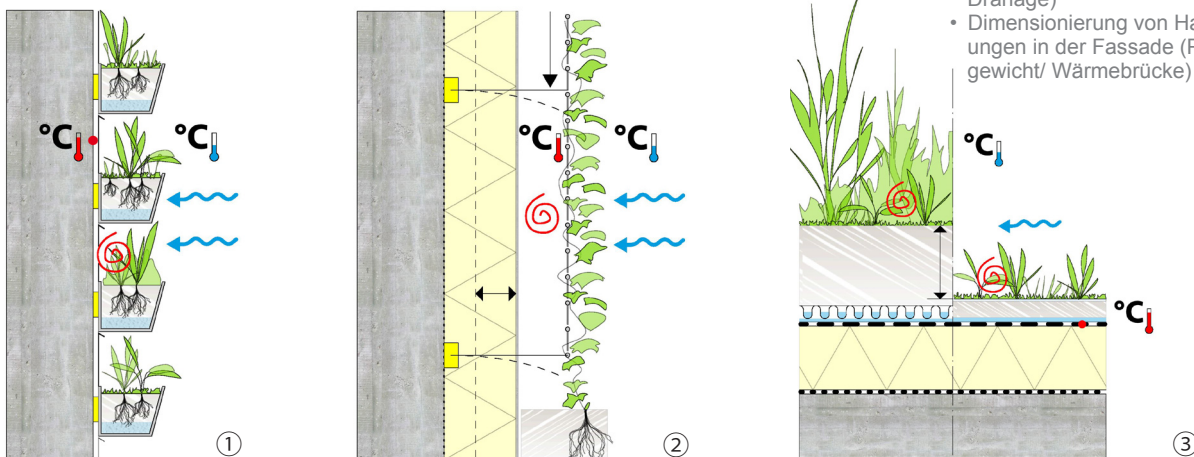


Abb. 98: unten rechts: Messungen des Wärmedurchgangs verschiedener extensiver und intensiver Gründachaufbauten im Vergleich zu einem Kies-, Bitumen-, und Blechdach im Februar 2011. Der Wärmedurchgang ist durch die Dachbegrünung im Vergleich zu den konventionellen Dachaufbauten deutlich reduziert. Messung und Auswertung wurden durch das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien vorgenommen. (Scharf, B./Pitha, U./Trimmel, H. (2012))

Abb. 99: unten links: Testfeld verschiedener Dachbegrünungen und konventioneller Dachaufbauten des Forschungsvorhabens GrünStadtKlima in Wien, (Scharf, B./Pitha, U./Trimmel, H. (2012))



- A - extensives Gründach
- B - extensives Gründach
- C - extensives Gründach
- D - intensives Gründach
- E - Kiesdach
- F - Bitumendach
- G - Blechverkleidetes Dach

dass sich an einem strahlungsreichen Sommertag unter einer extensiven Dachbegrünung (10 - 15 cm Substrataufbau), je nach Substrathöhe, eine 30 - 60 %ige Verringerung des Wärmeeintrages gegenüber einem Kiesdach einstellt. So kann die Senkungen von Extremtemperaturen der Dachoberfläche, darunter zu angenehmer temperierten Räumen führen. Im Fall einer stromgeführten Klimatisierung stellt dies einen direkten wirtschaftlichen Vorteil dar. [157]

Saisonale Abhängigkeit

Der Wärmebedarf fällt in der gemäßigten Klimazone vor allem in den Wintermonaten an. In den Sommermonaten ist hingegen eine Kältebewahrung bzw. Verhinderung des übermäßigen Aufheizens des Gebäudes erwünscht. Die Dämmung muss demnach ganzjährig wirken - so auch die Gebäudebegrünung. Aus diesem Grund sind vor allem immergrüne Pflanzen geeignet.

Konstruktion und Begrünungssystem

Fassade

In der Fassade können sowohl bodengebundenen Begrünungssystemen

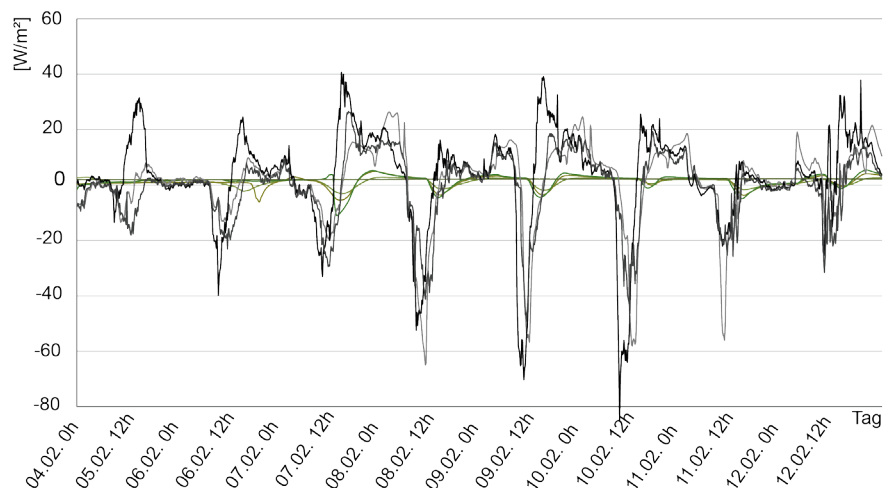
(Selbstklimmer/Gerüstkletterpflanzen) wie auch fassadengebundenen Begrünungssystemen (modular/flächig) eine puffernde Wirkung über die Luftschicht zugeschrieben werden. Dies ist auf Pflanzen zu beziehen, welche eine nahezu geschlossene Fläche erzeugen. Ein weiterer Faktor ist der Abstand zu der Fassade. Je größer er ist, umso stärker ist die Luftbewegung und ein damit bedingter Abtransport der Wärme.

Dach

Bei Dachbegrünungen können sowohl Intensivbegrünungen als auch Extensivbegrünungen, je nach Substrataufbau und Bewässerung eine dämmende Wirkung erzielen. Retentionsdächern mit gefluteten Flächen ist ein dämmender Effekt abzuspüren, wohingegen ein Kühleffekt über Verdunstungskälte erreicht wird (siehe Kap. 4.2.4. Adiabate Kühlung und Kap. 4.5 Regenwassernutzung).

Fehlervermeidung

Boden- und fassadengebundene Gebäudebegrünungen werden in der Regel über Unterkonstruktionen an



Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

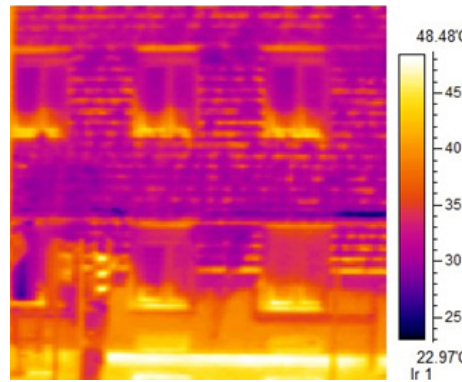


Abb. 100: links: begrünte Fassade des Magistrats der Stadt Wien im August 2011; rechts: Thermografieaufnahme der IBLB der z.T. verputzten Sockelzone und der Begrünungszone im 1.OG. Die Abminderung der Oberflächentemperatur über die begrünte Fassade wird über die violetten Töne erkennbar (sommerlicher Wärmeschutz). (siehe auch Kap.8.1.2, Beispielprojekte) (Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012))

der Fassade befestigt, die selbstklimmenden Pflanzen ausgenommen. Diese Unterkonstruktionen durchstoßen die Dämmebene und können Wärmebrücken bilden. Je höher der Dämmstandard, umso höher ist der Einfluss der Wärmebrücke auf den Heizwärmebedarf. Daher sollten diese Punkte immer sorgfältig geplant werden. Um Wärmebrücken zu vermeiden, können u.a. thermische Trennungen zwischen Verankerung der Unterkonstruktion und Wand vorgesehen werden [68]. Die vielfach eingesetzten WDV-Systeme werden mit einem äußeren dünnen Spachtelputz auf einem Kunststoff-Trägernetz ausgeführt. Diese Bauweise ergibt eine mechanisch verletzliche Gebäude-Außenhaut. Zudem werden Spachtelputz und Anstrich häufig mit Bioziden versehen, um eine Algen- oder Sporenbildung zu vermeiden. Eine Direktbegrünung verbietet sich daher bei dieser Bauweise aufgrund der mechanischen Belastung der Dämmschicht sowie der chemischen Belastung der Pflanzen [65]. [182]

Forschung und Beispielprojekte

Im Rahmen des Forschungsvorhabens



GrünStadtKlima des Österreichischen Verbands für Bauwerksbegrünung hat das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) der Universität für Bodenkultur Wien in verschiedenen Versuchsaufbauten von Dachbegrünungen u.a. den Wärmedurchgang im Vergleich zu einem kiesbewehrten bzw. mit Bitumen oder mit Blech gedeckten Dach untersucht. Die Messungen des Wärmedurchgangs (W/m^2) ergaben einen hohen puffernden Einfluss der Dachbegrünung (siehe Abb.98, 99). [156]

Neben den Messungen von Dachbegrünungen hat das Institut zudem in einem Monitoring die Wärmedämmeigenschaften der wandgebundenen Fassadenbegrünung des Magistrats der Stadt Wien (MA48) untersucht. Hier wurde der Altbau mit einer neuen „grünen“ Fassade versehen. Der Wärmedurchgang der sonst ungedämmten Wand wurde durch die wandgebundenen Begrünungselemente deutlich reduziert. Im Vergleich zu der bloßen Putzfassade wird dies deutlich (siehe Abb.101, 102).

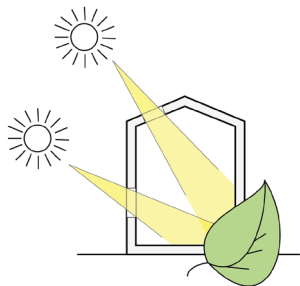
Der winterliche Wärmeverlust konnte hier um ca. 50 % verringert werden. [171]

Abb. 101: unten links: Messungen des Wärmedurchgangs an der Fassade des Magistrats der Stadt Wien (MA48) durch die IBLB im März 2011: Vergleich des Wärmedurchgangs an Putzflächen zu Messungen hinter den linearen, wandgebundenen Begrünungselementen. Negative Werte zeigen einen Wärmefluss in das Gebäude, positive Werte einen Wärmeverlust an. Eine deutliche Reduktion des Wärmedurchgangs wird ersichtlich. (Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012))

Abb. 102: unten rechts: Wandgebundene lineare Fassadenbegrünung, MA 48 (Nicole Pfoser 2012)



— Wärmedurchgang hinter den Grünelementen
— Wärmedurchgang Putzfassade
— Außentemperatur



Bedarfsdeckung



Konkurrenz

- im Winter keine Verschattung vor Fensteröffnungen erwünscht

Energetische Beeinflussung

- Verschattung trägt in der Heizperiode zur Reduktion solarer Wärmegevinne bei

Begrünungssysteme

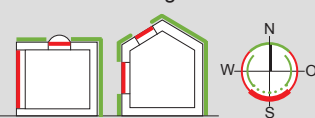
- hauptsächlich Fassadenbegrünung betreffend:
- Sommergrün (vor Öffnungen)
- Freihalten der Öffnungen von immergrünen Pflanzen

Fehlervermeidung

- Konstruktive Begrenzungen für die Begrünung
- Ausreichend Grünpflege

Flächen und Orientierung

- hauptsächlich südorientierte Fensterflächen zur Nutzung solarer Wärmegevinne



- Energiesystem
- Kombination mit Gebäudebegrünung

4.2.2 Öffnungen: Solare Gewinne und Gebäudebegrünung

Über Fensterflächen werden solare Wärmegevinne für die Raumkonditionierung genutzt. Sie werden nach Orientierung unterschiedlich gewichtet. Der größte Fensterflächenanteil wird bei Gebäuden mit einem hohen Nutzungsanteil solarer Gewinne, wie dem Passivhaus, nach Süden orientiert. Nach Norden werden Fensterflächenanteile zur Vorbeugung des Wärmeverlustes minimiert.

Saisonale Abhängigkeit

Die solaren Wärmegevinne werden in der Regel in den Winter- und Übergangsmonaten genutzt. Da in diesen Monaten die Solarstrahlung vermindert ist, sind Verschattungen der Fensterflächen (Ausnahme innenliegender Blendenschutz) zu vermeiden.

Konkurrenz

Da die Gebäudebegrünung in der Regel einen verschattenden Effekt besitzt, sind in den Winter- und frühen Übergangszeiten Fensterflächen frei bzw. anteilig frei zu halten. Dies ist zum Beispiel mit sommergrünen Pflanzen zu realisieren.

Konstruktion und Begrünungssysteme

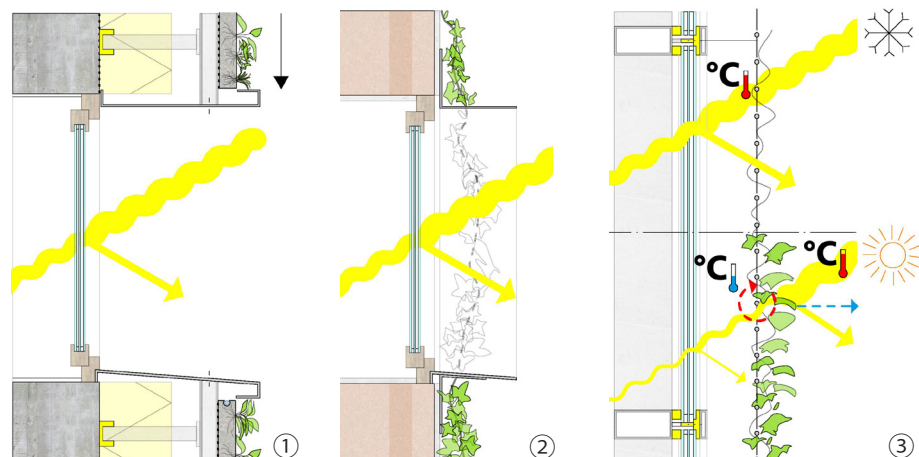
Was im Winter nicht erwünscht ist, dessen bedarf es im Sommer: Verschattung der Öffnungen, um Überhitzung zu vermeiden. Daher sind sommergrüne (z. B. Gerüstkletter-) Pflanzen vor den Öffnungsanteilen gut geeignet. Konstruktion und das Pflanzenskelett müssen jedoch in der Heizperiode einen ausreichenden Eintrag an Solarstrahlung gewährleisten.

Da der größte Fensterflächenanteil für solare Wärmegevinne nach Süden orientiert ist, können für die immergrüne Gebäudebegrünung die größeren opaken Fassadenflächen gegen Osten, Westen und Norden bzw. die Dachfläche vorgesehen werden.

Fehlervermeidung

Um das Zuwachsen von Fassadenöffnungen durch immergrüne Pflanzen wie z. B. Efeu zu vermeiden, ist eine ausreichende Pflege der Pflanzen erforderlich. Konstruktive Wuchsbegrenzungen um Öffnungsbereiche können diesen Pflegeaufwand erleichtern (Abb.103, ②) [182].

Abb. 103: Öffnungsbereiche und Gebäudebegrünung unter Berücksichtigung solarer Wärmegevinne: Konstruktive Begrenzungen von wand- ① und bodengebundenen ② Begrünungen an Fensterleibungen; Einsatz sommergrüner Pflanzen ③ (Nicole Pfoser, 2013)



4.2.3 Sonnenschutz und Gebäudebegrünung

Um eine Überhitzung von Gebäuden durch Solarstrahlung zu vermeiden, ist der außenliegende konstruktive Sonnenschutz ein bewährtes Mittel. Aufgrund ihrer hohen internen Wärmequellen und zumeist großen Fensterflächenanteile ist der Schutz vor Überwärmung durch außenliegenden Sonnenschutz vor allem bei Nichtwohngebäuden wie Bürobauten erforderlich. Je nach Orientierung der Fensterflächen sind unterschiedliche Sonnenschutzsysteme geeignet. In Südorientierungen können feststehende, horizontale Vorbauten die steil stehende Sommersonne, bei gleichzeitiger Gewährleistung des Ausblicks, abhalten. In Ost- und Westorientierungen sind vertikale Sonnenschutzsysteme bzw. nachführbare Sonnenschutzsysteme geeignet.

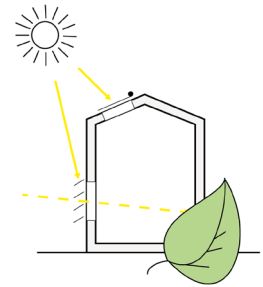
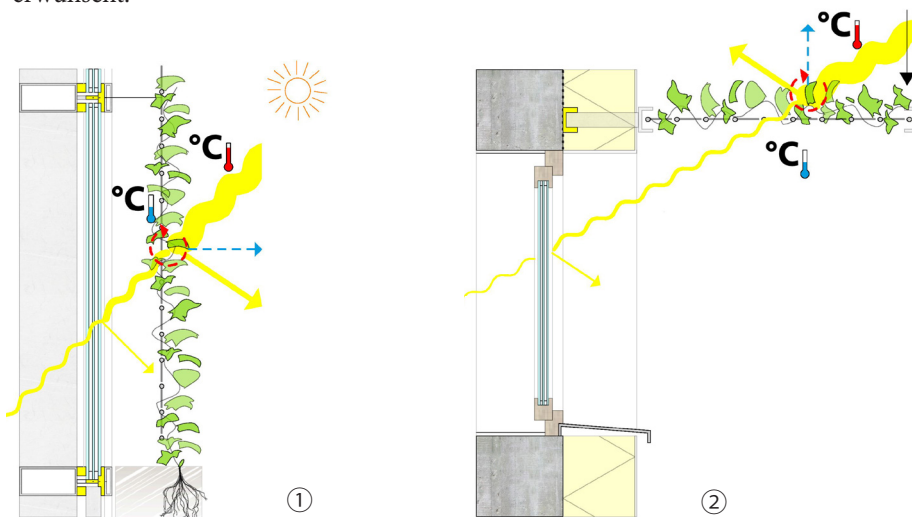
Saisonale Abhängigkeiten

Die Kühllasten durch solare Wärmeeinträge fallen hauptsächlich in den späten Übergangszeiten und Sommermonaten an. Hier ist eine Verschattung der Öffnungsanteile von Gebäuden vor allem an süd- und westorientierten Fenstern erwünscht.

Synergie

Die Gebäudebegrünung kann bei zielgerichtetem Einsatz die Aufgabe des außenliegenden Sonnenschutzes übernehmen. Ihre Verschattungswirkung und der adiabate Kühleffekt leisten dabei eine doppelte Funktion.

Die Verdunstungskälte der Pflanze sorgt für einen Kühleffekt, indem die langwellige Strahlung reduziert wird [78]. Diese kann zum Beispiel durch hohe Oberflächentemperaturen von dunklen, reflektierenden Fassadenmaterialien entstehen (niedriger Hellbezugswert). Konventionelle Sonnenschutzsysteme reduzieren zwar die kurzwellige Einstrahlung, wandeln sie im Gegensatz zu einem Sonnenschutz mit Begrünung aber in langwellige Strahlung und sensible Wärme um [78] (siehe Kap.4.2.4). Für die saisonale Wirkung sind sommergrüne Pflanzen besonders geeignet. Der Bedarf und die Begrünungsdauer überlagern sich nahezu in ihrer Zeitspanne. In den Sommermonaten, in denen eine Verschattungswirkung erwünscht ist, hält das Laub die Solarstrahlung aus dem Gebäude. In den Wintermonaten



Bedarfsdeckung



Synergie

- Verschattungswirkung und Verdunstungskühlung
- Substitution von Verschattungssystemen

Energetisches Potenzial

- Abhängig von der Bepflanzungsart
- 40 - 80 % der Sonneneinstrahlung wird reflektiert und absorbiert [32]
- 20 - 40 % Transpiration
- Temperatursenkungen von 2 - 10 K gegenüber anderem Oberflächenmaterial möglich (eigene Messung, [182])
- Abminderungsfaktor (F_c) von 0,62 - 0,3 für Gerüstkletterpflanzen bemessen [5]

Begrünungssysteme

- Gerüstkletterpflanzen
- Kübelpflanzen
- Sommergrün

Fehlervermeidung

- durch Abstand Vermeidung von Hitzestau
- Pflanzengewicht für Unterkonstruktionen ist zu beachten
- Starkschlinger vermeiden
- Ausblicksmöglichkeiten planen

Flächen und Orientierung

- Öffnungsanteile der Gebäudehülle betreffend
- Süd, West, Ost- Orientierung

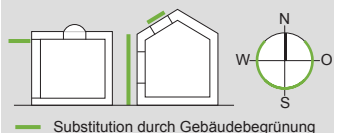


Abb. 104: vertikale ① und horizontale ② Sonnenschutzsysteme aus sommergrünen Rankensystemen und deren physikalische Wirkung: Reflexion, Absorption, Transpiration und Transmission. (© Nicole Pfoser, 2013)

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

Abb. 105: links: „Flower Tower“, Paris (Foto: Nicole Pfoser 2011)

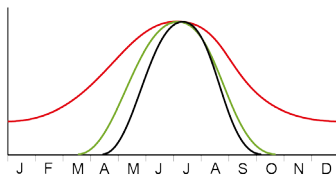


Abb. 106: rechts: Messergebnisse von Temperatur und relativer Luftfeuchte im August am „Flower Tower“ in Paris. Beispielhafte Darstellung des Kühleffekts durch Verschattung und Verdunstung der Pflanzen. (© Nicole Pfoser 08/2011)

Beispiel der Kühlwirkung eines natürlichen Sonnenschutzes über Kübelpflanzen: (Messungen im August 2011 am Projekt „Flower Tower“- Südseite in Paris)

Temperatur	
Umgebungstemperatur	36°C
Wandoberfläche (Beton)	45°C
Begrünung	33°C
Wandfläche hinter Begrünung	31°C
relative Luftfeuchte	
Luftfeuchte Umgebung	31 %
Luftfeuchte an Begrünung	43 %

Saisonale Überlagerung



Kühllast
 Solarstrahlung
 Gebäudebegrünung (Sommergrün)

Abb. 107: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie von solarem Wärmeeintrag, Verschattungsbedarf und Wirkungszeitraum sommergrüner Bepflanzung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

werden durch die laubfreie Begrünung solare Wärmegewinne ermöglicht. Immergrüne Pflanzen sind hier in der Regel ausgeschlossen. Horizontale, feststehende Systeme können jedoch auch über immergrüne Gerüstkletterpflanzen, wandgebundene Modulsysteme oder Pflanzenregale realisiert werden. Die Fensterfläche bleibt bei solchen Systemen frei und erlaubt die Einstrahlung der tiefer stehenden Sonne in der Heizperiode.

Wirkung

Da Begrünung Sonnenschutzsysteme substituieren kann, wird der Einfluss zur Vermeidung von Kühllasten als hoch bewertet. In einigen Messungen wurde die Verschattungsrate von Begrünungssystemen - hauptsächlich Gerüstkletterpflanzen quantifiziert. Nach den Messungen von KIESSL/RATH/GERTIS (1989) werden 40 - 80 % der Sonneneinstrahlung vom Laubwerk absorbiert bzw.

reflektiert. Bei einer weiteren Untersuchung wurde für eine Verschattung durch eine laubabwerfende Begrünung (Parthenocissus quinquefolia, Wisteria sinensis) ein sommerlicher Solarstrahlungsdurchgang auf 5 - 30 % (Verschattungsrate 70 - 95 %) bemessen [78]. Ein hervorragender Wert, um mechanische Kühleinrichtungen zu vermeiden. Nach Messungen von Ottelé ergibt sich bei pflanzlichen Sonnenschutzsystemen eine Kühlkostenersparnis von ca. 43 % [55]. Neben den prozentualen Verschattungsangaben wurde in einer Betrachtung zudem die Verschattungsrate auf den Abminderungsfaktor nach DIN 4108 (heute als „Fc-Wert“ bekannt) bezogen. Dieser ist einheitlich für Sonnenschutzsysteme geregelt und gibt die Abminderung der Solarstrahlung durch das Sonnenschutzsystem an. Über Referenzmessungen konnten Strahlungs-Dämpfungswerte adäquat zu Aluminiumjalousien für verschiedene Begrünungsarten

Abb. 108: Mögliche Substitution von Sonnenschutzsystemen durch Gebäudebegrünung (Zeichnung: FGee, TU Darmstadt; Fotos: siehe Abbildungsverzeichnis)

System	horizontaler Sonnenschutz		vertikaler Sonnenschutz		
	Blende, Vordach, Balkon	Lamellen, Jalousien	Lamellen	vertikale Scheiben, Läden	Verglasung
Vorrichtung	feststehend	feststehend/nachführbar	feststehend/nachführbar	feststehend/nachführbar	integriert, vollflächig
Beispiel					
Eignung für Grün	gut (feststehend)	bedingt (feststehend)	gut (feststehend)	gut (feststehend)	gut (feststehend)
Beispiel					
Orientierungseignung					

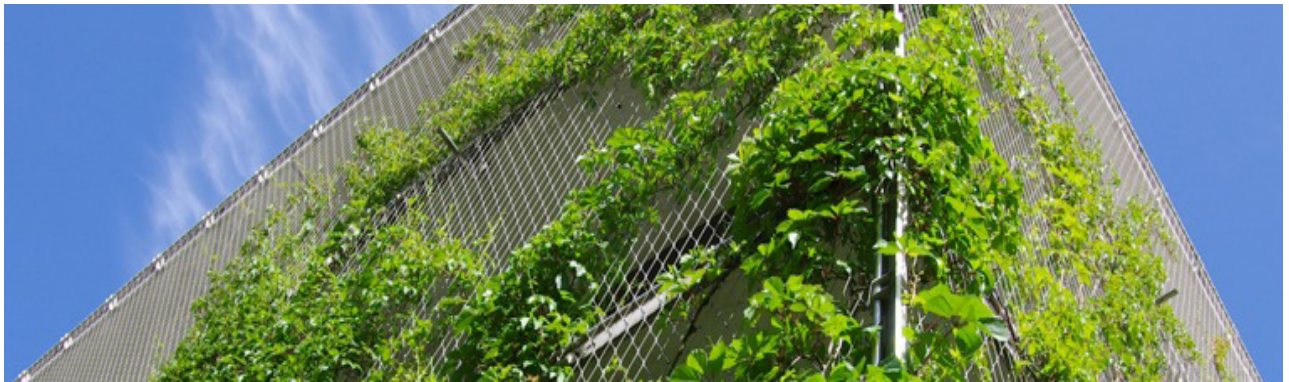


Abb. 109: Fassadenbegrünung als außenliegender Sonnenschutz des Hörsaalgebäudes der PTH Frankfurt (Foto: Nicole Pfoser 2013)

von Gerüstkletterpflanzen bestimmt werden. Äquivalent werden Abminderungsfaktoren nach DIN 4108, Teil 2 von 0,62 bis 0,3 angegeben (Abb. 110) [5]. Berücksichtigt werden muss, dass Begrünung im Vergleich zu Jalousien nur statische (nicht nachführbare) Systeme ersetzen kann. Das heißt, es sind keine tageszeitlichen Regelungen in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder der Vertikalstrahlung möglich. Bei einem nicht steuerbaren Sonnenschutz muss daher mit einem erhöhten Strombedarf für Beleuchtung gerechnet werden. Die zusätzliche Wirkung adiabater Kühlung ist dem folgenden Kapitel zu entnehmen.

Konstruktion und Begrünungssysteme

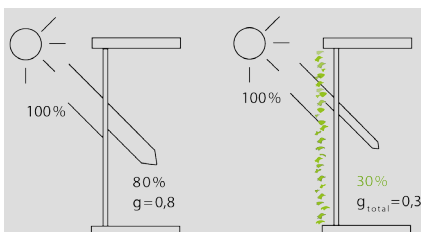
Gebäudebegrünung kann sowohl horizontale als auch vertikale Sonnenschutzsysteme substituieren. An der Fassade sind in der Regel sommergrüne Gerüstkletterpflanzen geeignet. Sie können vollflächig eingesetzt oder vertikal hochgeführt werden. Auch wandgebundene Systeme (horizontale Pflanzgefäße) können als Sonnenschutz dienen. Je nach Verschattungsbedarf sind aufrechte, kragende bzw. hängende Pflanzen geeig-

net. Pflanztragende Unterkonstruktionen leisten einen zusätzlichen Sonnenschutzeffekt. Als Ersatz einer eigenen Wuchshilfe können Konstruktionen wie Laubengänge und Reinigungsstege mit Abstand zur Fassade genutzt werden. Im Überkopfbereich kommen ebenfalls Gerüstkletterpflanzen in Frage. Eine Durchlüftung und Neigung der Fläche muss hier gegeben sein, um einen natürlicher Abtransport von fallendem Laub zu gewährleisten. Bei bodengebundenen überkopfgeführten Gerüstkletterpflanzen muss eine Umlenkung bzw. vertikale Führung zum Erdreich berücksichtigt werden. Allgemein sind bauaufsichtliche Bestimmungen einzuhalten. [182]

Fehlervermeidung

Bei Begrünungssystemen sind in der Planung gewünschte Ausblicksmöglichkeiten zu berücksichtigen. Um einen Hitzestau hinter dichten Bepflanzungen zu vermeiden, sollte eine Luftzirkulation über einen ausreichenden Abstand zu der Fassade gewährleistet bleiben. Dieser Planungshinweis ist jedoch auch bei regulären, großflächigen Sonnenschutzsystemen zu beachten. [182]

Abb. 110: unten links: Beispiel für eine Ermittlung des Abminderungsfaktors (F_c) für Sonnenschutzsysteme (TU Darmstadt, FGee, nach: [23]); unten rechts: Abminderungsfaktoren für Sonnenschutzsysteme nach DIN 4108 unter Einordnung der Abminderungsbestimmung von Gerüstkletterpflanzen (TU Darmstadt, FGee/FGe+f nach: [5])



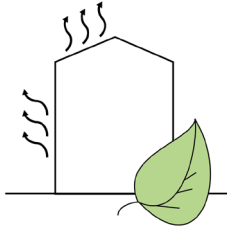
$$F_c = \frac{g_{\text{total}}}{g} = \frac{0,3}{0,8} = 0,375$$

F_c = Abminderungsfaktor Sonnenschutz
 g = Gesamtenergiedurchlassgrad (Verglasung)
 g_{total} = Gesamtenergiedurchlassgrad

Sonnenschutz (außenliegend)) ¹	F_c
drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
Jalousien und Stoffe, geringe Transparenz, hinterlüftet	0,25
Jalousien, allgemein	0,4
Rollläden, Fensterläden	0,3
Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen	0,5
Markise, oben und seitlich ventiliert	0,4
Markise, allgemein	0,5
) ¹ gem. DIN 4108-2:2003-07	
Sonnenschutz (Begrünung)) ²	
Gerüstkletterpflanzen	0,62 - 0,3

Einordnung des Beispiels zur Abminderung (F_c) des Gesamtenergiedurchlassgrades (g) über einen Sonnenschutz mit Gebäudebegrünung:

Ermittelte Abminderungsfaktoren bei verschiedenen Pflanzenarten in Anlehnung an die DIN 4108 = 0,62 bis 0,3. Referenzmessungen waren mit Aluminiumjalousien vergleichbar. (BAUMANN 1980, S. 75 ff.))²



4.2.4 Adiabate Kühlung und Gebäudebegrünung

Bedarfsdeckung



Synergie

- Kühlung über Transpiration der Pflanze und Verdunstung von Oberflächenwasser
- Minderung von Oberflächen-temperaturen

Energetisches Potenzial

- 20-40 % Transpiration
- Senkung der Oberflächen-temperatur um 2 – 10 K im Vergleich zur Natursteinfassade (eigene Messung [182])
- Effektverstärkung durch Bewässerung
- Minderung von Temperatur-extremen
- hohe Wirkung im gebäudenahen Bereich

Begrünungssysteme

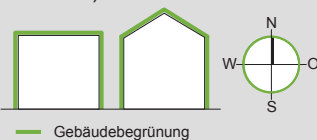
- Dach- sowie Fassadensysteme
- Sommergrün, immergrün

Fehlervermeidung

- Durch Verdunstung steigt die relative Luftfeuchte (im Innenraum an schwülheißen Tagen nicht gewünscht)

Flächen und Orientierung

- Dach und Fassade betreffend
- alle Orientierungen betreffend: Südorientierungen besitzen höherer Verdunstungsraten (höhere Temperaturen)



Verdunstungskühlung ist ein sehr altbekanntes Prinzip. Bei dem Übergang von flüssigem in den gasförmigen Zustand braucht es Energie, die der Umgebung entzogen wird (adiabate Kühlung). Darüber wird die Lufttemperatur auf natürliche Weise gesenkt. Es wird zwischen der direkten und der indirekten adiabaten Kühlung unterschieden. Bei der direkten wird die Luft mit Feuchtigkeit angereichert, worüber die Lufttemperatur gemindert wird. Dies kann über Pflanzen, Wasseroberflächen oder Versprühung von Wasser in der Zuluft erfolgen. Mit einer Erhöhung der Luftfeuchte steigt jedoch die „gefühlte Temperatur“. Um diesen Effekt zu vermeiden, kann die adiabate Kühlung maschinell über einen Wärmetauscher über die Abluft erfolgen [23, S.130]. Hier wird von einer indirekten Kühlung gesprochen.

Saisonale Abhängigkeiten

Der Kühlbedarf besteht in der Regel zu Zeiten hoher solarer Strahlung der späten Übergangszeiten und Sommermonate. Zu diesen Zeiten sind immer- und sommergrüne Pflanzen voll ausgeprägt.

Synergie

Gebäudebegrünung besitzt über Evapotranspiration (Verdunstung über Pflanze und Bodenoberfläche) einen natürlichen Kühlungseffekt. Dieser findet in der Regel außerhalb der Gebäudehülle statt, kann dabei die Oberflächen der Bauteile kühlen und damit langwellige (thermische) Strahlung reduzieren. Im Vergleich wandeln unbegrünte Dächer ca. 95 % der Strahlungsbilanz in Wärme um und besitzen über höhere Oberflächen-temperaturen eine erhöhte langwellige Ausstrahlung. Eine extensive Dachbegrünung wandelt hingegen in den Sommermonaten 58 % der Strahlungsbilanz in Verdunstungskälte um (Abb. 111). [78, S.16; 220, S. 481-487]

In erster Linie hat die Kühlung von Gebäudeoberflächen eine positive Wirkung auf das städtische Klima (siehe hierzu Kap. 6). In Bezug auf die Energiereduktion des Gebäudes ist diese zudem sehr positiv zu bewerten. In den Sommermonaten treten sowohl sensible Wärme als auch langwellige Strahlungen in das Gebäude ein. Dies kann durch das Öffnen der Fenster bei hohen Außentemperaturen oder den Wärmedurchgang z. B. konventioneller Glasscheiben

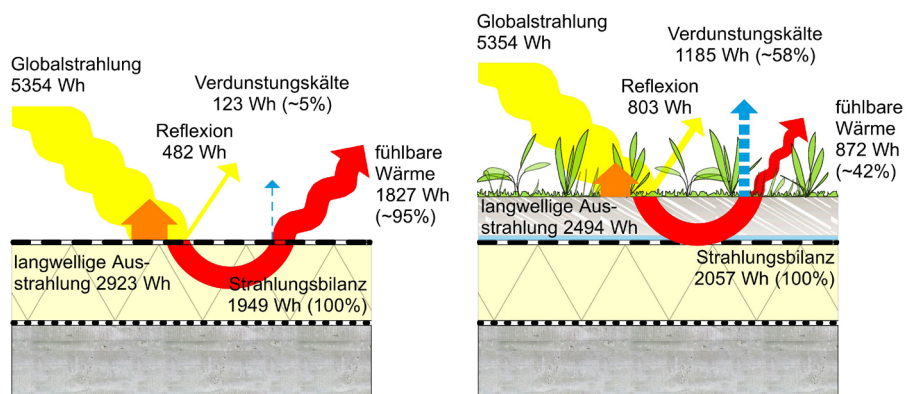


Abb. 111: Energiebilanz im Tagesmittel. Vergleich eines unbegrünten und eines begrünten Daches (TU Darmstadt, FGee, FGe+f nach: Schmidt, M. (2003))



Abb. 112: Rue Alsace 21, Paris
(Foto: Nicole Pfoser 2011)

erfolgen. Die Kühlung der Oberflächentemperatur des Gebäudes über die Gebäudebegrünung wirkt hier positiv. Über die Verdunstung von Wasser wird die Wärme real abgeführt, indem sie die Energie in höhere Atmosphärenschichten transportiert [78]. Als Sonnenschutz besitzt die Pflanze damit einen zusätzlichen Vorteil gegenüber konventionellen Systemen. Zudem können die Kühleffekte auf natürliche Lüftungssysteme positiv wirken oder auch für Technologien, die auf Temperatursteigerungen reagieren, wie z. B. Photovoltaik, leistungssteigernd sein (siehe Kap. 4.2.5, 4.4.1).

Wirkung

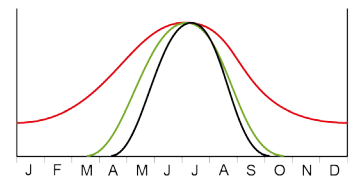
Der Wärmeabfuhr über Verdunstung liegt der thermodynamische Effekt des Aggregatwechsels von Wasser zu Grunde. Für den Wechsel des Aggregatzustandes von flüssig zu gasförmig benötigt Wasser Energie, 680 kWh/m^3 (bei 30°C). Diese Menge an Energie wird der Luft an Wärme entzogen und damit abgekühlt. Bezogen auf einen Liter Wasser sind dies $0,68 \text{ kWh}$. Dies entspricht einem Millimeter Wasser, das auf einem m^2 verdunstet wird. [78] In einer Verdunstungsmessung von

Pflanzgefäßen als Dachgartenbegrünung konnte eine Verdunstungsmenge von 200 l/m^2 in einer Vegetationsperiode ermittelt werden [70]. In Bezug auf die Verdunstungsenergie wurden in einer Vegetationsperiode so 136 kWh/m^2 der Luft entzogen und darüber gekühlt. Die Wirkung der adiabaten Kühlung von Gebäudebegrünung ist zudem durch Messungen der Wandoberflächen-Temperaturen zu quantifizieren. Beispielmessungen an einer wandgebundenen, flächigen Begrünung des Musée du Quai Branly in Paris zeigten an einem warmen Augusttag eine Temperatursenkung gegenüber der Umgebungstemperatur von $1,3 - 3,5 \text{ K}$ (Abb.114) [68].

Der adiabate Kühleffekt an der Gebäudehülle ist jedoch nicht nur in Bezug auf die Umgebungstemperatur von Relevanz. Auch und gerade im Vergleich zu anderen Oberflächentemperaturen ist diese für das Bauwerk und die Stadt von Bedeutung.

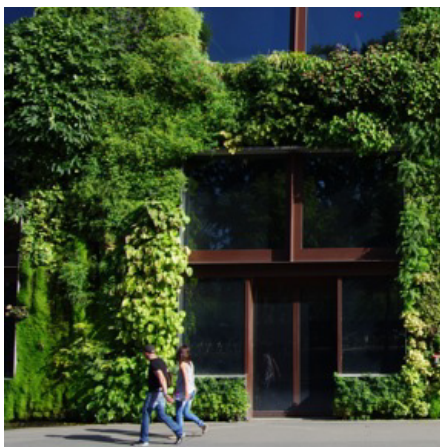
Im Temperaturvergleich mit anderen Hüllmaterialien spielen zudem der Reflexionsgrad und weitere Materialeigenschaften eine Rolle. So kann sich zum Beispiel ein Bitumen- oder Kiesdach zur

Saisonale Überlagerung



Kühllast
Solarstrahlung
Gebäudebegrünung (Sommergrün)

Abb. 113: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie von solarem Wärmeeintrag, Kühlbedarf und Wirkungszeitraum sommergrüner Bepflanzung. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)



Sommerliche Kühlwirkung an Bauteiloberflächen am Beispiel einer flächigen wandgebundenen Begrünung:
(Messungen im August 2011 am Musée du Quai Branly, Paris)

Temperatur

Umgebungstemperatur	29°C
Oberfläche Begrünung	$25,5 - 27,7^\circ\text{C}$
Temperaturdifferenz	$1,3 - 3,5 \text{ K}$

relative Luftfeuchte

Zunahme der Luftfeuchte	11%
-------------------------	---------

Abb. 114: Beispiel der Kühlwirkung einer wandgebundenen, bewässerten Fassadenbegrünung anhand der Messungen an der Fassade des Musée du Quai Branly, Paris. (© Nicole Pfoser 08/2011)

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

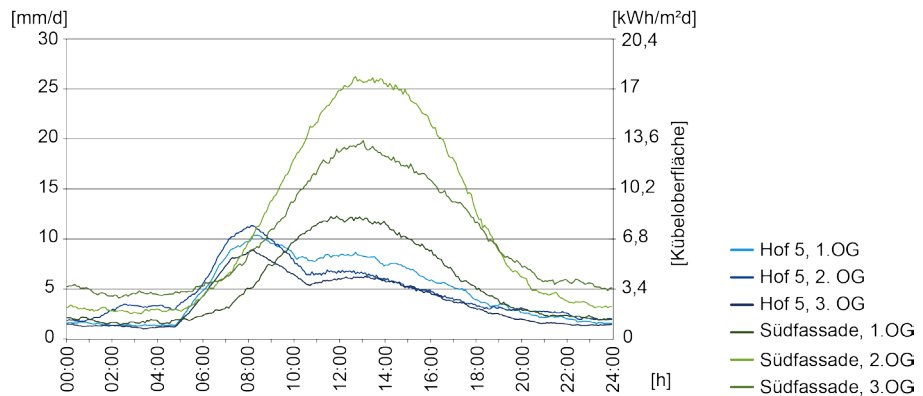


Abb. 115: oben links: Fassadenbegrünung als außenliegender Sonnenschutz des Institutsgebäudes für Physik der Humboldt-Universität in Berlin-Adlershof (Nicole Pfoser 2009)

Abb. 116: oben rechts: Reale Verdunstung einer Fassadenbegrünung aus Pflanzkübeln. Durchschnittlicher Tagesverlauf des Wasserbedarfs einer Anstaubewässerung im Zeitraum von 2 Sommermonaten (mm/Tag sowie Verdunstungsäquivalent in kWh) (Schmidt, M. (2010), S.36)



Abb. 117: Institutsgebäude in Wageningen (Behnisch Architekten, Foto: Christian Kandzia)

Tagesmitte im Sommer auf 40 - 55 °C aufheizen. Dachbegrünungen hingegen weisen im Vergleich bis zu 25 °C geringere Oberflächentemperaturen auf. [81, S.163; 78]

Das Thema der Verdunstungskühlung und Temperaturreduktion in Bezug auf die Wirkung verschiedener Begrünungssysteme wird im Kap. 6.3 - „Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum“ näher beschrieben.

Die mit der adiabaten Kühlung verbundene Reduzierung des Energiebedarfs kann im Vergleich zu anderen Effekten durch eine Begrünung, zusammen mit der Verschattung, als hoch eingestuft werden. Darüber hinaus wirkt sich der temperatursenkende Effekt positiv für die Langlebigkeit darunter liegender Materialien aus. (siehe Kap. 4.7)

Konstruktion und Begrünungssysteme

Für den adiabaten Kühleffekt kommen alle Gebäudebegrünungssysteme in der Fassade wie auch auf dem Dach in Frage. Eine direkte Nutzung des Effekts ist vor allem in der Fassade gegeben. Auf dem Dach können die Effekte indirekt für die Abminderung von Temperaturextremen der Zuluftführung bzw. für die Wirkungsgradsteigerung von Dach-PV-Anlagen dienlich sein. Geregelte Bewässerungen von Fassaden- oder Dachbegrünungen können den adiabaten Kühleffekt noch verstärken. Dies ist z. B. bei wandgebundenen Fassadensystemen der Fall.

Fehlervermeidung

Wie bereits zuvor erwähnt, steigt mit höherer Luftfeuchtigkeit unter steigenden Temperaturen die „gefühlte Temperatur“ an. Dies ist vor allem bei einem Einsatz von Begrünungen in Atrien zu beachten. Der Effekt des Anstiegs der

relativen Luftfeuchte wird im folgenden Kapitel 4.2.5 näher beschrieben.

Forschung und Beispielprojekte Projektbeispiel für eine direkte Nutzung der adiabaten Kühlung:

Das von den Architekten Behnisch und Partner erstellte Institutsgebäude in Wageningen ist ein gelungenes architektonisches Beispiel für die Nutzung von Wasserflächen und Begrünungen für eine direkte adiabate Kühlung. Über die Atriumfassaden werden die einzelnen Räume natürlich belüftet (Abb.117).

Beispielhafter Nachweis des adiabaten Kühleffekts anhand einer Fassadenbegrünung:

An dem Institut für Bauphysik der Humboldt-Universität in Berlin-Adlershof wurden exakte Messungen der Verdunstungsrate der Fassadenbegrünung durchgeführt (Abb.115). Die 20 m hohe Begrünung mit Kletterpflanzen dient als außenliegender Sonnenschutz. Sie ist teilweise bodengebunden, in höheren Bereichen fassadengebunden in Form von Pflanzkübeln. Über diese konnte der Wasserverbrauch exakt festgestellt werden. Abb.116 zeigt die reale Verdunstung im Tagesverlauf. Die Verdunstung betrug durchschnittlich 10 bis 15 l/m² Kübeloberfläche pro Tag, was eine Verdunstungskühlung von 280 kWh pro Fassade und Tag ergibt.

Laut dem Institut entspricht die erzeugte Verdunstungskälte gerade an Tagen mit hohem Kühlbedarf einem Vielfachen gegenüber den Wasserkosten. Eine genaue Quantifizierung der Kosten und Kühleinsparung war jedoch aufgrund fehlender Messungen im Innenraum nicht möglich. [78]

4.2.5 Natürliche Lüftung und Gebäudebegrünung

Unter natürlichen Lüftungssystemen werden in der Regel Fensteröffnungen oder auch Öffnungsklappen verstanden, die einen direkten Luftaustausch zulassen. Die Zuluft wird dabei in der Regel nicht konditioniert. Mit dem Luftaustausch kann es zu einem zusätzlichen Wärmeeintrag in den Sommermonaten oder zu einer Auskühlung in den Wintermonaten kommen, was in der Regel nicht erwünscht ist. Angestrebt wird die Auskühlung durch natürliche Lüftung hingegen bei der sogenannten Nachtlüftung bzw. -spülung. Hier werden über Lüftungsklappen oder Fenster Querlüftung erzeugt, Speichermassen wie schwere Betondecken abgekühlt und für eine erneute Wärmeaufnahme am Tag regeneriert. Nachtlüftung kommt bei Gebäudenutzungen mit hohen externen und internen Kühllasten zum Einsatz.

Synergie

Gebäudebegrünung kann die natürliche Lüftung unterstützen, indem sie Temperaturextreme an Bauteiloberflächen abmindert: In den Sommermonaten werden die umliegenden Flächen mit vorgelagerten Fassadenbegrünungen gekühlt, während im Winter die Begrünung als ein natürlicher Puffer wirken kann. Wie in Kap. 4.2.4 beschrieben wird die Senkung der Oberflächentemperatur im Sommer über die Reduzierung der langwelligen Strahlung durch die Verdunstungskühlung der Pflanze und der Substratoberfläche bewirkt. Gerade für die Nachtspülung, bei der niedrige Temperaturen gewünscht sind, kann die Gebäudebegrünung eine übermäßige Aufheizung der Gebäudehülle über den Tagesverlauf reduzieren. Die Zuluft in der Nacht wird damit nicht über die Wärmeabstrahlung der umgebenden Gebäudehülle aufgewärmt, was wieder-

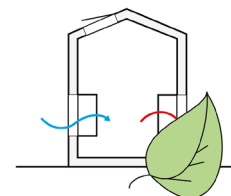
um den Nachtkühlungseffekt unterstützt. Begrünungssysteme besitzen über die geringere Aufheizung der Oberfläche damit einen wesentlichen Vorteil gegenüber anderen Hüllmaterialien. Bezogen auf das Einzelgebäude hat dies einen wesentlichen Einfluss auf das gesamte städtische Klima (siehe Kap. 6).

Neben dem Kühlungseffekt führt die Begrünung zu einer natürlichen Befeuchtung der Luft. Für die Raumluftfeuchte wird ein Richtwert von 40 – 60 % empfohlen. Bei Umgebungstemperaturen von 20 – 22 °C kann die relative Luftfeuchte zwischen 35 und 70 % schwanken, um im Innenraum als behaglich empfunden zu werden. In diesem Behaglichkeitsbereich steigt pro 10 % erhöhter Luftfeuchte die gefühlte Raumtemperatur um 0,3 K. [23]

Dies trägt dazu bei, Zimmertemperaturen zu senken und damit den Heizwärmebedarf zu reduzieren.

Vor allem in geschlossenen, stark belüfteten und beheizten Räumen kann die relative Luftfeuchte zu niedrig werden. Dies kann zu gesundheitlichen Beschwerden führen (z. B. Austrocknung der Schleimhäute). Dieser Fall tritt meist im Winter ein, wenn die Außenluft aufgrund der niedrigen Temperaturen wenig Feuchtigkeit aufnehmen kann. Im Sommer kann im Gegensatz hohe relative Feuchtigkeit vorliegen. Bei hohen Temperaturen wird diese als unbehaglich empfunden, da sie die natürliche Regulation der Körpertemperatur durch Schwitzen behindert.

Im Sommer kann über Grünflächen eine bis zu 20 % [81, S.163] bzw. 40 % höhere Luftfeuchtigkeit [80, S.14] gegenüber unbegrünten Flächen erreicht werden. Im Winter erhöht sich die relative



Bedarfsdeckung



Synergie

- Kühlung der Oberflächen am Gebäude (Reduktion langwelliger Strahlung)
- Minderung der Temperaturen bei natürlicher Lüftung im Sommer
- Unterstützung der Nachtlüftung
- Staubfilterung
- Reduktion des Umgebungsschallpegels

Energetisches Potenzial

- Senkung der Oberflächentemp. um 2 – 10 K im Vergleich zu Natursteinfassade (eigene Messung, 182x)
- Luftbefeuchtung (20 – 40 % höhere r. F. im Sommer möglich) (2 – 8 % höhere r. F. im Winter möglich)

Begrünungssysteme

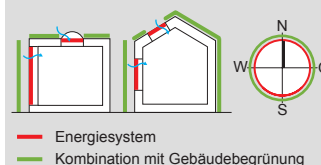
- Dach- sowie Fassadensysteme
- Sommergrün, Immergrün

Fehlervermeidung

- Eintrag von Pollen, Sporen möglich
- meiden allergener Pflanzen
- Vermeidung des Eintrags von erhöhter Luftfeuchte an schwülwarmen Tagen

Flächen und Orientierung

- Öffnungen in Dach und Fassade betreffend
- Kombinationen orientierungsunabhängig



Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

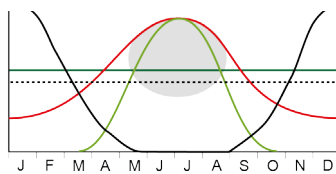
Abb. 118: Messung an zwei verschiedenen Doppelhaushälften, mit und ohne Gebäudebegrünung, zur Quantifizierung der Kühlwirkung der Pflanze (© Nicole Pfoser 08/2011); Bild rechts: Fassade Doppelhaus Ohlystraße, Darmstadt (Foto: Nicole Pfoser 2011)



Sommerliche Kühlwirkung an Bauteiloberflächen am Beispiel von Selbstklimmern: (Messungen im August 2011 an zwei verschiedenen Doppelhaushälften)

Temperatur	
1 Wandoberfläche (weiß verputzt) Hellbezugswert 83	36°C
2 cm vor Begrünung	28°C
Temperaturdifferenz	8 K
2 Wandoberfläche (dunkel verputzt) Hellbezugswert 64	52°C
2 cm vor Begrünung	33°C
Temperaturdifferenz	19 K

Saisonale Überlagerung



Frischluftbedarf
Heizenergiebedarf
Solarstrahlung
Kühlbedarf
Gebäudebegrünung (Sommergrün)
Gebäudebegrünung (Immergrün)

Abb. 119: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen immer- sowie sommergrünen Pflanzen und natürlicher Lüftung bzw. Nachtpülung, deren Funktion i.d.R. in die Sommermonate fällt, in denen ein erhöhter Kühlbedarf besteht. Hier kann die Gebäudebegrünung über die Senkung der Oberflächentemperatur unterstützend wirken. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

Luftfeuchte bei Begrünungen um 2-8 % (Bezug: Selbstklimmer) [32, S. 34]. Mit einem Luftwechsel kann damit eine natürliche Luftbefeuchtung erfolgen. Im Winter, den Übergangszeiten und gemäßigten Sommertagen ist der Effekt der Luftbefeuchtung positiv. An schwülwarmen Tagen im Sommer kann eine zusätzliche Luftbefeuchtung die relative Luftfeuchte über 70 % anheben und unbehaglich wirken. Hier sind eine Lüftung und der Eintrag feuchter Luft in ggf. kühlere Räume ungeeignet. Fenster sind in diesem Fall geschlossen zu halten. Dies ist jedoch an schwülwarmen Tagen allgemein gültig.

Ein weiterer positiver Effekt ist die staubfilternde bzw. feinstaubbindende Wirkung durch die Pflanze. Die relativ große pflanzliche Oberfläche führt zur Ab- und Adsorption atmosphärischer Spurenstoffe, wodurch es in Gebäudenähe meist zu einer Verbesserung der Luftqualität kommt [45]. Über die Blätter werden Stäube aufgefangen. Erfassungen von Staubmengen nach einer Vegetationsperiode haben 4 g/m² (Parthenocissus) bzw. 6 g/m² (Hedera) ergeben [4]. Dies mag eine nicht ausschlaggebende Größe darstellen, jedoch waren hierbei ca. 71 % lungengängige Stoffe enthalten, die zu einer entsprechenden Entlastung der Zuluft führten [2].

Weiterhin positiv ist, dass die Begrünung den Umgebungs-Schallpegel reduzieren kann [34]. Ein Messergebnis der Schallabsorption durch einen Efeubewuchs von 20 cm Dicke betrug 5 dB [35]. Eine weitere Messung erzielte die gleiche Schalldämpfung vor einer wandgebundenen Gebäudebegrünung des Musée du Quai Branly [182]. Vorteilhaft gegen den Stadtlärm erweist

sich vor allem die Reduktion der Schallreflektion im Vergleich zu glatten Wänden (besonders im hohen Frequenzbereich wie z. B. Reifen auf nasser Fahrbahn). [35; 182]

Wirkung

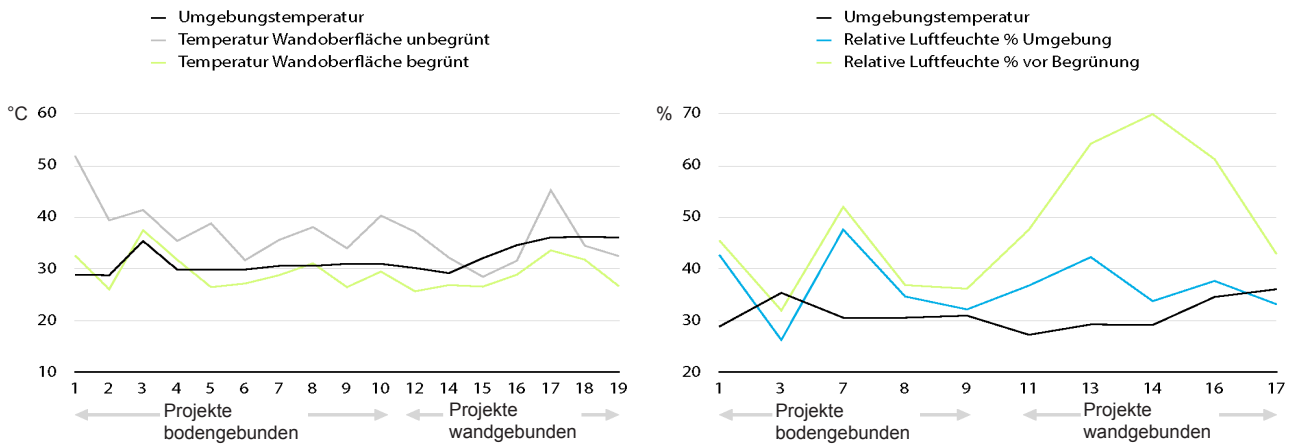
Die Zuluftkonditionierung stellt einen positiven Effekt dar, der bei der natürlichen Lüftung in Kombination mit einer natürlichen Verschattung aus Begrünung genutzt werden kann. Die Wirkung lässt sich über durchgeführte Temperaturmessungen an Begrünungssystemen quantifizieren. Zum Teil sind diese in den zuvor beschriebenen Kapiteln zur Verschattung und adiabaten Kühlung beschrieben. Eine weitere Messung vergleicht die Oberflächentemperaturreduktion einer Efeu-Begrünung gegenüber zwei verschiedenen Wandoberflächen eines Doppelhauses (siehe Abb. 118). Gegenüber einer fast weißen Wand (Hellbezugswert 83 mit 36°C) erreicht die Oberflächentemperatur der Begrünung eine Reduktion von ~8°C. Gegenüber einer braunen Wand (Hellbezugswert 64 mit 51,8°C) reduziert sich die Oberflächentemperatur der Begrünung um ~19°C. [182]

Bei weiteren eigenen Messungen von boden- und fassadengebundenen Systemen im Vergleich zu hellen Putz- oder Natursteinfassaden an heißen Sommertagen konnte je nach System eine Temperaturdifferenz zwischen 2 bis >10 K nachgewiesen werden [182]. Messungen der Lufttemperatur vor Öffnungen bzw. im Innenraum wurden nicht durchgeführt.

Konstruktion und Begrünungssysteme

In der Regel ist eine natürliche Zuluftführung über die Fassade oder über Dachflächenfenster in Dachbereichen

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude



gegeben. Der sommerliche Kühleffekt kann sowohl mit sommergrünen als auch immergrünen Pflanzen realisiert werden.

Moose als extensive Dachbegrünung oder auch auf Betonplatten oder Ziegel in der Fassade haben eine besondere Wirkung. Ihre Oberflächenabwicklung ist durch mikrofeine Furchungen um das 30-fache vergrößert, was den Pflanzen zu einer sehr guten Wasserspeicherung (bis zu 20 l/qm), zu einer entsprechend wirksamen Verdunstungskühlung und zu einer guten Schallabsorption verhilft. Zudem können Moose durch einen antistatischen Effekt Feinstaub binden und durch Ionenaustausch adsorbieren, dauerhaft binden und verstoffwechseln, ebenso Giftstoffe und Schwermetalle. [8a; 9]

wurden helle und dunkle Putz- bzw. Natursteinfassaden verglichen. Bei Außentemperaturen zwischen 28 °C bis 36 °C lagen die Oberflächentemperaturen der unbegrünten Fassaden 2–20 K höher. Für die Fassaden mit Fassadenbegrünung wurde eine geringere Temperatur im Vergleich zu den unbegrünten Fassaden von 2 bis >10 K nachgewiesen. Dabei lagen die Temperaturen mit Begrünung z.T. deutlich unter der Umgebungstemperatur (siehe Abb.120). Neben den Temperaturunterschieden wurde die relative Luftfeuchte der Pflanzensysteme untersucht. Hier zeigt sich, dass diese bei fassadengebundenen Systemen deutlich höher liegt (siehe Abb.121), was durch die durchgängige Bewässerungsfeuchte zu begründen ist. [182]

Abb. 120: oben links: Oberflächentemperaturen verschiedener Wandoberflächen mit und ohne Begrünung im Vergleich zu der Umgebungstemperatur im August (© Nicole Pfoser 08/2011)

Abb. 121: oben rechts: Luftfeuchte verschiedener Wandoberflächen mit Begrünung im Bezug zur Umgebungstemperatur im August (© Nicole Pfoser 08/2011)

Fehlervermeidung

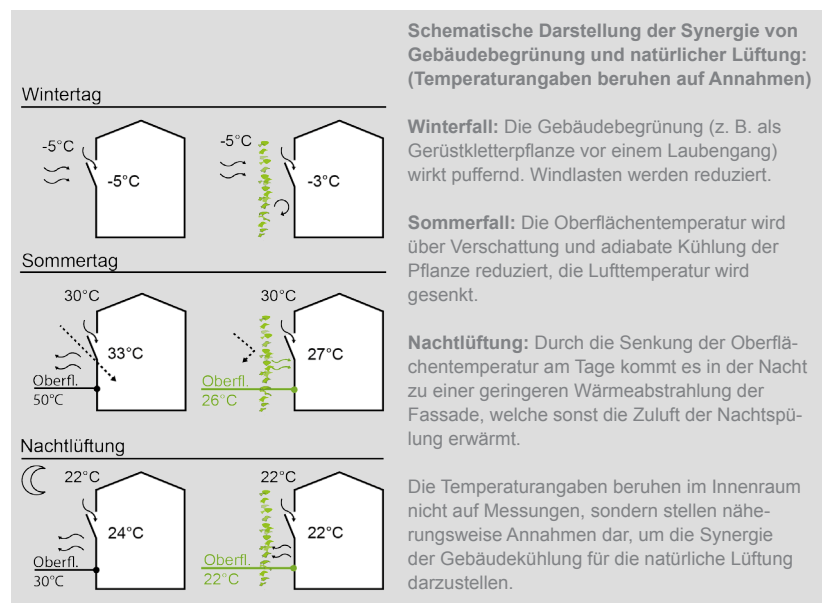
Die Zuluftführung in direkter Nähe einer Gebäudebegrünung kann Pollen, Insekten oder Sporen eintragen. Es sollten daher pollenarme Pflanzen gewählt werden [182].

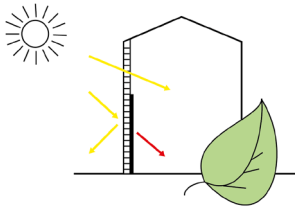
Forschung und Beispielprojekte

Beispielhafter Nachweis der Minderung von langwelliger Strahlung (hohe Oberflächentemperaturen) anhand von Fassadenbegrünungen:

Im Rahmen der laufenden Promotion von Nicole Pfoser wurden Messungen von Oberflächentemperaturen und der oberflächennahen Luftfeuchte an verschiedenen Fassadenbegrünungen im Vergleich zu unbegrünten Fassaden an heißen Sommertagen (August 2011) durchgeführt. Für die exemplarischen Messungen wurden fassadengebundene Systeme in Paris sowie bodengebundene Bepflanzungen in Darmstadt gewählt. Als nichtbegrünte Referenzfassaden

Abb. 122: Theoretische Betrachtung der Synergie von Gebäudebegrünung und natürlicher Lüftung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)





Bedarfsdeckung



Synergie

- Verschattung + adiabate Kühlung des Absorbers
- Vermeidung von Überhitzung der Fassade bzw. des Innenraums im Sommer

Energetisches Potenzial

- 85 % Verschattung durch Gerüstkletterpflanze [15]
- Senkung von Absorbertemperatur-Maxima bis zu ca. 50 % möglich [15]
- Verschattungsrate abhängig von Begrünungssystem

Begrünungssysteme

- Fassadenbegrünung: Gerüstkletterpflanzen
- ausschließlich sommergrün

Fehlervermeidung

- keine Verschattung im Winter
- Hinterlüftung ermöglichen
- Wärmebrücken durch Unterkonstruktion reduzieren
- Licht- und Schattenspiel bei transluzenten Fassaden berücksichtigen

Flächen und Orientierung

- opake Flächen sowie Öffnungsanteile betreffend
- i.d.R. südorientierte Fassaden

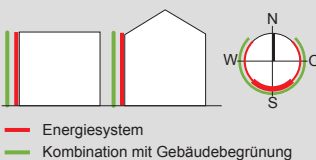


Abb. 123: ① Gerüstkletterpflanze vor TWD auf tragender Massivwand und ② als transluzentes Fassadenelement in einer Pfosten-Riegel-Fassade. Schematische Darstellung der Konstruktion sowie Funktionsprinzipien einer TWD-Fassade in Kombination mit Gebäudebegrünung für den Sommer- sowie Winterfall. (© Nicole Pfoser 2013)

4.3 Teilaktive Systeme und Maßnahmen

4.3.1 Transparente Wärmedämmung und Gebäudebegrünung

Transparente Wärmedämmung (TWD) ist ein dynamisches Dämmsystem. Sie wirkt als Wärmedämmung bzw. Energiegewinnungssystem von solarer Wärme, welche für die Aufwärmung opaker Bauteile oder direkt für die Raumkonditionierung genutzt werden kann. Die TWD besteht in der Regel aus transluzenten Röhrrchen, welche die tiefe Wintersonne hindurchleiten, aber den Durchgang der steilen Sommersonne verhindern. Bei opaken Wandflächen absorbiert eine in der Regel dunkle Oberfläche die durchgehende Strahlung - die massive Wand fungiert als Wärmespeicher. TWD als transluzentes Element leitet die kurzwellige Solarstrahlung direkt in den Raum weiter.

Saisonale Abhängigkeit

Die TWD wird typischerweise für die Reduktion des Heizwärmebedarfs in den Winter- und frühen Übergangsmo-naten genutzt. In den Sommermonaten sollen die kurzwellige Strahlung aus dem Gebäude gehalten und Oberflächen vor übermäßiger Aufheizung geschützt werden. Zum Teil wird dies durch den Aufbau der TWD selbst erreicht. Durchdringende Wärme über kurz- und

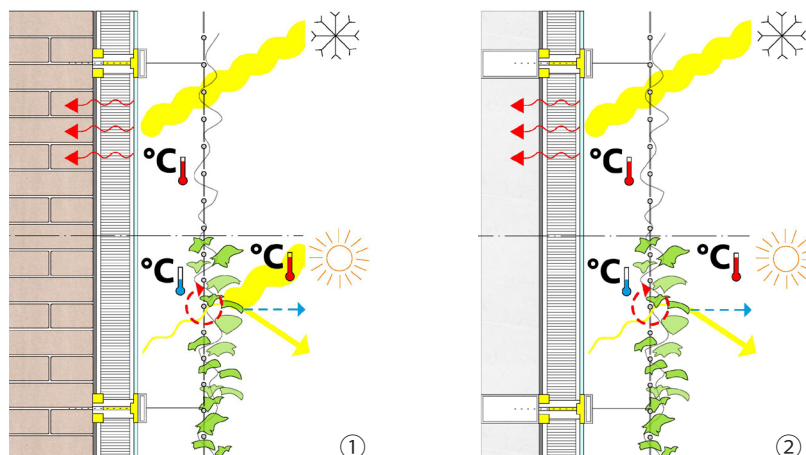
langwellige Strahlung wird jedoch direkt bzw. phasenverschoben an den Raum weiter geleitet. Verschattungssysteme können hier unterstützend wirken. Deren positiver Effekt ist vor allem auch an Ost- und Westfassaden aufgrund der flacher stehenden Sonne relevant.

Synergie

Die Gebäudebegrünung vor einer TWD-Fassade kann eine natürliche Verschattungsfunktion übernehmen. Der adiabate Kühleffekt mindert zudem die Oberflächentemperatur, so dass es nur geringfügig zu Aufheizungen der TWD und der dahinter liegenden Fassade in heißen Sommermonaten kommt. [15]

Wirkung

Die Wirkung eines Sonnenschutzsystems aus Fassadenbegrünung auf eine TWD in heißen Sommermonaten wurde im Rahmen eines BMWi-Projektes quantifiziert. Hier konnten im Sommer Absorbertemperaturen im Maximum von 50 °C auf 25 °C gesenkt werden. Damit stellt sie eine einfache, kostengünstige und außerordentlich wirkungsvolle Verschattungsvariante dar. Eine tageszeitliche Regelung in Abhängigkeit



von Außentemperatur oder Vertikalstrahlung kann eine Fassadenbegrünung jedoch nicht leisten. Dies ist bei einer Verschattungslösung über Pflanzen zu berücksichtigen. [15]

Konstruktion und Begrünungssysteme

TWD wird in der Regel in Fassaden eingesetzt. Aufgrund der saisonalen Abhängigkeit sind vor TWD-Fassaden ausschließlich sommergrüne Bepflanzungen geeignet. In Frage kommen Gerüstkletterpflanzen, die auf Distanz zur Fassade angebracht werden sollten. Aufgrund der erforderlichen Unterkonstruktion des Rankgerüsts sind mögliche Wärmebrücken durch Befestigungspunkte zu beachten. Diese können durch thermische Trennungen reduziert werden.

Fehlervermeidung

Um einen Hitzestau hinter zu dichten Bepflanzungen zu vermeiden, sollte eine Luftzirkulation über einen ausreichenden Abstand zu der Fassade gewährleistet werden. Dieser Planungshinweis ist jedoch auch bei regulären, großflächigen Sonnenschutzsystemen zu beachten.

Für den Einsatz von TWD als transluzente Fassade ist ein heterogenes Schattenspiel im Innenraum zu berücksichtigen.

Forschung und Beispielprojekte

In dem bereits benannten BMWi-Projekt „Optimierung von TWD-Speichersystemen unter Beachtung der Bauschadensfreiheit. Natürliche Begrünung als sommerlicher Überhitzungsschutz“ wurde ein TWD Element in einem Versuchsaufbau mit rankendem Weinlaub vor der Fassade kombiniert (Abb.125). Die Gerüstkletterpflanze stellte hier eine wirkungsvolle und einfache Verschattungsvariante dar, die zu einer Halbierung des Energiedurchlassgrades von $g = 0,11$ gegenüber unverschattet von 0,22 und damit zu einer flächenanteiligen Senkung des Wärmestroms führte. Das Absorbiertemperatur-Maximum von 50 °C wurde in diesem Versuch auf 25 °C gesenkt. In der Heizperiode betrug die besonnte Absorber-Temperatur 50 °C . Demzufolge ist das blattlose Geflecht ausreichend durchlässig, um auch gute Wärmeeinträge während der kalten Jahreszeit zu erreichen. [15]



Saisonale Überlagerung

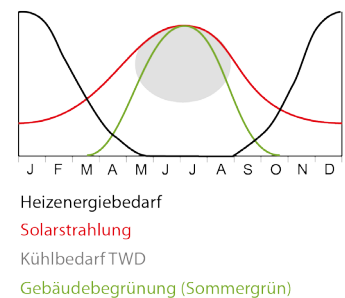
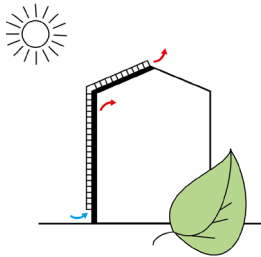


Abb. 124: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen TWD und sommergrünen Pflanzen: In den Sommermonaten liegt ein hoher Wärmeeintrag über Solarstrahlung vor, der in der Regel unerwünscht ist. Hier kann eine sommergrüne Bepflanzung verschattend wirken. In der Heizperiode lässt die dann laubfreie Pflanze die Solarstrahlung durch. (TU Darmstadt, FGee/FGef)

Abb. 125: Vorderansicht der TWD-Fassade mit Weinlaub am 02.10.2000. Versuchsaufbau Universität Cottbus. Fischer, U. (2002) [15]



Bedarfsdeckung



Synergie

- Verschattung + adiabate Kühlung des Absorbers
- Vermeidung der Überhitzung der Fassade bzw. des Innenraums im Sommer (bei ungedämmten Systemen)

Energetisches Potenzial

- Verschattungswirkung: bis 95 % [78] durch Gerüstkletterpflanzen
- Temperatursenkungen von 2 - 5 K gegenüber Außenluft möglich (eigene Messung)
- abhängig vom Begrünungssystem

Begrünungssysteme

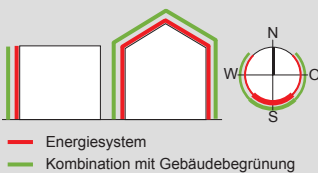
- Fassadenbegrünung: Gerüstkletterpflanzen
- ausschließlich Sommergrün

Fehlervermeidung

- keine Verschattung im Winter
- Hinterlüftung ermöglichen
- Wärmebrücken durch Unterkonstruktion reduzieren

Flächen und Orientierung

- einzelne Paneele bis vollflächig über Fassade und Dach
- i.d.R. südorientierte Fassaden (Ost, West möglich)



- Energiesystem
- Kombination mit Gebäudebegrünung

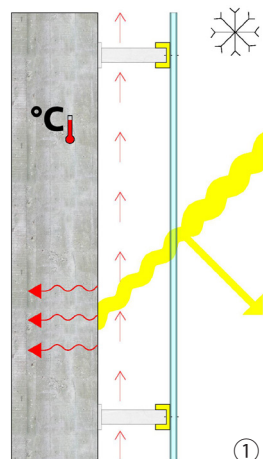
Abb. 126: ① Luftkollektorfassade (Glas-, Acrylglas-, Polycarbonatplatte, vorgehängt vor massiver Wand); ② mit Gerüstkletterpflanze. Schematische Darstellung der Konstruktion sowie Funktionsprinzipien für den Winter- ① sowie Sommerfall ②. (© Nicole Pfoser, 2013)

4.3.2 Luftkollektoren und Gebäudebegrünung

Luftkollektorfassaden werden als dynamische Dämmung und/oder für die Zuluftkonditionierung eingesetzt. Als dynamische Dämmung wird über transparente vorgehängte, hinterlüftete Fassadenelemente vor der Fassade eine Art Pufferzone gebildet, in welcher erwärmte Luft die dahinter liegende Speichermasse aufwärmt. Durch die solare Erwärmung kommt es zu einer natürlichen Luftbewegung der erwärmten Luft, welche z.T. durch Ventilatoren unterstützt wird. Im Sommer, wenn die solare Aufheizung der Fassade nicht erwünscht ist, wird die Fassade im oberen Bereich geöffnet, und die warme Luft über einen natürlichen Solarkamineffekt abgeführt.

Saisonale Abhängigkeiten

Durch die warme Luft in den Sommermonaten kann es trotz Luftstrom zu einer Überhitzung des Luftzwischenraums und damit zu einer unerwünschten Aufheizung der massiven Wand kommen. Dieser Effekt kann mit Hilfe einer Verschattung abgemindert werden. In den Wintermonaten ist hingegen eine Verschattung der Fassade nicht erwünscht.

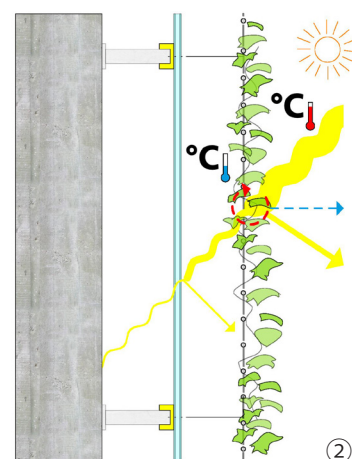


Synergie

Gebäudebegrünung kann vor Luftkollektoren als ein natürliches Verschattungssystem eingesetzt werden. Die zusätzliche Kühlung durch den adiabaten Kühleffekt kann dabei der Überhitzungsvermeidung zusätzlich dienen (siehe Kap. 4.2.4). Neben dem Prinzip einer Dämmung über solare Gewinne, wird so das System um eine weitere natürliche Komponente ergänzt.

Wirkung

Die verschattende Wirkung sowie die Wirkung des Kühleffektes von Gebäudebegrünung ist bereits in zahlreichen Messungen nachgewiesen worden. Die Verschattungsrate von Gerüstkletterpflanzen (am Bsp. Parthenocissus quinquefolia, Wisteria sinensis) kann bis zu 70 - 95 % erzielen [78] (siehe auch Kap. 4.2.3). In einer Messung des Kühleffektes konnte festgestellt werden, dass an heißen Sommertagen die Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur 2-5 K betragen kann. (siehe auch Kap. 4.2.5) Messungen der Wirkung auf eine Luftkollektorfassade sind hingegen noch nicht bekannt. Weitere Forschungsergebnisse wären hier wünschenswert.



Konstruktion und Begrünungssysteme

Luftkollektorsysteme sind in der Regel Fassadensysteme, können jedoch auch im Dach (i.d.R. Schrägdächer) zum Einsatz kommen. Da - wie bei einer TWD Fassade - nur eine temporäre Verschattung in den Sommermonaten gewünscht ist, kommen als Begrünungssysteme ausschließlich sommergrüne Gerüstkletterpflanzen für den Einsatz als außenliegender Sonnenschutz in Frage. Im Winter müssen die Systeme laublos sein und in Bezug auf die Konstruktion und Pflanzenwahl einen ausreichenden Durchgang der Solarstrahlung ermöglichen. Im Dachbereich sind solche Systeme auch denkbar, es muss jedoch ein natürlicher Abtransport von fallendem Laub gewährleistet werden. Eine gute Durchlüftung und Neigung der Fläche sollte demnach gegeben sein. Über Befestigungspunkte des Rankgerüsts können Wärmebrücken entstehen, die über thermische Trennungen reduziert werden können.

Fehlervermeidung

Äquivalent zu einer TWD Fassade gilt, dass ein Hitzestau hinter zu dichten

Bepflanzungen zu vermeiden ist. Eine Luftzirkulation über einen ausreichenden Abstand zu der Fassade sollte daher gewährleistet werden. [182]

Forschung und Beispielprojekte

In einem Gebäudemonitoring des Patchworkhauses (Pfeifer Kuhn Architekten) (Abb. 128) wurden die Temperaturen hinter einer Luftkollektorfassade erfasst [56].

Das Gebäude besitzt einen Luftkollektor, der die opaken Bauteile umschließt und sich in das Dach fortsetzt. Die Messungen zeigen, dass es in den Sommermonaten vor allem in den oberen Geschossen hinter der Kollektorfassade zu höheren Temperaturen kommen kann (siehe Abb. 129). Eine Verschattung über Gebäudebegrünung könnte an dieser Stelle eine hilfreiche Synergie darstellen.

Saisonale Überlagerung

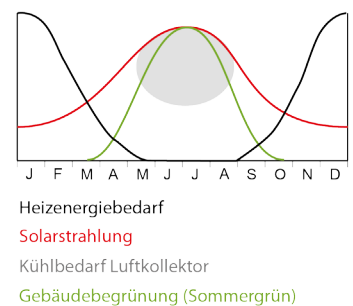


Abb. 127: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen Luftkollektor und sommergrünen Pflanzen in Bezug auf deren verschattende und kühlende Wirkung in den Sommermonaten. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

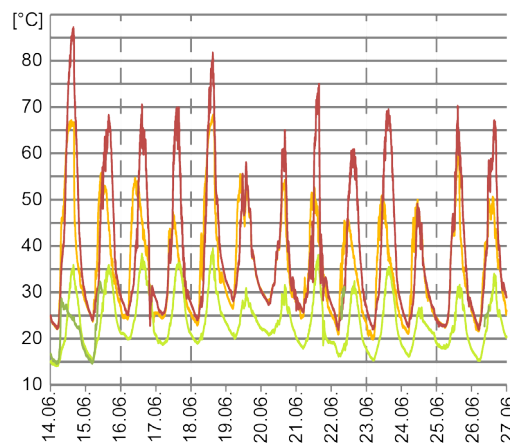
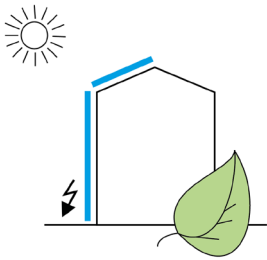


Abb. 128: unten links: Patchworkhaus, Müllheim (Pfeifer Kuhn Architekten, Foto: Fotostudio Ruedi Walti, Basel)

Abb. 129: unten rechts: Diagramm zu den Messergebnissen des Monitorings des Patchworkhauses im Fassadenzwischenraum des Luftkollektors im Juni 2012 (TU Kaiserslautern, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Hauskybernetik, Jun.-Ing. Angèle Tersluisen)



Bedarfsdeckung



Synergie

- Minderung der Oberflächentemperaturen durch adiabate Kühlung: bewirkt Wirkungsgradsteigerung
- Erhöhung des Effekts durch Bewässerung
- Substrat ersetzt Auflastsystem bei PV-Aufdachanlagen

Energetisches Potenzial

- Wirkungsgradsteigerung der PV von Aufdachanlagen von ca. 4 - 5 % möglich [161]

Bepflanzungsarten

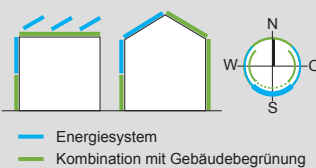
Moose, flachwurzelnde Stauden und Kleingehölze

Fehlervermeidung

- Verschattung vermeiden
- dauerhafte Verschmutzung vermeiden

Flächen und Orientierung

- Kombinationen in Dach und Fassade möglich
- ein Übereinander bzw. Nebeneinander für Kühleffekt erwünscht



— Energiesystem
— Kombination mit Gebäudebegrünung

4.4 Aktive Systeme und Maßnahmen

4.4.1 Photovoltaik und Gebäudebegrünung

Photovoltaik (PV) dient der regenerativen Stromerzeugung. Sie besitzt Eigenschaften, bei der Gebäudebegrünung leistungssteigernd wirken kann.

Thermisches Verhalten von PV

Als elektrisches Bauteil ist ihr Wirkungsgrad und die damit verbundene Leistung von der vorherrschenden Temperatur abhängig. Bei steigenden Temperaturen nimmt die Leistung durch eine Erhöhung des elektrischen Widerstandes ab. PV-Zellen können sich bei intensiver Sonnenstrahlung stark aufheizen. Gerade bei optimalen Bedingungen kann es daher zu Ertragsminderungen kommen. Kristalline Zellen reagieren unter den Zelltypen am empfindlichsten auf steigende Zelltemperaturen. Mit jedem Grad Temperatursteigerung liefern sie bis zu 0,5 % weniger Leistung [24]. Diese ist auf die unter den Normtestbedingungen (STC) bestimmte Nennleistung (kWp) bezogen, die pro m² bei 1.000 Watt Einstrahlung und 25 °C Zelltemperatur gemessen wird. Die Leistungsminde- rung gibt der so genannte Temperatur- Koeffizient an. Dieser reicht von +/- 0,3 %/K bis +/-0,5 %/K, je nach Zelltyp. Bei hoher Sonneneinstrahlung im Sommer können sich Module bis 80 °C aufheizen und dabei ihre Leistung um mehr als 25 % gegenüber ihrer Nennleistung reduzieren [86]. Allgemein sind Solar- module daher mit einer Hinterlüftung versehen. Die vorbeistreichende Luft kühlt die Zellen ab und hält die Leis- tungsfähigkeit möglichst hoch.

Synergie

Kühleffekte durch die adiabate Küh- lung von Gebäudebegrünungssystemen können die Aufheizung der Umgebungs- temperatur mindern und haben so einen positiven Einfluss auf die Leistung der

Module. Oberflächentemperaturen und langwellige Wärmestrahlung wird redu- ziert; so besitzen z. B. die Flachdachbe- grünungen in Kombination mit PV- Aufdachanlagen einen deutlichen Vorteil gegenüber Kies- oder Bitumendächern. Bei bewässerten Grünanlagen ist dieser Effekt noch erhöht. Zusätzliche Syner- gieeffekte können erzeugt werden, wenn aufgeständerte Auflast-PV-Systeme mit der Auflast des Substrats beschwert werden können. Dadurch ist eine gleich- mäßige Lastverteilung gegeben und es können Punktlasten durch Betonplatten vermieden werden. Eine weitere positive Synergie kann genutzt werden, wenn eine kontrollierte Bewässerung der Bau- werksbegrünung vorliegt. So ist denkbar, den Wasserkreislauf zu erweitern und über die Module zu führen, worüber eine zusätzliche Modulkühlung und -reinigung erzielt werden kann.

Wirkung

Der Kühleffekt von Gebäudebegrünung ist bereits durch Messungen nachge- wiesen worden. Die Oberflächentem- peraturen begrünter Flächen bleiben dabei nahe an der Außentemperatur im Gegensatz zu anderen Materialien wie Kies oder Bitumen, die starke Tempera- turschwankungen erfahren. So ist zum Beispiel bei einer Außentemperatur von 20 °C bei einem begrüntem Flachdach mit 25 °C eine ähnliche Temperatur im Gegensatz zu einem Kiesdach mit 40 °C zu messen [81; 78, S. 30]. Für Flach- dachsysteme benennen Firmen von Begrünungssystemen dadurch bedingte Leistungssteigerungen von PV-Aufdach- systemen von 4 - 5 % im Vergleich zu Bitumendächern [161].

Da in den Sommermonaten die höchste Solarstrahlung vorliegt und bedarfsun- abhängig in das Netz eingespeist werden



Abb. 130: PV-Aufdachanlage mit extensiver Dachbegrünung (Foto: ZinCo GmbH)

kann, sind 4 % Leistungsgewinn bereits vorteilhaft. Die Wirkungsgradsteigerung durch den Kühleffekt ist bei Flachdachanlagen damit bekannt, jedoch auch in integrierten Dach- und Fassadensystemen denkbar. Dabei muss jedoch ein Neben- bzw. Untereinander der Systeme berücksichtigt werden, so dass der Luftstrom einer Hinterlüftung zunächst die Begrünung passiert. Durch die warme Luft der Module ist ein „Solarkamineffekt“ in der Hinterlüftungsebene denkbar.

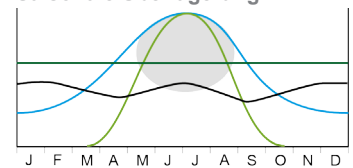
Bei einer alleinigen Anwendung von Gebäudebegrünung aufgrund der Wirkungsgradsteigerung könnte wirtschaftlich die Rechnung nicht ganz aufgehen. In einer ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müsste der Mehraufwand eines Begrünungssystems, dessen Bewässerung, Pumpenstrom und Wartung, dem Leistungsgewinn gegengerechnet werden. Hier kann es sein, dass die Dachbegrünung die Kostenersparnis über die Photovoltaik nicht aufwiegt. Jedoch ist eine Gebäudebegrünung nicht allein für den Zweck der Wirkungsgradsteigerung von PV zu wählen. Gestaltung, Schutz von Bau-

teilen, Regenwasserspeicherung und zusätzliche Verdunstungsflächen sind positive Eigenschaften, unter denen die Leistungssteigerung von PV einen ergänzenden und bei einer Sowiemaßnahme nicht zu vernachlässigenden Vorteil darstellt. Zudem sind extensive Dachbegrünungen i.d.R. unbewässert.

Konstruktion und Begrünungssysteme Dach

Aufdach-PV-Systeme können am einfachsten mit Flachdach-Begrünungssystemen kombiniert werden. Auf dem Markt sind solche Systeme bereits als Komplettlösungen (PV-Unterkonstruktion mit Flachdachbegrünungssystem) verfügbar. Bei Flachdachsystemen ist zu beachten, dass die Vegetation niedrig bleibt, um eine Verschattung der Module zu vermeiden. Sie muss von einer ausreichenden Regenwassermenge und Sonnenstrahlung erreicht werden, damit die Begrünung im modulnahen Raum gewährleistet werden kann. Eine Verschattung durch die Module muss bei der Wahl der Pflanze berücksichtigt werden. Schrägdachanlagen können ebenfalls mit modularen Schrägdachsystemen ergänzt werden. Hierbei werden

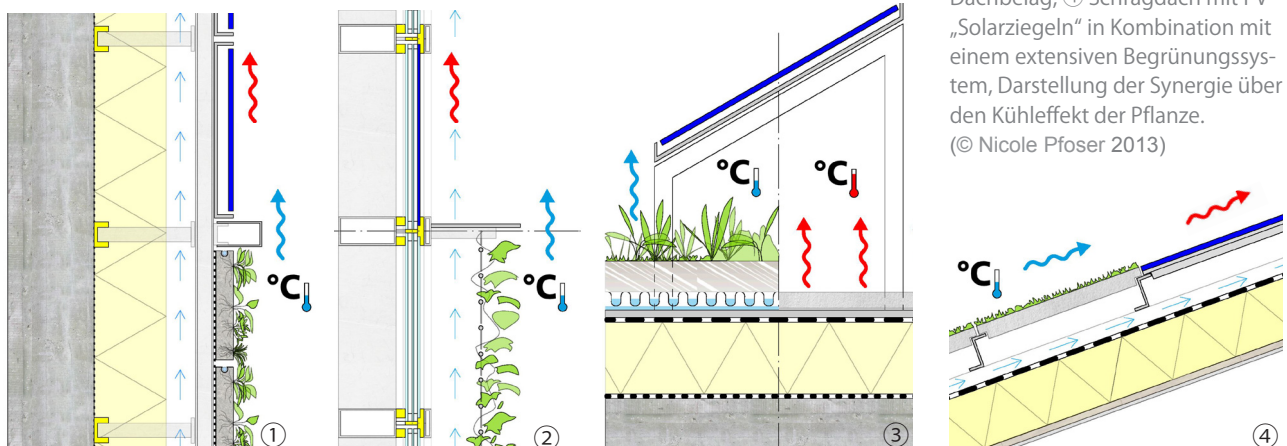
Saisonale Überlagerung



Strombedarf
Solarstrahlung / Stromerzeugung
Kühlbedarf PV
Gebäudebegrünung (Sommergrün)
Gebäudebegrünung (Immergrün)

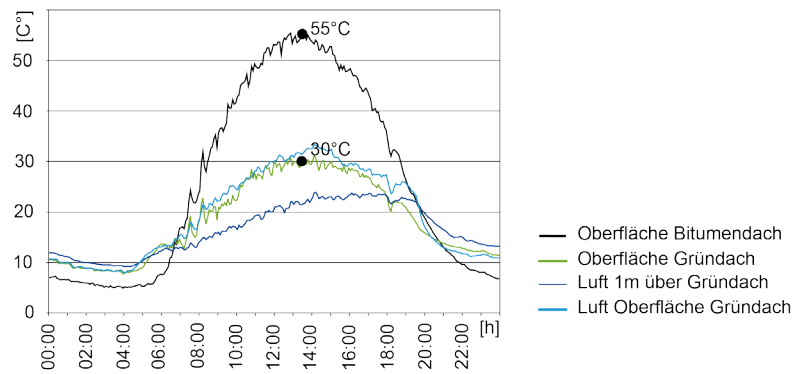
Abb. 131: Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen dem Kühlbedarf der Module in den Sommermonaten durch sommerwie auch immergrüne Gebäudebegrünung. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

Abb. 132: Konstruktive Kombinationsmöglichkeiten von PV und Gebäudebegrünung: ① vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit PV-Paneel und wandgebundener Begrünung; ② Pfosten-Riegel-Fassade mit integrierter PV-Scheibe und bodengebundener Begrünung; ③ Flachdach mit aufgeständerter PV-Anlage und extensiver Gebäudebegrünung im Vergleich zu einem konventionellen Dachbelag; ④ Schrägdach mit PV-„Solarziegeln“ in Kombination mit einem extensiven Begrünungssystem, Darstellung der Synergie über den Kühleffekt der Pflanze. (© Nicole Pfoser 2013)



Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

Abb. 133: Temperaturverlauf einer Oberflächentemperaturmessung im Juni auf einem extensiv begrünten Flachdach im Vergleich zu einem Bitumendach in der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof (nach Schmidt, M. (2003))



die Systeme jedoch nicht wie bei Flachdachsystemen überlagert, sondern sind nebeneinander denkbar.

Fassade

Bei fassadenintegrierten PV-Systemen, wie vorgehängten, hinterlüfteten oder Pfosten-Riegel-Fassaden, sind boden- sowie fassadengebundene Begrünungssysteme in Kombination denkbar. Bei fassadengebundenen Begrünungstechniken kann die Nutzung der gleichen Unterkonstruktion einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade, die bei beiden Systemen auf hohe Lasten ausgelegt werden muss, eine positive Synergie darstellen.

Da keine saisonale Abhängigkeit besteht, sind immergrüne sowie sommergrüne Bepflanzungen möglich. Hierbei dürfen PV-Module nicht verschattet werden. In einer Kombination mit PV muss daher ein ausreichender Abstand sowie Ausbreitungs-Begrenzungen mit ausreichend stabilen Blechstegen (aus nicht rostendem Stahl oder Metall) passend zur Bewuchsdicke berücksichtigt werden. Zudem ist möglichst ein Einsatz von negativ phototropen (lichtfliehenden) Pflanzen zu vermeiden. Sie können in jede Art von Fuge und somit hinter die Module wachsen.

Flächenbedarf

Die Flächeninanspruchnahme von PV ist bedarfsunabhängig und kann große Teile der Gebäudehülle in Anspruch nehmen. Da jedoch in der Regel südorientierte und stark geneigte Flächen, wie auch aufgeständerte Systeme angewandt werden, bildet PV nicht zwingend eine Flächenkonkurrenz zur Gebäudebegrünung. Flachdächer können gemeinsam genutzt werden, steile und südorientierte Schrägdächer bleiben der

solaraktiven Nutzung, Nord- sowie in der Regel West- und Ostrichtungen der Begrünung vorbehalten. Zudem bieten Flächenkombinationen - nicht nur auf dem Flachdach - eine Synergie zur Wirkungsgradsteigerung.

Fehlervermeidung

Photovoltaik besitzt eine hohe Verschattungsempfindlichkeit. Bereits kleinste Verschattungen von einzelnen Zellen können den Ausfall von ganzen Modulen bedingen. Die Leistungsminderung verhält sich dadurch überproportional zu der tatsächlich verschatteten Fläche. Teilverschattungen sind daher zu vermeiden. Begrünungen müssen so gewählt und gepflegt werden, dass Pflanzen die Module nicht verschatten oder Pollenstaub dauerhafte Ablagerungen bildet. Ein Selbstreinigungseffekt der Module bei Regen sollte durch eine ausreichende Neigung gegeben sein. Zudem sollte bei der Installation auf eine hohe Qualität der Leitungsführungen geachtet werden. Strom und Wasserkreisläufe sind strikt zu trennen.

Forschung und Beispielprojekte

Beispielhafter Nachweis der kühlenden Wirkung anhand einer Dachbegrünung:

Auf dem Gründach der UFA-Fabrik in Berlin Tempelhof wurden Temperaturmessungen im Vergleich zu einem benachbarten unbegrünten Bitumendach durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass in den sommerlichen Mittagsstunden Gründächer deutlich kühler sind als unbegrünte Dächer (siehe Abb. 133). Die Messungen ergaben, dass bei Oberflächentemperaturen von 55 °C des Bitumendaches das Gründach nur 30 °C aufwies. Die Dachbegrünung liegt damit deutlich näher an der Umgebungstemperatur und wirkt im Vergleich



Abb. 134: links: Photovoltaik-Aufdachanlage mit Dachbegrünung (Foto: ZinCo GmbH)

Abb. 135: rechts: Messanlage auf Versuchsdach der Fa. ZinCo: Im Vordergrund Module 1 und 2 auf einer Bitumenfläche, im Hintergrund das Modul 3 auf der Dachbegrünung (Foto: ZinCo GmbH [161])

zu einem Bitumendach temperatur-senkend. [78]

In den Mittagsstunden ist die Solarstrahlung, aber auch die Tagestemperatur am höchsten. Die Dachbegrünung begünstigt über eine kühlere Oberfläche die Leistung einer Photovoltaikanlage zu der Zeit, in der mit dem höchsten Ertrag im Tagesgang gerechnet werden kann.

Beispielhafter Nachweis der Wirkungsgradsteigerung einer aufgeständerten PV-Anlage durch die kühlende Wirkung einer Dachbegrünung:

Im Unterschied zu der voran beschriebenen Messung, ist bei der folgenden Untersuchung die direkte Wirkung auf das Modul untersucht worden.

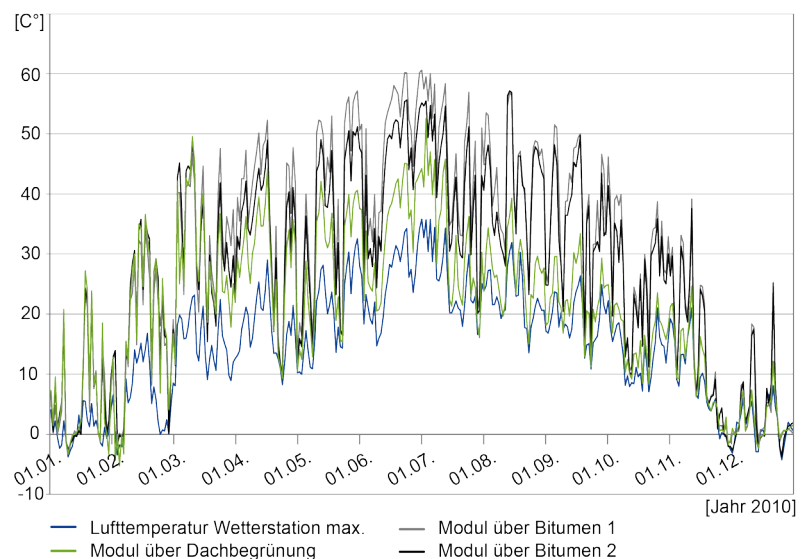
Die Firma ZinCo hat eine 3-jährige Messung durchgeführt, um die Leistungssteigerung von PV-Aufdachanlagen zu quantifizieren. Die Versuchsanlage (siehe Abb. 135) bestand aus drei Modulen, 2 Module auf einem Bitumendach (Modul 1 und 2) sowie ein Modul über einer Flachdachbegrünung (Modul 3). Über 27 Sensoren wurden u.a. die Zelltemperatur an der Modulunterseite erfasst. Allgemein konnte eine höhere Modultemperatur über dem Bitumendach im Vergleich zu dem Modul über der Dachbegrünung festgestellt werden. Die durchschnittliche Temperaturdifferenz betrug 8 K (Bezugsjahr 2010) (siehe Abb. 136). In Bezug auf einen Temperatur-Koeffizienten von 0,5 %/K (Bsp. Kristallin) kann ein Solarmodul über einer Dachbegrünung eine 4 %-tig höhere Leistung ($0,5 \text{ \%/K} * 8 \text{ K} = 4 \text{ \%}$) im Vergleich zu einem Bitumendach erzielen. [161]

Diese Leistungssteigerung differiert je nach Zelltyp. Bei einem temperatur-unempfindlicheren Dünnschichtmodul mit einem Temperatur-Koeffizient von

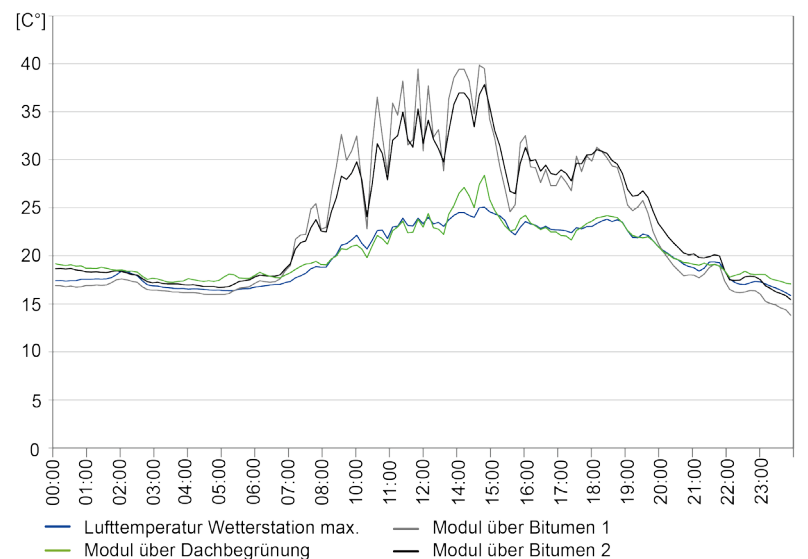
0,3 %/K kann eine Leistungssteigerung von 2,4 % ($0,3 \text{ \%/K} * 8 \text{ K} = 2,4 \text{ \%}$) im Vergleich zu einem Bitumendach erzielt werden. Wenn auch etwas geringer, ist ein wirtschaftlicher Vorteil sowohl bei kristallinen Modulen als auch bei Dünnschichtmodulen gegeben.

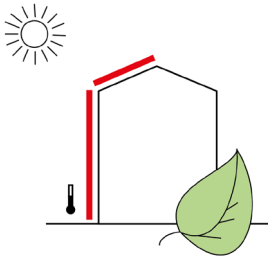
Abb. 136: Temperaturmessung der Versuchsanlage von PV-Modulen auf einem Bitumendach und über Dachbegrünung: im Jahresgang (oben) und im Tagesgang (unten) (ZinCo GmbH [161])

Modul-Temperatur im Jahresgang über Bitumen- und Gründach (2010)

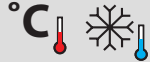


Modul-Temperatur im Tagesgang über Bitumen- und Gründach (06.07.2009)





Bedarfsdeckung



Konkurrenz

- Leistungsminderung durch Verdunstungskühlung und Verschattung möglich

Energetische Beeinflussung

- Leistungsminderung durch adiabate Kühlung eher gering: Durch Wärmeüberschüsse in den Sommermonaten nicht so gewichtig

Bepflanzungsarten

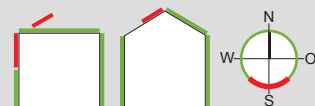
- flache Gewächse für Dach- und Fassadenbegrünung bevorzugen

Fehlervermeidung

- Verschattung vermeiden
- Abstand zu Verteil- und Sammelleitungen: hohe Temperaturen

Flächen und Orientierung

- Kombinationen in Dach und Fassade möglich



- Energiesystem
- Kombination mit Gebäudebegrünung

4.4.2 Solarthermie und Gebäudebegrünung

Solarthermie dient der Wärmeerzeugung. Auf den ersten Blick stellt Gebäudebegrünung durch ihre kühlende Wirkung für diese Funktion eine Konkurrenz dar. Messungen zu der Beeinflussung von Gebäudbegrünung auf Solarkollektoren sind nicht bekannt. Dennoch ist die Beeinflussung gering einzustufen, wie folgende Einschätzungen darstellen.

Konkurrenz

Der Wirkungsgrad der Solarthermie ist von der direkten Solarstrahlung, aber auch der Umgebungstemperatur abhängig. Je größer die Differenz zwischen Außenluft und Absorber, umso höher der Wärmeverlust des Kollektors. Verdunstungskühlung und Verschattungen können daher leistungsmindernd wirken. In den Sommermonaten können die Temperaturdifferenzen zwischen Absorber und Außenluft sehr hoch liegen. Typische Betriebstemperaturen von Flachkollektoren liegen bei 60-90 °C [159]. Wird die Temperatur der Außenluft durch Gebäudebegrünung abgesenkt, steigt der Leistungsverlust. Da Solarthermie bereits im April den Warmwasserbedarf decken soll, erzeugt

sie aufgrund ihrer Auslegung von Mai bis August ungenutzte Überschüsse. Gemäß der Untersuchung in Abb.137 ist die Leistungsminderung durch den Effekt der adiabaten Kühlung eher gering einzuschätzen. Bei einer Zunahme der Temperaturdifferenz von ca. 7 K ist bei einem aufgeständerten Flachkollektor (FLK) mit einer ca. 4 %igen Wirkungsgradabnahme zu rechnen, der Nutzungsgrad sinkt um ca. 1 %.

Die Leistungsbeeinflussung durch die Temperaturdifferenz ist kollektortypabhängig. FLK besitzen eine höhere Empfindlichkeit im Vergleich zu Vakuumröhrenkollektoren (VRK). Offene Absorber sind i.d.R. einfach verlegte Kunststoffrohre auf Dachflächen. Sie profitieren von warmen Flächen und sollten daher nicht mit Begrünung kombiniert werden.

FLK werden bevorzugt für eine optimale Ausnutzung der Solarstrahlung steil (> 30°) aufgestellt oder in Schrägdächer integriert. Auf einem Flachdach aufgeständert sind sie luftumspült. In Kombination mit extensiver Dachbegrünung auf einem Flachdach ist somit ein ausreichender Abstand zur Begrünung gegeben. Als Synergie kann das Begrü-

Abb. 137: Theoretische Betrachtung einer Wirkungsgradminderung eines FLK im Sommerfall im Vergleich zu einer extensiven Dachbegrünung (V1) zu einem Bitumendach (V2). Die Ermittlung wird über die Temperaturdifferenz zwischen Absorber- und Außentemperatur vorgenommen. Die Temperaturen über Dach stammen aus realen Messungen [156]. Im Vergleich zu einem Bitumendach senkt die hier angenommene Dachbegrünung den Wirkungsgrad des FLK um 4 %. (TU Darmstadt, FGee, nach [160])

Beispiel einer Wirkungsgradsenkung eines Flachkollektors durch eine Dachbegrünung im Sommerfall (Annahme 30 °C Außentemp.)

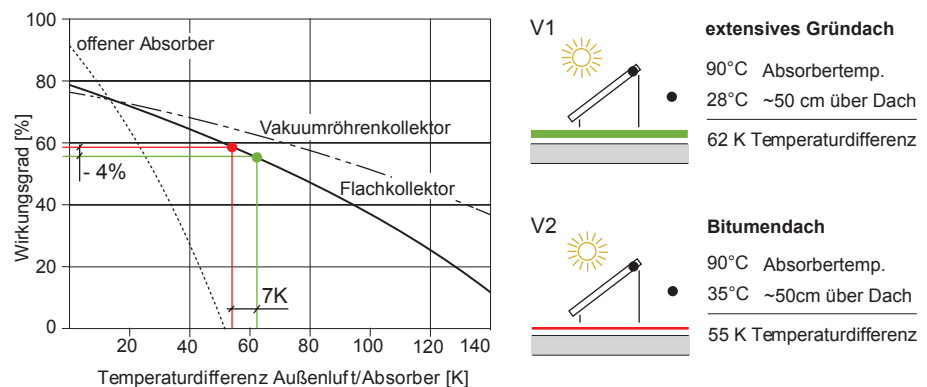




Abb. 138: Flachkollektoren in Kombination mit Gründach, Südorientierung, Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg (Feist, W. et al.(2001))

nungssystem die notwendige Auflast für die Aufständering übernehmen. VRK werden auch flach montiert. Hier ist in der Vertikalen ein ausreichender Abstand zur Begrünung zu bedenken. Bei VRK wirken Temperaturdifferenzen im Vergleich zu FLK weniger leistungsmindernd.

Saisonale Abhängigkeiten

Die jährliche Nutzungsdauer von solarthermischen Anlagen ist an die jeweilige Bedarfsdeckung gebunden. Der Bedarf der Warmwasserbereitung liegt ganzjährig vor, die Heizungsunterstützung ist vor allem im Winterhalbjahr (antizyklisch zur vorhandenen Solarstrahlung) erforderlich. In dieser Zeit sollten leistungsmindernde Faktoren wie Verschattung besonders vermieden werden.

Konstruktion und Begrünungssysteme

Die Kombinationsmöglichkeiten von Solarthermie und Begrünung betreffen sowohl Flachdach-, Schrägdach- als auch Fassadenbegrünungen. Wichtig ist die nicht verschattende Wirkung; so sind flache Gewächse auf dem Dach oder in der Fassade bzw. die dortige sommergrüne Pflanzen zu bevorzugen.

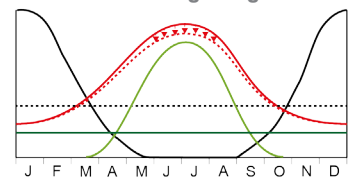
Flächenbedarf

Aufgrund ihres Bedarfbezugs nehmen Solarthermieanlagen im Vergleich zu Photovoltaikanlagen kleinere Flächen (5-15 m²) in Anspruch. In Dach und Fassade sind somit Flächenkombinationen möglich. Wichtig ist, einen Abstand zur Verschattungsvermeidung bzw. wuchsbegrenzende Vorrichtungen vorzusehen.

Fehlervermeidung

Aufgrund der Wärmeabgabe des Absorbers können die Absorbentemperaturen erhöht sein. FLK erreichen auf der Vorderseite max. 50 °C [158], rückwärtig sind sie gedämmt. Bei einem VRK bleiben die Röhren aufgrund des Vakuums kalt, im Gegensatz zur Verteilleitung, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften (Metall oder dunkler Kunststoff) hohe Temperaturen erreichen können. Dies ist bei einer Kombination mit Begrünung zu berücksichtigen, hier ist ein Abstand einzuplanen. Unter aufgeständerten Anlagen muss zudem eine Verschattung der Pflanzen berücksichtigt und eine ausreichende Wasserversorgung ermöglicht werden.

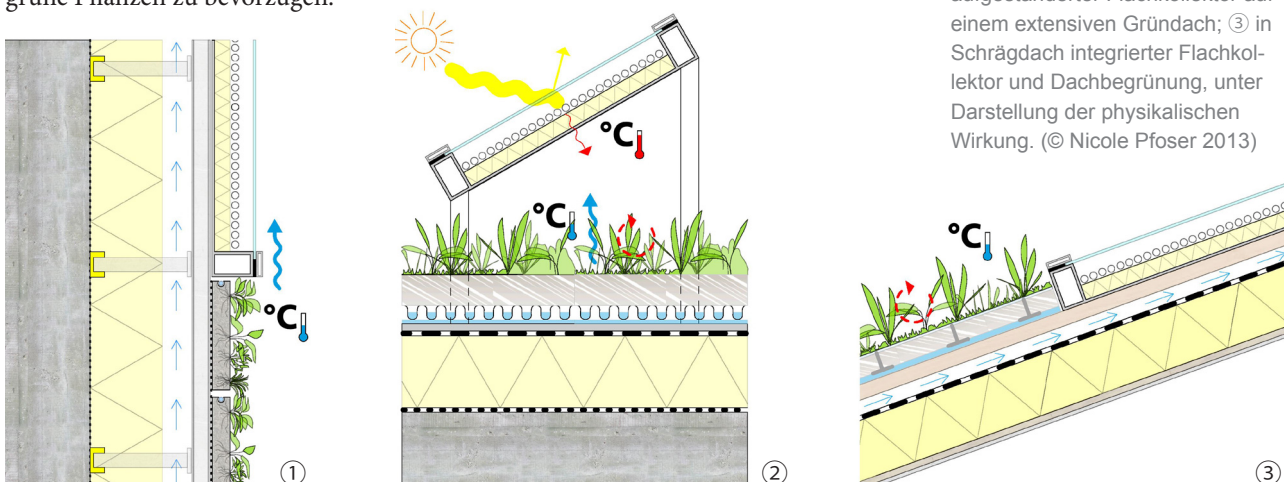
Saisonale Überlagerung

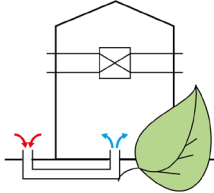


Heizenergiebedarf
 Warmwasserbedarf
 solare Wärmeerzeugung
 Abminderung der Wärmeerzeugung
 Gebäudebegrünung (Sommergrün)
 Gebäudebegrünung (Immergrün)

Abb. 139: Qualitative Darstellung der Abminderung der Wärmeerzeugung durch eine erhöhte Temperaturdifferenz (Außenluft/Absorber) in den Sommermonaten. (TU Darmstadt, FGee/FGef)

Abb. 140: Konstruktive Kombinationsmöglichkeiten von PV und Gebäudebegrünung: ① vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit Flachkollektor und einer wandgebundenen Fassadenbegrünung; ② aufgeständerten Flachkollektor auf einem extensiven Gründach; ③ in Schrägdach integrierter Flachkollektor und Dachbegrünung, unter Darstellung der physikalischen Wirkung. (© Nicole Pfoser 2013)





Bedarfsdeckung



Synergie

- Kühleffekt durch adiabate Kühlung und Verschattung erwünscht
- Kühlere Oberflächen im Sommer
- Minderung von Temperatur-extremen
- Kein Eintrag von Pollen durch Filter
- Staubfilterung durch Begrünung

Energetisches Potenzial

- Temperaturdifferenzen von 2 - 10 K im Vergleich zu Natursteinfassaden im Sommer (betrifft dezentrale Systeme)
- Temperaturdifferenzen von bis zu 20 K im Vergleich zu Bitumendach im Sommer (betrifft zentrale Anlagen über Dach)
- Mit WRG kein merklicher Vorteil; im Bypassbetrieb von Relevanz
- Luftbefeuchtung (20 - 40 % höhere r. F. im Sommer möglich)

Bepflanzungsarten

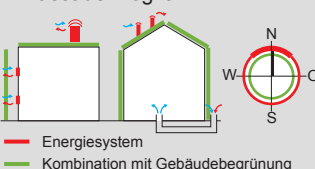
- alle Gebäudebegrünungsarten betreffend

Fehlervermeidung

- Vermeidung des Eintrags von erhöhter Luftfeuchte an schwülwarmen Tagen
- Vermeidung des Eintrags von Stäuben, Bakterien
- gem. DIN 1 m Abstand der Gebäudebegrünung von Frischluftansaugung

Flächen und Orientierung

- Kombinationen in Dach und Fassade möglich



4.4.3 Kontrollierte Lüftung und Gebäudebegrünung

Über die maschinelle Lüftung wird ein Gebäude kontrolliert mit Frischluft versorgt, bzw. Luft abgeführt. Im Folgenden wird sich auf zentrale sowie dezentrale Zu- und Abluftsysteme bezogen und der Einfluss von Gebäudebegrünung betrachtet.

Über eine kontrollierte Lüftung können neben der Frischluftversorgung Lüftungswärmeverluste vermieden und bei Bedarf die Luft konditioniert, d.h. gekühlt oder gewärmt werden. Die Lüftungswärmeverluste werden über die Kopplung an eine Wärmerückgewinnung reduziert. Konditionierungen können über die Frischluftführung durch erdverlegte Rohrleitungen, so genannte Erdregister, erfolgen. Für zusätzliche Kühlzwecke kann die Zuluft über Wasser- oder Grünflächen angesaugt werden. Im Gegenstromverfahren kann die Zuluft über das Versprühen von Wasser in der Abluft über dessen Verdunstung gekühlt werden. Die Zuluft ist in der Regel 60 cm über Dach und 3 m über Gelände anzusaugen.

Das Prinzip des Ansaugens über Grünflächen ist theoretisch auch auf die Luftansaugung an der Gebäudehülle übertragbar. Wichtig ist hier jedoch zu unterscheiden, ob - wie bei dem Erdkanal - ausschließlich die Wärme bzw. Kälte über ein Gegenstromprinzip getauscht wird.

Synergie/Konkurrenz

Mit Gebäudebegrünung, ihrem adiabaten Kühleffekt und ihrer Verschattungswirkung stellen sich Oberflächen im Sommer im Vergleich zu anderen Hüllmaterialien, wie Naturstein oder Beton, in der Regel kühler dar. Bei einer dezentralen Luftansaugung über die Fas-

sade leistet die Begrünung damit einen ähnlichen Effekt, wie eine Ansaugung an einem schattigen, kühlen Ort und besitzt gegenüber Fassaden ohne Begrünung einen Vorteil. Dieser Vorteil ist jedoch nur zu spüren, wenn keine Wärmerückgewinnungsanlage zwischengeschaltet ist, wie in einem Bypassbetrieb in den Übergangszeiten, bei der die Wärmerückgewinnung nicht genutzt wird, oder bei Abschaltung der mechanischen Lüftung im Sommer (siehe Kap. 4.2.5). Im Winter kann eine puffernde Wirkung der Pflanze bei einem Einsatz einer Wärmerückgewinnung hingegen keinen großen Vorteil bieten (siehe Abb.143). Bei einer 90 %igen Wärmerückgewinnung beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Zuluft nur noch 10 %. Im gleichen Maß sinkt der Effekt der Gebäudebegrünung.

Ein weiterer Synergieeffekt ist, dass Begrünung luftbefeuchtend und staubfilternd wirkt. Wie bei der natürlichen Lüftung (siehe Kap. 4.2.5) kann jedoch an schwülwarmen Tagen die Luftfeuchtigkeit über die Behaglichkeitsgrenze von 70 % r.F. ansteigen und bei einem Raumeintrag nachteilig sein. Dies gilt es daher zu vermeiden.

Wirkung

Da der Einfluss der Technik über die Wärmerückgewinnung sehr hoch ist, wird bei mechanisch gelüfteten Gebäuden der Einfluss von Gebäudebegrünung mittel bis gering eingeschätzt. Genaue Untersuchungen sind nicht bekannt.

Saisonale Abhängigkeiten

Der Frischluftbedarf besteht ganzjährig. Hinzu kommen im Winter ein Wärme- und im Sommer ein Kühlbedarf. Auf diese kann saisonal über Wärme-



Abb. 141: Gründach mit Zuluft und Abluft über Gründach, Nordorientierung, Passivhaussiedlung, Hannover Kronsberg (Feist, W. et al.(2001))

rückgewinnung oder die Vorkonditionierung der Luft über ein Erdregister reagiert werden. Gebäudebegrünung kann in den Sommermonaten - dann, wenn ein Kühlbedarf besteht - über die Kühlung der gebäudenahen Luftschicht im Vergleich zu sich stark aufheizenden Oberflächen für die Zuluftansaugung einen Vorteil bieten.

Konstruktion und Begrünungssysteme

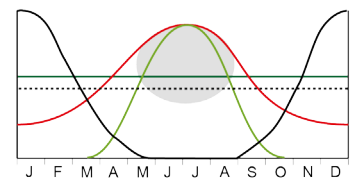
Für die Kombination von maschinellen, kontrollierten Lüftungssystemen mit Begrünungen sind alle kühlenden/verschattenden Pflanzungen im Einzugsbereich der Ansaugluft nutzbringend.

Fehlervermeidung

Bei der Luftansaugung muss eine Vermeidung von Verunreinigungen (Pollen, Stäuben, Bakterien) sowie Gerüchen, Abgasen und Kleintieren sichergestellt werden.

Gemäß DIN muss bei einer Dachbegrünung die Zuluftführung über das Dach mit einem Meter Abstand zu der Gebäudebegrünung erfolgen, um eine Luftverunreinigung des Systems zu vermeiden. Gegen den Eintrag von Kleintieren und Stäuben sind Insektengitter/Filter angebracht. Für eine dezentrale Luftansaugung über die Fassade wird von gleichen Bedingungen ausgegangen.

Saisonale Überlagerung



Frischlufbedarf
 Heizenergiebedarf
 Solarstrahlung
 Kühlbedarf
 Gebäudebegrünung (Sommergrün)

Abb. 142: Qualitative Darstellung der Abminderung der Wärmezeugung durch eine erhöhte Temperaturdifferenz (Außenluft/Absorber) in den Sommermonaten. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

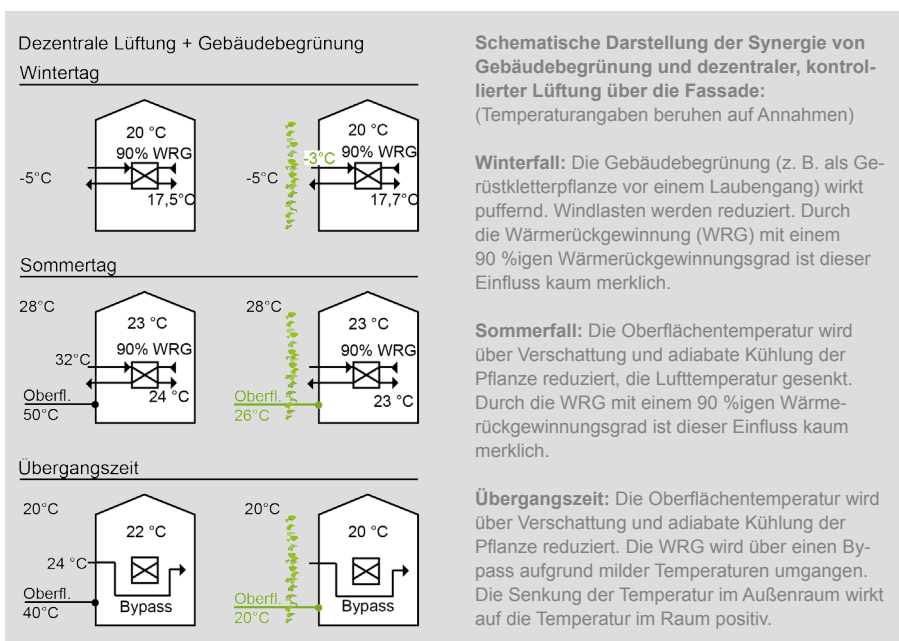
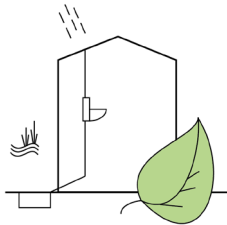


Abb. 143: Theoretische Betrachtung einer dezentralen kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung mit thermischem Effekt einer vorgelagerten Gebäudebegrünung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)



Bedarfsdeckung



Synergie

- direkte Kühlung des Bauwerks im Sommer (adiabate Kühlung)
- Filterung des Regenwassers (Aufbereitung für technische Kühlzwecke)
- Rückhalt des Regenwassers
- Vermeidung von Kanalisationsbelastung bei Starkregenereignissen

Energetisches Potenzial

- Nachweis auf wenige Modellprojekte beschränkt
- Temperatursenkung 2,5 - 10 K
- Wasserrückhaltekapazität bis 90 % (je nach Substrat und Anstauhöhe)
- Wasserspeicherung bis zu 50 l/m²

Bepflanzungsarten

- Dachbegrünung:
- Feuchtdach (Wasserschicht unter, innerhalb, über Substrat)
- Repositionspflanzen (in Wasser)

Fehlervermeidung

- Sichere Dachabdichtung
- Umkehrdächer, Dächer mit nachträglicher Dämmung ungeeignet

Flächen und Orientierung

- Dach



4.5 Regenwassernutzung und Gebäudebegrünung

Wasser ist eine wichtige Ressource und im Klimasystem gleichzeitig ein wichtiger Energieträger. Trinkwasserverbrauch und Abwassermengen sollten durch geeignete bauliche und technische Maßnahmen (z. B. wassersparende Armaturen) begrenzt werden. Zusätzlich ist vielerorts die Nutzung von Regenwasser und Grauwasser (einmal genutztes, nicht stark verschmutztes Wasser) zu empfehlen. Um Wasser als Ressource effizient zu nutzen, kann es für einzelne Bedarfe mehrfach genutzt werden. Zum Beispiel kann aus Regenwasser zunächst Grauwasser und danach Schwarzwasser (fäkalhaltiges Wasser) entstehen. Regenwasser eignet sich z. B. zur Toiletenspülung oder Gartenbewässerung, aber auch für technische Kühlzwecke. Eine notwendige Filterung vor der Nutzung kann durch eine Flächenbegrünung der Regenwassersammelflächen unterstützt werden [23].

Synergie

Gebäudebegrünung kann an dieser Stelle zur Nutzung von Regenwasser beitragen. Über sogenannte Retentionsdächer (siehe Abb.144) kann die Begrünung das Regenwasser rückhalten, reinigen, Schadstoffe filtern und über Wasserflächen zur direkten Kühlung des Bauwerks bzw. indirekt über die Nutzung des Regenwassers zu technischen Kühlzwe-

cken (z. B. Wärmetauscher) dienen.

Als Bauwerksbegrünung wurden solche Systeme bereits in Form von multifunktionaler Dachvegetation (Retentionsdächer mit Repositionspflanzen) in Modellvorhaben realisiert. Multifunktionale Dachvegetation kann besonders bei Gebäuden, bei denen ein hoher Bedarf an Klimatisierung von Räumen oder Energieeinsparung bei der Rückkühlung von Energiekreisläufen besteht, zum Einsatz kommen [11]. Regenwasser ist für den Einsatz für Kühlzwecke besonders günstig, da es gegenüber dem Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz einen geringeren Anteil gelöster Stoffe besitzt und eine Aufbereitung (entsalzen/enthärten) entfallen kann [28].

Wirkung

Der Nachweis der Wirkung ist noch auf wenige Modellprojekte beschränkt, zeigt sich jedoch dort vorteilhaft. Das Ziel dieser begrünten Dachbauweise ist die Regenwasser-Rückhaltung zu klimatischen, pflanzenspezifischen oder verfahrenstechnischen Zwecken (Industrie – z.B. Fa. John Deere, Mannheim). Auch die Reduktion der Regenwasserableitung insgesamt und besonders die Vermeidung ihrer Spitzenwerte bei Starkregen kann im Umfang des Retentionsvermögens verbessert werden. Die verschiedenen Systeme begünstigen unter

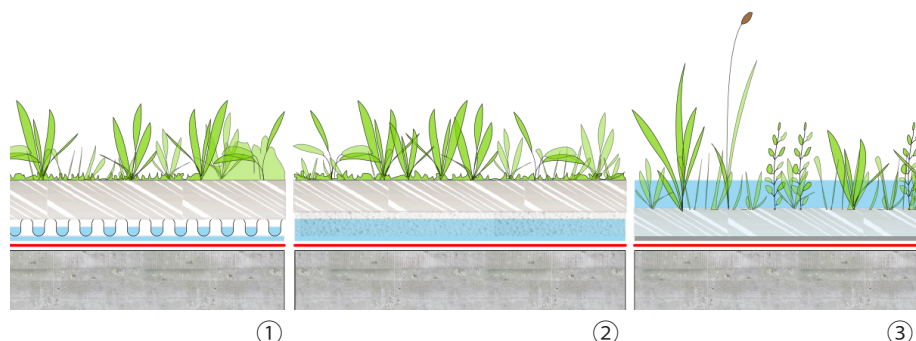


Abb. 144: Systematische Darstellung der verschiedenen Feuchtdach-Typen (Retentionsdächer); Regulierte Wasserführung unter Substrat ①, in Substrat ②, auf Substrat ③ (© Nicole Pfoser 2013)



Berücksichtigung verschiedener Substrathöhen eine Wasserrückhaltekapazität von bis zu 90 %. Die Wasserspeicherung beträgt bis zu 50 l/m². Eine zusätzlich temporäre Wasserspeicherung kommt bei einigen Systemen mit 53 l/m² hinzu. Die mit der Kühlenergie der Pflanzen erreichte Temperaturdifferenz beträgt 2,5 - 10 K je nach Dimensionierung [11]. Über eine „geflutete“ Dachfläche kann so der darunter liegende Raum (je nach Dämmstandard) direkt gekühlt oder eine Rückkühlung von verfahrenstechnisch genutztem Regenwasser erzielt werden. In einem Projekt konnte die Temperaturspanne auf einem Feuchtdach von -5 °C im Winter bis +70 °C im Sommer auf die Werte -5 °C im Winter bis +30 °C im Sommer reduziert werden [10]. Die Artenvielfalt der Fauna wird durch Wasserflächen und Repositionspflanzen zudem erhöht. Feuchtdächer bieten einen andersartigen Lebensraum und bedeuten daher eine positive Erweiterung für die städtische Fauna.

Konstruktion und Begrünungssysteme

Es wird in drei Typen multifunktionaler Dachvegetation unterschieden: Systeme mit einer Wasserführung unter, innerhalb und oberhalb der Substratschicht. Bei letzterer werden sogenannte Repositionspflanzen feuchter Lebensbereiche verwendet (Seggenarten, Binsen, Sumpfdotterblumen etc.) [11]. (siehe auch Kap. 2.7.8)

Fehlervermeidung

Die Dachoberfläche als Aufbaugrund muss dauerhaft und zuverlässig dicht sein. Dachflächen als Umkehrdach oder mit nachträglich aufgebrachtener Dämmung sind ungeeignet. Aufschwimmende Bauteile müssen vermieden werden.

Forschung und Beispielprojekte

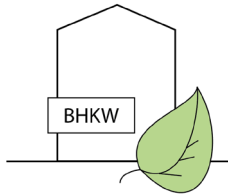
Projektbeispiel für eine multifunktionale Dachvegetation zu Rückkühlung eines Kühlprozesses (Apfelweinkelerei Possmann, Frankfurt am Main):

Die Apfelweinkelerei Possmann nutzt ein 5.000 m² großes Dach ihrer Lagerhalle für eine multifunktionale Dachbegrünung (siehe Abb. 146). Deren Transpirationsleistung wird für die Kühlung von Gär-Silos im Lagerkeller genutzt. Hier wird der Apfelwein in einem Gegenstromwärmetauscher mit Regenwasser gekühlt. Auf das leicht geneigte Dach wird das aus dem Kühlsystem leicht erwärmte Wasser gepumpt und fließt über das Dachgefälle auf die 40 m entfernte gegenüberliegende Seite. Dabei wird das 30 - 38 °C erwärmte Wasser auf im Sommer 15 - 25 °C und im Winter auf 10 °C heruntergekühlt und dem Kühlkreislauf erneut zugeführt. Die natürliche Kühlleistung spart dem Unternehmen etwa 6.000 € Stromkosten im Jahr ein. Von Dezember bis März wird die gesamte erforderliche Kühlleistung über dieses System erbracht. In den Monaten April bis November wird phasenweise eine Kompressionskältemaschine zugeschaltet. [11; 28]



Abb. 145: Vegetation Retentionsdach Kelterei Possmann Frankfurt/Main (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 146: Multifunktionale Gründachanlage, Fa. Possmann in FFM (Foto: Nicole Pfoser 2012)



Bedarfsdeckung



Synergie

- Unterstützung des Biomassepotenzials im Stadtraum
- Verwertung der Pflegeabfälle als Biogas oder Biomasse (Laubbriketts)

Energetisches Potenzial

- siehe Tab.1, S.133

Bepflanzungsarten

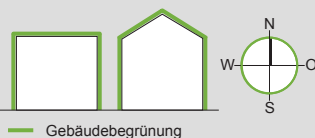
- krautige und holzige Pflanzen
- Laub sommergrüner Pflanzen

Fehlervermeidung

- zu feuchter Grünschnitt birgt bei der thermischen Verwertung die Gefahr von Schlackenbildung

Flächen und Orientierung

- Dach und Fassade betreffend
- orientierungsunabhängig



4.6 Biomassenutzung und Gebäudebegrünung

Unter Einsatz von fester Biomasse oder Biogas können Brennwertkessel und Blockheizkraftwerke (BHKW) erneuerbare Wärme bzw. Wärme und Strom bereitstellen. Die Biomasse kann in Form von sogenannten „Energiepflanzen“ kultiviert werden. Insbesondere im Ackerbau besteht hier jedoch eine Konkurrenz zum Lebensmittelanbau. Sinnvoller ist es, Synergien - wie die Biogasherstellung aus Abfallprodukten - zu nutzen. Auch Stadtgrün, darunter die Gebäudebegrünung, kann hier einen Beitrag leisten.

Synergie

Die Gebäudebegrünung zählt nicht zu den typischen urbanen Grünflächen und ihr Anteil an Grünschnittaufkommen ist als gering zu bewerten. Der Grünschnitt infolge von Pflege sowie anfallendem Herbstlaub von Fassaden- und Dachbegrünungen kann jedoch das Flächen- und damit das Biomassepotenzial im Stadtraum erhöhen, sofern es erschlossen wird.

Im urbanen Raum fällt Biomasse kontinuierlich durch die Pflege von Parkanlagen oder Begleitgrün an Straßen in Form von Gehölz-, Rasenschnitt oder Laub an. Dies kann als Festbrennstoff, z. B. in Form von Holzhackschnitzeln oder Laubbriketts [21], genutzt oder zu Biogas umgewandelt werden. [168]

Die anfallende Biomasse aus der Pflege wird in der Regel kompostiert. Städte haben hier das große Potenzial, mit diesen sowieso anfallenden Abfällen endliche Ressourcen fossiler Energien zu entlasten und den Grünschnitt energetisch zu nutzen. Für Grünschnitt oder Gehölzschnitt aus der Pflanzenpflege sind Entsorgungskosten zu zahlen. Je nach Art der Biomasse und Tarifen des

Kompostierungswerkes können diese unter 50€/t oder über 100€/t liegen. Die Kompostierung und die energetische Verwertung sind zur Zeit noch konkurrierende Verwertungswege. Ein Bonus für Biomasse ist mit der Novellierung des EEG 2012 vorerst nur für Biomasse aus der Landschaftspflege beabsichtigt. [168]

Konzepte zur urbanen Biomassenutzung sind noch nicht im gleichen Maße wie die landwirtschaftliche Biomassenutzung etabliert. Aus diesem Grunde gibt es gegenwärtig noch relativ wenig Literatur, die sich mit der urbanen Biomassennutzung beschäftigt. [168, S.51]

Dies gilt vor allem auch in Bezug auf die Biomassenutzung aus der Pflege von Gebäudebegrünung. Die hier vorgestellten Werte sind daher zum Großteil Angaben, die sich auf urbanen Grünflächen, Hausgärten und Straßenbegleitgrün beziehen. Um einen näherungsweise Rückschluss für die Gebäudebegrünung zu ziehen, wurden die Begrünungsarten vergleichend gegenübergestellt (siehe Tab.1).

Wirkung

Biomasse mit einem hohen Frischmasseanteil kann zur Herstellung von Biogas dienen. Holzige Biomasse kann hingegen nicht für die Biogasherstellung genutzt, jedoch thermisch verwertet werden.

Krautige Biomasse aus Grünflächenpflege: Bezug zu Fassaden- und Dachbegrünung

Krautige Biomasse zählt zu der Biomasse mit höherem Frischmasseanteil. Sie fällt bei der Rasen- und Wiesenpflege in Grünflächen, Hausgärten, entlang Straßen oder der Landschaftspflege an [168]. Auch bei intensiven und extensiven

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude



Abb. 147: links: Fassadenbegrünung, Jahnstraße, Darmstadt: Pflege und Laub kann einen Beitrag zur energetischen Verwertung leisten. (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Abb. 148: rechts: Intensive Dachbegrünung mit Gehölzen, Dachgarten Medina Complex, Eindhoven (Foto: Nicole Pfoser 2013)

Dachbegrünungen sowie fassaden- und bodengebundenen Wandbegrünungen wird krautige Biomasse über die Pflege als „Abfall“ erzeugt. Ihre Qualität ist sehr verschieden. Zur krautigen Biomasse zählen Rasen- und Wiesenschnitt, das Schnittgut von Staudenflächen und Wechselblüher sowie Blätter und Nadeln [168]. Ist ein hoher Frischmassegehalt wie beispielsweise bei einem Rasenschnitt gegeben, eignet sich dieser gut für die Biogasherstellung in Trockenfermentationsanlagen. Die Trockenfermentation ist eine bestimmte Art der Biogasherstellung. Sie ist ein gängiges Verfahren aus inhomogener Biomasse, mit trockenen Anteilen, die die Nassver-

gärung stören können, Biogas herzustellen.

Große Rasenflächen können auch in Form von intensiven Dachbegrünungen auf Nichtwohngebäuden oder Tiefgaragen angelegt werden. Sie bedürfen je nach Gestaltungsanspruch der gleichen Pflege wie ein herkömmlicher Rasen.

Mit steigendem Trockenmassengehalt über beispielsweise verholzte Triebe, wird die Biogasausbeute geringer und nicht vergärbare Reststoffe nehmen zu. In einer Vergärung zusammen mit Biomüll ist die Ertragsminderung jedoch vertretbar [168].

Tab. 1: Annäherung an das energetische Biomassepotenzial durch die Pflege von Dach- ① und Fassadenbegrünung ② über eine vergleichende Betrachtung des Biomassepotenzials von städtischem Grün- und Gehölzschnitt. Der Bezug wird über die Pflanzenarten hergestellt. Massegehalt und Energiekennwerte beziehen sich auf die urbanen Biomassepotenziale (Tab. ②, letzte Zeile ausgenommen). Der nötige Energieeinsatz für Transport und ggf. Bewässerung der Gebäudebegrünung ist nicht berücksichtigt. (Sieber, S. nach: Hegger, M. et al., (2012): UrbanReNet)

① Annäherung an das energetische Biomassepotenzial infolge der Pflege von Dachbegrünung durch eine vergleichende Betrachtung urbaner Biomassepotenziale (gem. Literaturangaben)

TM = Trockenmasse
FM = Frischmasse

Biomassefraktion	Vergleichbar mit ...	Massegehalt	Biogasertrag	Heizwert	Brennwert
Intensive Dachgärten mit überwiegend Sträuchern und Bäumen (holzige Biomasse)	↔ Grünschnitt Parkanlagen	1,8 bis 7 t FM/ha a	entfällt	3.798 bis 14.770 kWh/ha a	4 bis 16 MWh/ha a
Intensive Dachgärten mit überwiegend Rasenflächen (krautige Biomasse, bewässert)	↔ Grasschnitt Parkanlagen	ca. 20 t FM/ha a	3.500 m³/ha a	21.000 kWh/ha a	23 MWh/ha a
extensive Dachbegrünung mit Gräsern, Sedum etc. (krautige Biomasse, bewässert)	↔ trockene Magerrasen	max. 3 t TM/ha a	1.950 m³/ha a	12.000 kWh/ha a	13 MWh/ha a

② Annäherung an das energetische Biomassepotenzial infolge der Pflege von Fassadenbegrünung durch eine vergleichende Betrachtung urbaner Biomassepotenziale (gem. Literaturangaben)

Biomassefraktion	Vergleichbar mit ...	Massegehalt	Biogasertrag	Heizwert	Brennwert
bodengebundene Pflanzen wie Rosen, Blauregen, Efeu (krautige, gemischte Biomasse)	↔ Erhaltungsschnitt Obstbäume	2 bis 4 t FM/ha a	keine Angaben	4.220 bis 8.440 kWh/ha a	5 bis 9 MWh/ha a
Fassadengebundene Systeme mit überwiegend Stauden etc. (krautige, gemischte Biomasse, bewässert)	↔ trockene Magerrasen	max. 3 t TM/ha a	1.950 m³/ha a	12.000 kWh/ha a	13 MWh/ha a
Laubfall bodengebundene Pflanzen, sommergrün (Bsp. anhand eines Beispielprojektes einer Fassadenbegrünung [4])	(Berechnungsbeispiel anhand einer Fassadenbegrünung)	23 t FM/ha a Biomassezuwachs [4] (Testbewuchs: <i>Parthenocissus quinquefolia</i>)	Annahme: ~ 3.500 m³/ha a	~ 20.700 kWh/ha a	~ 23 MWh/ha a

Heizwerte verschiedener Energieträger	
Energieträger	Heizwert [kWh/kg]
Braunkohle	6,0
Steinkohle	8,3
Heizöl	11,9
Flüssiggas	12,8
Strohpellets	4,9
Holzpellets	5,0
Laubbriketts	4,8

Tab. 2: Heizwert verschiedener Energieträger (nach [21])



Abb. 149: Laubbrikett und äquivalenter Laubanteil (RIELA, www.riela.de; NETZ Ingenieurbüro, www.netz-gmbh.eu)

Generell kann das Grün aus Pflegeschnitten mit einem hohen Trockenmasseanteil auch thermisch verwertet werden. Schlackenbildung durch feuchte Biomasse stellt hier jedoch noch ein Problem bei der Verfeuerung dar [168].

Die Menge an Biomasse, die beim Grünschnitt anfallen kann, ist bei der Gebäudebegrünung stark an Pflegeanforderungen und -anspruch gebunden. Soll beispielsweise eine bodengebundene Fassadenbegrünung aus Gestaltungsgründen in Form gehalten werden, ist ein häufiger Rückschnitt und damit der Anfall von Laub gegeben.

Holzige Biomasse aus Grünschnitt: Bezug zu intensiven Dachgärten (Sträucher, Bäume)

Holzige Biomasse kann als Festbrennstoff thermisch verwertet werden; Quelle im urbanen Raum ist der Gehölzschnitt von Sträuchern und Bäumen. Analog ist dies auch mit dem Grünschnitt von z. B. intensiven Dachgärten möglich. Zieht man die Massenwerte von Parkanlagen heran, so ist je nach Biomasseaufkommen ein Brennwert von 4 - 16 MWh/ha a (entspricht 0,4 bis 1,6 kWh/m²a) möglich [168].

Städtisches Straßenbaulaub: Bezug zu Fassadenbegrünung, sommergrün

Trockenes Herbstlaub kann zudem für die thermische Verwertung verwandt und in Form von Laubbriketts zur Heizenergieerzeugung genutzt werden. Eine Vergärung in Biogasanlagen ist aufgrund des hohen Ligninanteils nicht so sinnvoll.

Laubbriketts stellen eine mögliche nachhaltige Form der Verwertung des städtischen Straßenlaubs dar. Im Gegensatz zur Verbrennung von „einfachem“

Grünschnitt und die damit verbundenen Anforderungen an Förderung und Verbrennung an das Heizwerk, können Laubbriketts in marktgängigen Biomassekesseln thermisch verwertet werden. Sie sind durch ihre Form gut förder- und lagerfähig. Die Biomasse muss jedoch für die Brikettierung getrocknet und gepresst werden. Hier stellt sich der Brennstoff nur als nachhaltig dar, wenn dieses Verfahren nicht zu hohe Energieaufwendungen erfordert. Die Trocknung über die Abwärme aus Biogasanlagen oder Industrieprozessen kann hier ein effizientes Verfahren darstellen. Der Energieeinsatz für das Verdichten ist im Verhältnis gering. [21]

Der Heizwert von Laubbriketts ist mit ca. 4,8 kWh pro kg Trockenmasse (mit 10 - 15 % Restfeuchte) etwa mit dem von Holzpellets vergleichbar. Einen Standard gibt es in dem noch in den Anfängen stehenden Bereich jedoch noch nicht. [21]

Bezogen auf das Laub von Bäumen kann als Faustzahl mit 1 t/a Laub pro 100 Einwohner gerechnet werden [21]. Auch wenn von dem im Verhältnis zum Baumbestand noch kleineren Anteil begrünter Fassaden nur ein geringes Biomasseaufkommen in einer Stadt zu erwarten ist, so kann dessen Massenanteil dennoch einen zusätzlichen Input für die Laubbriketts aus urbanem Straßenlaub darstellen.

Konstruktion und Begrünungssysteme

Krautige Begrünung (z. B. Stauden, u.a. Farne, Sukkulente und Halbsträucher, wie z. B. Salbei, Lavendel) können auf Dächern und an Fassaden angepflanzt werden. Dessen Grünschnitt kann der Biogaserzeugung dienen. Herbstlaub

sommergrüner Pflanzen mit hohem Biomasseaufkommen (z. B. Wein) kann hingegen in Form von Laubbriketts zur thermischen Verwertung genutzt werden.

Forschung und Beispielprojekte

Exkurs: Bioreaktorfassade (BIQ, Hamburg-Wilhelmsdorf)

Neben der Herstellung von Biomasse aus Laub oder Grünschnitt zeigt ein Pilotprojekt, dass aus Algen am Gebäude Biomasse zur Biogasbereitung gewonnen werden kann. Das Projekt BIQ in Hamburg-Wilhelmsdorf ist ein im Rahmen der IBA Hamburg geplantes und realisiertes Bauwerk mit einem besonderen Energiekonzept (siehe Abb. 150, 151). In vertikalen Glaspaneelen werden Mikroalgen gezüchtet. Diese produzieren durch Photosynthese und Solarthermie Biomasse und Wärme. Jene Energieträger werden in einer Technikzentrale über einen Wärmetauscher bzw. Algenabscheider entnommen. Die Wärme kann zur Konditionierung des Warmwassers und zur Raumheizung genutzt werden. Ein Wärmeüberschuss kann geothermisch unter dem Gebäude

gespeichert werden. Die Biomasse der Algen kann hingegen zur Biogaserzeugung verwandt werden und über ein BHKW Wärme oder Strom bereitstellen. Das Biomasse-Potenzial der Pilotanlage liegt ca. bei ca. 30 kWh/m² Fassade und Jahr (bei 200 m² genutzter Fassadenfläche). Der solare Wärmegewinn wird mit ca. 150 kWh/m²a angegeben. Die Algenfassade kann dadurch insgesamt 6 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen. [178]

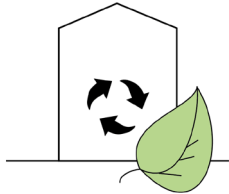
In Vergleich zu Photovoltaik (100 - 150 kWh/m²a) und konventionellen solarthermischen Kollektoren (350 - 500 kWh/m²a) ist die Ausbeute geringer.

Exkurs: Bioreaktorfassade



Abb. 150: links: Bioreaktorfassade mit Mikroalgenpaneelen des BIQ in Hamburg-Wilhelmsdorf (Foto: N. Jenner)

Abb. 151: rechts: Paneelansicht (Foto: Nathalie Jenner)



Synergie

- Ökologischer Baustoff
- CO₂-Bindung, O₂ Produktion
- Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Bauteilen durch: Abmilderung von Temperaturextremen, mechanischer Schutz, Schutz vor UV-Strahlung, geringere Wandfeuchte
- Bindung von Feinstaub

Energetisches Potenzial

- CO₂-Bindung an Pflanzenart, Fläche und Klima gebunden:
- Bsp. Gründach: 0,8 kgCO₂/m² oberirdischer Masse nach 3 Jahren
- Bsp. Fassade (20 cm tiefe Begrünung): 2,3 kgCO₂/m²a
- In Ökobilanz gewöhnlich nicht berücksichtigt

Bepflanzungsarten

- alle betreffend
- möglichst viel Biomasse für CO₂ Bindung

Fehlervermeidung

- Ausreichende Pflege zur Vermeidung von Bauschäden

Flächen und Orientierung

- alle Gebäudebegrünungsflächen betreffend



4.7 Ökologie, Ökonomie und Gebäudebegrünung

Neben dem Energieverbrauch im Betrieb löst jeder Materialeinsatz durch den resultierenden Ressourcenstrom Energiebedarfe und Umweltwirkungen aus. So spielen neben der Betriebsenergie der Energieeinsatz für die Herstellung bis hin zu der Entsorgung eines Bauteils bzw. Baustoffs eine entscheidende Rolle. Derzeit wird überwiegend der Energiebedarf ausschließlich in der Betriebsphase eines Gebäudes in Energiebilanzen berücksichtigt. Jedoch werden ökobilanzielle Betrachtungen über den Lebenszyklus vermehrt in Bewertungssystemen von nachhaltigen Gebäudestandards - wie der DGNB - gefordert. Die gängigsten Bewertungskriterien sind der Primärenergieinhalt (erneuerbar/nicht erneuerbar, PEI [MJ]), das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP [kg CO₂ eq]), sowie die Dauerhaftigkeit [a] eines Materials. [23]

Ökologie - Synergie und Wirkung

Gebäudebegrünung selbst ist ein sehr ökologischer „Baustoff“. Zum einen besitzt sie den Vorteil, das klimawirksame Gas CO₂ in Form von Kohlenstoff (C) im Pflanzengewebe zu binden, O₂ über den Lebenszyklus zu produzieren, sowie klimaschädliche Verunreinigungen (Stäube) zu filtern. Zum anderen können durch die mögliche Energieeinsparung an Heiz- und Kühlenergie (siehe Kap. 4.2.1, 4.2.3, 4.2.4) fossile Energieträger eingespart werden.

C-Speicherung/CO₂-Reduktion

Die Wirkung auf das Treibhauspotenzial ist an die Pflanzenart, die bepflanzte Fläche und äußere klimatische Umstände gebunden. Berechnungen von unterschiedlichen Autoren helfen jedoch, Größenordnungen abzuschätzen: In einer Studie zur CO₂-Aufnahme von

extensiven Gründächern konnte für die oberirdische Biomasse nach drei Jahren eine CO₂-Aufnahme von 0,8 - 0,9 kg/m² bestimmt werden [162]. Höhere Bindungen erzielen intensive Begrünungen, aber auch Moose. Nach einer Untersuchung von Frahm, J-P. können Moose in einem Jahr 2,2 kg/m² CO₂ aufnehmen, was einer CO₂-Effizienz von Intensivgrünland entspricht. Dies begründet sich mit deren Stoffwechselaktivität, die (aufgrund höherer Luftfeuchte) bis auf Frostperioden auch im Winter vorliegt [104, 217].

In einem Bericht zu städtischer Fassadenbegrünung wurde für eine 1.000 m² große und 20 cm tiefe Wandbegrünung (Hedera helix 'Wörner' - Südseite) eine CO₂-Bindung von ca. 2,3 kg CO₂/m²a benannt sowie eine O₂-Produktion von 1,7 kg O₂/m²a [76]. Bezieht man dies auf die 1.000 m² Fassadenfläche, so sind das ca. 2 t CO₂ im Jahr. Dies entspricht ca. 16.000 km Autofahrt mit einem Euro-4-Norm-PKW (bei 1 kg CO₂ pro 8 km Autofahrt).

Die CO₂-Reduktion durch die Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse geschieht nicht dauerhaft. Bei natürlichen Verrottungsprozessen setzt die Pflanze CO₂ wieder frei. Jedoch erfolgt darauf in der nächsten Wachstumsperiode eine erneute CO₂-Bindung [162]. Im Vergleich zu konventionellen Dachbelägen besitzt so die Bepflanzung den Vorteil, klimawirksames CO₂ über die Lebensdauer festzusetzen. Die Lebensdauer einer (extensiven) Dachbegrünung wird üblicherweise mit 40 Jahren angesetzt [164]. Am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes wird - ebenso wie in einer ökobilanziellen Betrachtung für Holz - eine Begrünung verbrannt oder verrottet, wodurch das gebundene

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

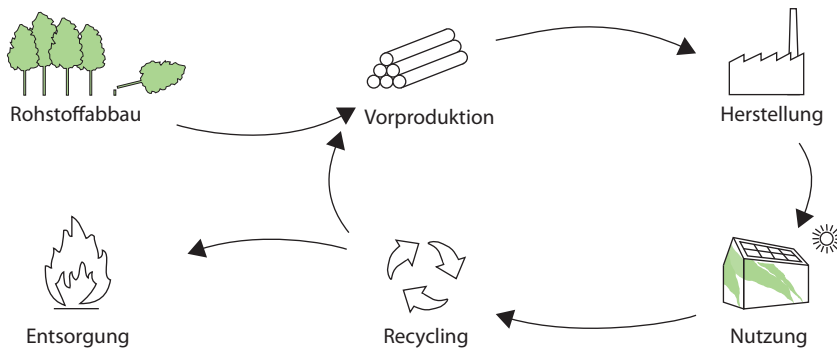


Abb. 152: Darstellung des Lebenszyklus eines Gebäudes: über den Rohstoffabbau zur Herstellung, zur Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung. In allen Phasen benötigen Materialien Energie und emittieren CO₂ (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

CO₂ wieder freigesetzt wird, jedoch auch Nutzenergie gewonnen werden kann (siehe Kap. 4.6). Über die Energiegewinnung aus der Biomasse können begrenzte fossile Ressourcen eingespart werden, was sich in einer Ökobilanz positiv darstellt. Aufgrund einer geringen Datenlage wird dies jedoch in ökobilanziellen Betrachtungen i.d.R. nicht berücksichtigt.

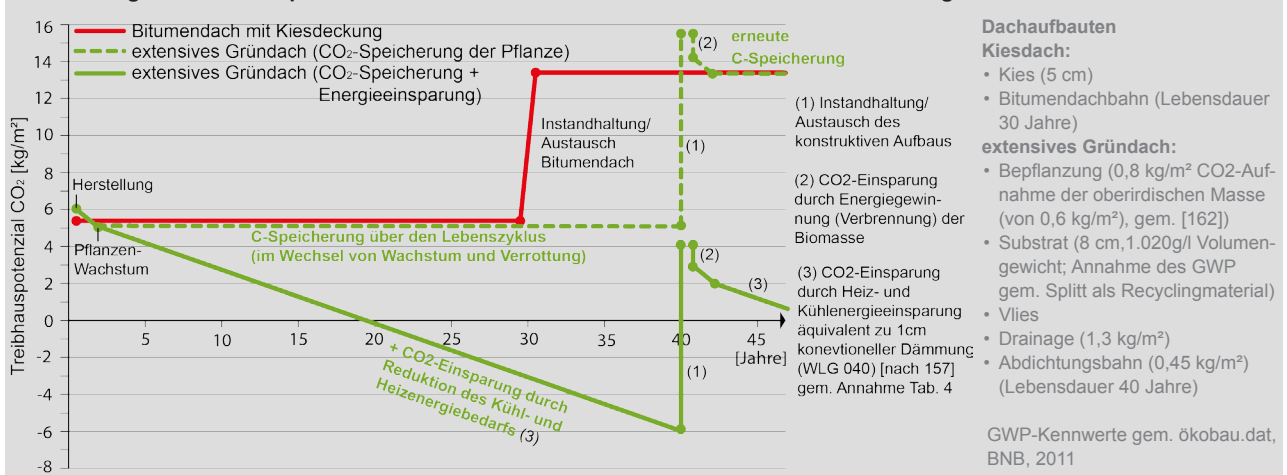
Um den Einfluss der Gebäudebegrünung auf eine Ökobilanz zu quantifizieren, ist in Abb. 153 das Treibhauspotenzial eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach auf Basis von Messwerten aus der Literatur abgebildet. Für den Aufbau wurde als Substrat des Gründachs ein Recyclingmaterial angenommen. In Bezug auf das Treibhauspotenzial spielt die Kohlenstoff-Speicherung der Pflanze und die damit verbundene CO₂-Reduktion im Verhältnis zur CO₂-Emission durch die Herstellung (~6 kg CO₂/m²) des Gesamtaufbaus eine geringe Rolle. Dies ist mit dem geringen Masseanteil

einer extensiven Dachbegrünung zu begründen. Für die Ökobilanz wurde sich auf die Messung von 0,8 kg CO₂/m² (der oberirdischen Biomasse) der Studie von Herfort, S. und Tschuikowa, S. [162] bezogen. Über den Lebenszyklus wurde die Masse, durch Pflanzenwachstum und Verrottung, als konstant angenommen. Am Ende des Lebenszyklus gleicht der Einfluss der CO₂-Reduktion durch die Energiegewinnung aus der Biomasse die Emission der Herstellung ebenfalls nicht aus. Anders verhält es sich, wenn die Energieeinsparung (für Heiz- und Kühlenergie) gegenüber einem Kiesdach berücksichtigt wird (siehe Annahmen in Abb.153). Über die Einsparung fossiler Energieträger stellt sich die Bilanz gegenüber einem Kiesdach ökobilanziell deutlich besser dar.

Diese Betrachtung ist jedoch stark an die Energieaufwendung des Gesamtaufbaus gebunden, die je nach Wahl des Substrats stark variieren kann.

Abb. 153: Näherungsweise Betrachtung des Treibhauspotenzials (GWP) eines extensiven Gründaches im Vergleich zu einem Kiesdach, unter Berücksichtigung der C-Speicherfähigkeit der Pflanze [gem. 162]. Die permanente Verrottung und Neubildung der Biomasse ist vereinfacht als Gerade dargestellt. Über eine längere Lebensdauer, sowie die Einsparung von Heiz- und Kühlenergie (äquivalent zu 1 cm Dämmstoff (WLG 040) [gem. 157]) besitzt die Gebäudebegrünung deutliche klimawirksame Vorteile. Die Speicherung von CO₂ über den Lebenszyklus ist im Verhältnis gering. In dieser Zeit ist das CO₂ jedoch nicht klimawirksam. Auf ein 1.000 m² großes Dach bezogen sind dies 800 kg CO₂, was 6.400 km mit einem Euro-4-Norm-PKW entspricht. Am Lebenszyklusende ist eine Energiegewinnung aus der Biomasse angenommen, die sich im geringeren Maße positiv auf die Bilanz auswirkt. (TU Darmstadt, FGee)

Betrachtung des Treibhauspotenzials über die Lebensdauer eines Gründachaufbaus im Vergleich zu einem Bitumendach



zu (2) Annahme Heizwert: 4kWh/kg gem. Tab1, ①, 3. Zeile

Annahme CO₂-Äquivalent durch Verbrennung von Holz hackschnitzeln: 0,494 CO₂-Äq. kg/kWh (ökobau.dat)

zu (3) Annahme Heizenergieeinsparung: 0,5 kWh/m²a; Kühlenergieeinsparung: 0,283 kWh/m²a (vgl. Energiekosteneinsparung, S.143)

Annahme CO₂-Äquivalent für Erdgas: 0,25 CO₂-Äq. kg/kWh; für den dt. Strommix: 0,58 CO₂-Äq. kg/kWh [219]

Energieaufwendung der Konstruktion

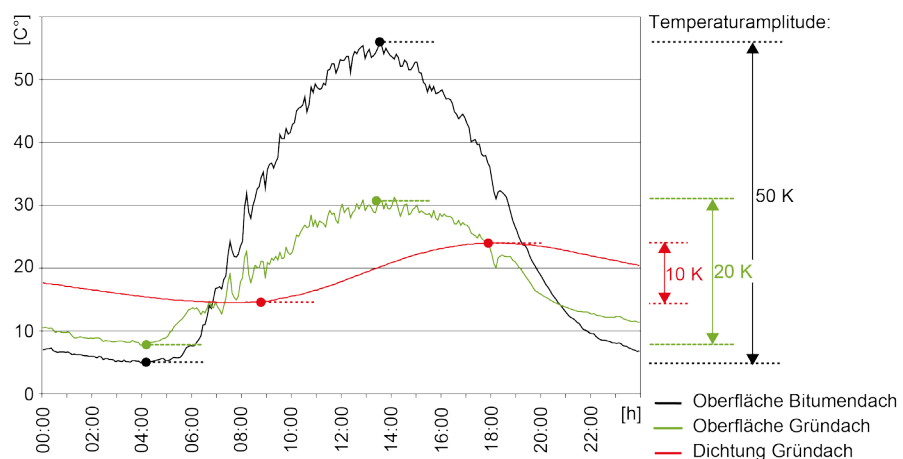
Fassadenbekleidungen und Dachbeläge bilden die Gebäudehaut. Ihr prozentualer Anteil an grauer Energie ist - auf das Gesamtgebäude bezogen - in der Regel sehr hoch [23]. Ganzheitlich muss auch bei der Gebäudebegrünung der Gesamtaufbau aller Funktionsschichten, Unterkonstruktionen und Befestigungen betrachtet werden. Ökobilanziell positiv sind demnach vor allem bodengebundene Pflanzsysteme der Fassade zu bewerten. Eventuelle Materialien von Wuchshilfen fließen in die Betrachtung mit ein. Wandgebundene Systeme sind konstruktiv aufwändiger und in der Regel mit einem höheren Materialaufwand verbunden. Dachsysteme sind mit dem Einsatz von Kunststoffen verbunden. Extensiv begrünte Flachdächer mit PVC- oder EPDM-Dichtbahnen binden in der Regel jedoch weniger graue Energie als Bitumenbahnen und verfügen gleichzeitig über eine höhere Lebensdauer [23] (siehe auch Abb. 153). Einen hohen Einfluss auf die Umweltwirkung eines Gründachaufbaus besitzt, über den hohen Massenanteil im Gesamtaufbau, das Substrat. Inzwischen setzen

Firmen in manchen Aufbauten bereits Recyclingmaterial in Form von Ziegelbruch ein. Generell wird empfohlen, auf Recyclingmaterialien zurückzugreifen. Die Firmen reagieren bereits darauf, bis hin zu der Entwicklung von innovativen Systemaufbauten. Wie bei einem Gründachaufbau, bei dem sowohl die Schutzmatte, das Drainage-Element als auch das Filtervlies aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden [163]. Wichtig ist zudem, dass bei der Herstellung der Begrünungssysteme auf eine mögliche Trennbarkeit der Materialien für den Rückbau geachtet wird.

Dauerhaftigkeit

An Fassadenbekleidungen und Dachbeläge werden hohe Anforderungen des Witterungsschutzes gestellt, daher ist die Dauerhaftigkeit ein wichtiges Kriterium für diese Bauteile. Reparatur- und Austauschprozesse erhöhen über den Lebenszyklus Energie- und Kostenaufwendungen. Die Begrünung besitzt hier einen positiven Einfluss auf die Bauteile. Durch die Abminderung von Temperaturextremen (saisonale sowie Tag-Nacht-Schwankungen) können die darunter

Abb. 154: Messungen von Oberflächentemperaturen eines Gründaches im Vergleich zu einem „Bitumendach“ im Juni unter Angabe der Temperaturamplitude im Tag-Nachtgang. Die Messungen fanden in der Ufa-Fabrik in Berlin-Tempelhof (nach Schmidt, M. (2003))



liegenden Bauteile vor wechselnden thermischen Belastungen geschützt werden.

So betrug bei einer Messung die Temperaturamplitude einer 20 cm dicken Efeu-fassade an einem sommerlichen Schönetag nur 10 K in der Begrünung im Vergleich zur unbegrünten Fassade, bei der 30 K Temperaturunterschied vorlag [32].

Die Messungen auf und unterhalb des Substrataufbaus eines extensiven Gründachs der Ufa-Fabrik in Berlin Tempelhof zeigten im Vergleich zu einem Bitumendach eine deutlich geringere Temperaturamplitude im Tag-Nacht-Gang. Das Bitumendach (ohne Kiesschüttung) wies hier eine Temperaturamplitude von 50 K auf. Im Vergleich kühlt es in den Nachtstunden stärker aus und heizt sich am Tag stärker auf. Auf dem Gründach hingegen belief sich die Temperaturschwankung auf 20 K und an der Dachabdichtung sogar nur auf 10 K (siehe Abb. 154). [78]

Neben der Abminderung von solarstrahlungs- und materialbedingten Temperaturschwankungen wird zudem die UV-bedingte Materialalterung reduziert und damit die Dachhaut geschützt. So werden je nach Begrünung 40 - 80 % der Sonneneinstrahlung reflektiert und im Blattwerk absorbiert (50 % Absorption, 30 % Reflexion) [32]. Wände mit Fassadenbegrünung besitzen zudem eine geringere Wandfeuchte als unbegrünte Wände [34]. Die Schlagregenbelastung bei einer flächig mit Efeu berankten Fassade tendiert gegen Null [32].

Insgesamt trägt die Gebäudebegrünung so zur Verlängerung der Lebensdauer von Dachabdichtungen bei. Unter

Experten wird von einer Verlängerung der Lebensdauer von 10-20 Jahren ausgegangen [165; 166]. Gewöhnlich besitzen frei bewitterte bzw. bekieste Abdichtungsbahnen wie Bitumen oder Kunststoffbahnen eine Lebensdauer von 20 - 30 Jahren [164]. Mit einer Lebensdauerverlängerung auf 40 Jahre wird die Lebensdauer einer extensiven Dachbegrünung erreicht [164], wodurch Austauschzyklen zusammenfallen.

Lebenszykluskosten

Für viele Bauherren stehen oft nur die Investitionskosten im Vordergrund, während die Nutzungskosten sowie Einsparungen über den Lebenszyklus unberücksichtigt bleiben. Eine Lebenszyklusbetrachtung schließt hingegen alle Kosten mit ein und kann somit einen nachhaltigen Nutzen einer Baumaßnahme aufzeigen. Investitionen in Klimaschutz und Energieeinsparungen zeichnen sich in der Regel durch hohe Anfangskosten und einen langfristigen Nutzen aus - so auch die Gebäudebegrünung. Gebäudebegrünungssysteme besitzen meist erhöhte Kosten gegenüber konventionellen Gebäudehüllsystemen. Das diese nicht immer teurer sein müssen, sondern auch über den Lebenszyklus ökonomische Potenziale bieten, soll im Folgenden anhand eines extensiven Gründaches betrachtet werden. (Für Kostenangaben zu Fassadenbegrünung siehe Kap. 2.5 und Anhang)

Investition und Wartung

Die Investitionen für extensive Gründächer sind je nach Aufbau und System mit 15 - 35 €/m² anzusetzen [166; 185]. Die Pflege und Instandhaltungskosten belaufen sich auf 1,5 - 3 €/m²a. Da extensive Gründächer in der Regel nicht bewässert werden, entfallen an

dieser Stelle die Kosten für das Bewässerungssystem und den Pumpenstrom.

Einsparpotenziale

Einsparpotenziale stellen sich vielseitig dar:

- **Einsparung von Sowiesokosten**
- **Lebensdauerverlängerung von Dachabdichtungen**
- **finanzielle Förderungen**
- **Reduktion der Abwassergebühr**
- **Energieeinsparungen**

Einsparung von Sowiesokosten

Sowiesokosten sind Kosten, die auch bei einem konventionellen Aufbau zu tätigen wären bzw. dessen Funktion die Gebäudebegrünung übernimmt. Die Kiesschicht als Schutzmaßnahme der Abdichtungsebene kann beispielsweise als Sowiesomaßnahme betrachtet und deren Kosten den Investitionskosten einer Dachbegrünung gegengerechnet werden. Für Kiesbeläge müssen z. B. Kosten von ca. 10 €/m² [185, S.426] angesetzt werden. Der Aufpreis für den „grünen Schutzbelag“ beträgt so nur noch 5–25 €/m² [166].

Wird bei einem Gründach eine Dämmung als Drainagesystem eingesetzt, können darunter Dämmung und damit Kosten eingespart werden. Im Einsatz mit einer PV-Aufdachanlage kann die Dachbegrünung als Auflast die Funktion von konventionellen Auflasten wie Betonplatten oder einer Kiesschüttung übernehmen und als statische Sicherung dienen.

Lebensdauerverlängerung von Dachabdichtungen

Wie in diesem Kapitel bereits benannt, kann die Dachbegrünung über die Minderung von UV-Belastung und extremen thermischen Schwankungen die Lebens-

dauer der Dichtungsbahn verlängern bzw. verdoppeln. Durch eine später anfallende Instandsetzung ist dies vor allem wirtschaftlich von Vorteil. Kosten, die nach 20 bis 30 Jahren bereits fällig wären, können so um weitere 10 bis 20 Jahre verschoben werden.

Finanzielle Förderungen

Um die Verringerung von Versiegelungsanteilen zu fördern, bieten manche Städte und Kommunen Zuschüsse für Gebäudebegrünungen an. Die Förderungen und Förderbedingungen sind jedoch sehr verschieden. Liegen Fördergelder vor, so kann häufig mit einer Fördersumme von 10 - 20 €/m² gerechnet werden [207]. Voraussetzung ist eine Antragsstellung vor Baubeginn bzw. Auftragserteilung. (siehe auch Kap. 7.2)

Reduktion der Abwassergebühr

Durch die Funktion der Wasserrückhaltung (Retention) können Gründächer die Kanalisation vor Starkregenereignissen schützen. Diese Eigenschaft von Dachbegrünungen wird über eine Senkung der Abwassergebühren um bis zu einem Euro pro m² Dachfläche und Jahr honoriert [207].

Voraussetzung ist das Gelten einer „getrennten bzw. gesplitteten Abwassergebühr“. Im Unterschied zu der Abwassergebühr auf Basis des Frischwasserverbrauchs wird dabei zwischen Niederschlagswasser und Schmutzwasser unterschieden. Die Niederschlagswassergebühr bemisst sich im Wesentlichen nach der versiegelten Grundstücksfläche. In der Regel werden begrünte Dächer als Entsiegelungsmaßnahme anerkannt. (siehe auch Kap. 5.2 und 7.2)

Energieeinsparungen

Energetisch tragen Gründächer über

ihren Schichtaufbau zur Reduktion von Wärmeverlusten bzw. sommerlichen Hitzebelastungen bei. Wie bereits in Kap. 4.2.1 beschrieben, kann die Begrünung und deren Substratschichten für den Wärmeschutznachweis nach EnEV (DIN 4108) nicht berücksichtigt werden. Faktisch ist jedoch eine zusätzliche Energieeinsparung ansetzbar. Ein extensives Gründach mit einer Substratstärke von 10 cm spart Energiekosten äquivalent zu einer konventionellen Dämmung (WLG 040) von 1 cm Stärke ein [157]. Zudem können Energiekosten für die Klimatisierung während der Sommermonate reduziert werden. Dies gilt z. B. auch für Fassadensysteme, die der Verschattung dienen. Im Einsatz mit einer PV-Aufdachanlage kann über dessen Wirkungsgradsteigerung ein Kostengewinn verzeichnet werden. Dieser fällt je nach Größe der Anlage, Förderungssumme und vorherrschendem Strompreis unterschiedlich aus.

„Weiche Faktoren“

Über die genannten Kriterien hinaus spielen sogenannte „weiche Faktoren“, wie Wohlbefinden, gesteigerte Aufenthaltsqualität, Steigerung der Gestaltqua-

lität (5. Ansicht) auch eine wirtschaftliche Rolle. Sie können meist nicht direkt in einen finanziellen Gegenwert quantifiziert werden, sind jedoch ebenso zu berücksichtigen.

Beispielrechnung

Der Einfluss der Einsparungspotenziale soll im Folgenden an einer beispielhaften Lebenszykluskostenbetrachtung (LCC) eines Gründaches gegenüber einem Kiesdach ohne und mit einer PV-Aufdachanlage quantifiziert und evaluiert werden. Da eine extensive Dachbegrünung zu den am häufigsten angewandten Gebäudebegrünungsarten zählt, wird sich auf diese bezogen.



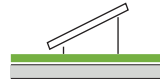
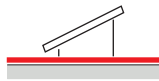
Grundlagen

Die Beispielrechnung wird anhand eines fiktiven 1.000 m² großen Daches eines Büro- und Werksgebäudes in der Landeshauptstadt Wiesbaden vorgenommen. Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre (gem. DGNB) angesetzt. Für die Kostenberechnung über den Lebenszyklus wird ein Diskontierungszins von 5 % angenommen. Die über den Betrachtungszeitraum ermittelten Kosten beziehen sich über die Diskon-

Tab. 3: Eckdaten und Grundlagen der Kostenannahmen für die beispielhafte Lebenszykluskostenbetrachtung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach ohne und mit PV-Anlage (TU Darmstadt, FGee/FG e+f)

Eckdaten Gebäude		Grundlagen der Lebenszykluskostenbetrachtung (LCC)	
Typologie	Büro- + Werkgebäude	Betrachtungszeitraum	50 Jahre
Dachfläche	1.000 m ²	Diskontierungszinssatz	5,0 %
Gebäudehöhe	< 10 m	Allg. Preissteigerung (z. B. Baukosten)	2,0 %
Standort	Wiesbaden	Preissteigerung Energiekosten	2,0 %
Windlastzone	1	Preissteigerung Wasser-/ Abwasserkosten	2,0 %
Globalstrahlung	1.045 kWh/m ² a	Energiekosten	
		Strom (Endverbraucher)	0,21 €/kWh
		Vergütung PV-Strom gem. EEG + 10 % Eigenverbrauch (Stand: 15.04.2013)	0,153 €/kWh
		(Nach 20 Jahren: noch 80 % verfügbare Leistung, Annahme des Stromverkaufs zu Marktpreisen)	

Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

				
Kostengegenüberstellung (Nettopreise pro m² Dachfläche)	extensives Gründach	Kiesdach	extensives Gründach mit PV	Kiesdach mit PV
Investitionskosten				
Gründach, extensiv (10 cm Substrat) ¹ bzw. Kiesdeckung (5 cm) ² (inkl. Montage)	22 €/m ²	9 €/m ²	57 €/m ² (inkl. PV-UK)	9 €/m ²
Dachabdichtung ³	28 €/m ²	28 €/m ²	28 €/m ²	28 €/m ²
Lebensdauer inkl. Dachabdichtung	40 Jahre ⁴	30 Jahre ⁵	40 Jahre ⁴	30 Jahre ⁵
Unterkonstruktion PV-Anlage (30° Aufständigung, ~ 300 m ² Modulfläche, Auflastsystem) (inkl. Montage)	-	-	(Im Invest des Gründachs enthalten)	~ 14,7 €/m ² ⁶
PV-Anlage, 42 kWp ⁶ (monokristalline Module, inkl. Wechselrichter und Montage)	-	-	~ 55,2 €/m ²	~ 55,2 €/m ²
Lebensdauer	-	-	30 Jahre	30 Jahre
Betriebskosten				
Wartung für Gründach ¹ bzw. Kiesdach ⁷	1,90 €/m ² a	~0,25 €/m ² a	2,3 €/m ² a	~0,35 €/m ² a
Wartungsintervalle	2 x jährlich ¹	1 x jährlich ⁸	2 x jährlich ¹	1 x jährlich ⁸
Fernüberwachung, Versicherung PV-Anlage ⁶	-	-	0,30 €/m ² a	0,30 €/m ² a
Bewässerung (Grün)	keine erforderl.	-	keine erforderl.	-
Niederschlagswassergebühr				
Niederschlagswassergebühr (Stadt Wiesbaden, Hessen) ⁹	0,21 €/m ²	0,70 €/m ²	0,21 €/m ²	0,70 €/m ²
Energiekostengutschrift				
Heizenergieeinsparung durch Gebäudebegrünung gegenüber Kiesdach (äquiv. zu 1 cm Dämmung, WLG 040)	500 kWh/a ~ 0,04 €/m ² a	-	500 kWh/a ~ 0,04 €/m ² a	-
Klimatisierungseinsparung durch Gebäudebegrünung gegenüber Kiesdach (äquiv. zu 1 cm Dämmung, WLG 040)	~ 283 kWh/a ~ 0,06 €/m ² a	-	~ 283 kWh/a ~ 0,06 €/m ² a	-
Stromertrag durch PV (4 %ige Leistungssteigerung mit Gründach)	-	-	~ 40.500 kWh/a	~ 39.000 kWh/a
Vergütung des Solarstroms für 20 Jahre nach dem EEG (Inbetriebnahme ab 1. April 2013) ¹⁰	-	-	~ 6,3 €/m ² a	~ 6,0 €/m ² a
Gesamtkosten				
Barwert über 50 Jahre (5 % Diskont.)	~ 75 €/m²	~ 77 €/m²	~ 114 €/m²	~ 46 €/m²
Evtl. unterschiedliche statische Erfordernisse sind in der Kostenbetrachtung nicht berücksichtigt				
Für die Kostenangaben übernimmt die TU Darmstadt, FGee und FG e+f keine Gewähr!				

¹ Gem. Kostenangabe Fa. ZinCo GmbH, für eine extensive Dachbegrünung inkl. Pflanzen (mit und ohne Solarunterkonstruktion) (26.07.2013) (Aufbau: 10 cm Extensivsubstrat; PV-Auflage-System: mit Solarbasen und Grundrahmen inkl. Befestigungsprofilen)

² Mittlere Kosten im Bundesdurchschnitt gem.: BKI - Baukosten 2013 Teil 3. Statische Kostenkennwerte für Positionen, Dachabdichtungsarbeiten, Kiesschüttung (Kosten: 1. Quartal 2013), S.454

³ Bitumen, 2-lagig, inkl. Montage, Gem. Kostenangabe Fa. Schmidt GmbH, Dachdeckermeisterbetrieb (gem. telefon. Anfrage am 07.08.13)

⁴ Gem. BBSR, Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Code Nr. 363.311, Schwere Schutzschicht: Extensive Begrünung, Stand 03.11.2011. Die Lebensdauer der Dachabdichtung mit schwerer Schutzschicht wird gem. dem BNB (Code Nr. 363.113) mit 30 Jahren angegeben. In dieser Kostenbetrachtung wird aufgrund der Temperaturregulierenden Wirkung von Dachbegrünung von einer Lebensdauererlängerung auf 40 Jahre ausgegangen.

⁵ Gem. BBSR, Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Code Nr. 363.112, Schwere Schutzschicht: Bekiesung, Stand 03.11.2011. Die Lebensdauer der Dachabdichtung mit schwerer Schutzschicht wird gem. dem BNB (Code Nr. 363.113) mit 30 Jahren angegeben.

⁶ Gem. Angebot Fa. Destree Solar (vom 12.08.13) für TU Darmstadt, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (FGee)

⁷ Gem. Kostenangabe Fa. BOTT Begrünungssysteme GmbH (gem. telefon. Anfrage am 06.08.13) sowie Fa. Schmidt GmbH, Dachdeckermeisterbetrieb (gem. telefon. Anfrage am 07.08.13) liegen die Wartungskosten bei 250 - 350 € pro Jahr (Anfahrt + Protokoll + ggf. Beseitigung von Grün, Säuberung der Regeneinläufe)

⁸ Gem. Flachdachrichtlinie, In: Deutsches Dachhandwerk. Regeln für Abdichtungen, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks - Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik - e. V. (Hrsg.), 5.Aufl., 2012

⁹ Gem. Gebührenrechner Niederschlagswasser, ELW - Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden, In: www.elw.de/fileadmin/templates/printpage.html [29.07.2013]

¹⁰ Ermittelt nach den EEG Vergütungssätzen bei Inbetriebnahme ab 1. April 2013 (Vergütung von 90% des erzeugten Stroms, 10 % Eigengebrauch mit Anrechnung der Stromkosten von 0,21 ct/kWh), In: www.solarwirtschaft.de/unsere-themen/erneuerbare-energien-gesetz.html [15.04.2013]

Tab. 4: Kostenangaben als Grundlage der beispielhaften Lebenszykluskostenbetrachtung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach ohne und mit PV-Anlage (TU Darmstadt, FGee/FG e+f)

tierung als Barwert auf das Referenzjahr des Betrachtungszeitpunkts. Diese sogenannte Barwertmethode ermöglicht es, unterschiedliche Kostenzeitverläufe miteinander zu vergleichen. Neben der Diskontierung werden Preissteigerungen über den Lebenszyklus berücksichtigt. Sie sind gemeinsam mit den Energiekostenangaben in Tabelle 3, S. 141 aufgeführt.

Kostenannahmen

Für die Betrachtung wurden markt-gängige Kosten bei Herstellern und ausführenden Betrieben angefragt. Die einzelnen Kosten für Investition, Betrieb und Lebensdauer der Systeme sind der Tabelle 4 auf der folgenden Seite zu entnehmen. Für die Investition sind die Kosten bis zur Dachabdichtung berücksichtigt. Eventuell unterschiedliche statische Erfordernisse fließen damit nicht in die Kostenbetrachtung ein. Für den Kostenvergleich inkl. PV-Anlage sind die Kosten für Unterkonstruktion, PV-Module, Wechselrichter, Montage und Wartung mit berücksichtigt.

Lebensdauer

Die Lebensdauer des Kiesdaches inkl. Dachabdichtung beträgt gemäß Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen (BNB) bis zu 30 Jahre. Für das extensive Gründach werden 40 Jahre angegeben. Ausgehend von einer Lebensdauer-Verlängerung der darunter liegenden Abdichtung, wird für diese ebenfalls eine Lebensdauer von 40 Jahren angenommen.

Niederschlagswassergebühren

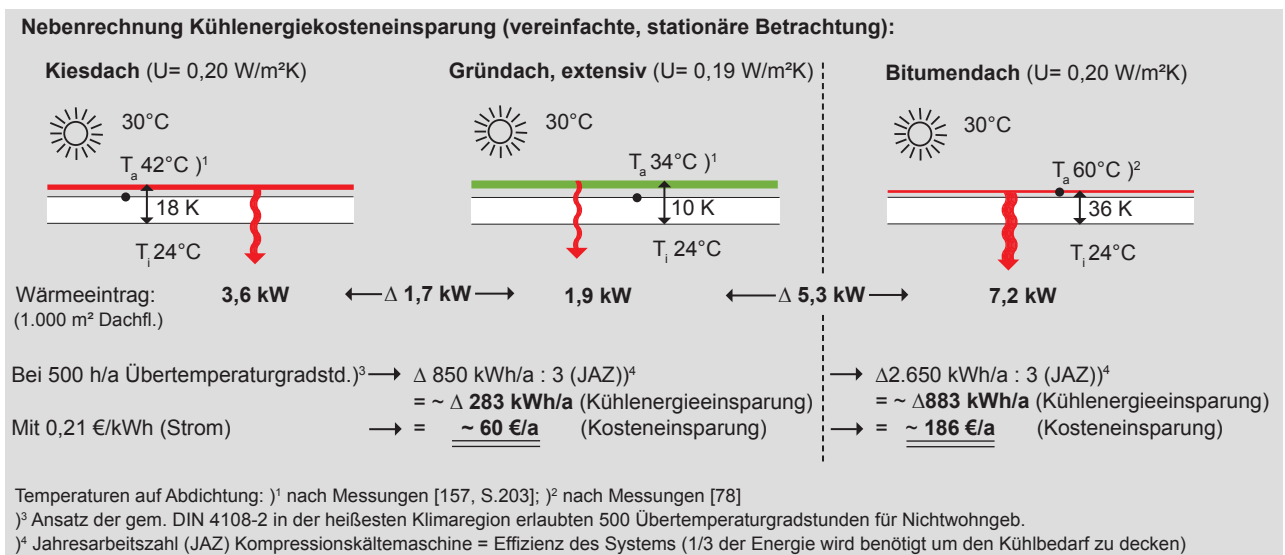
Für den Standort Wiesbaden sind die Niederschlagswassergebühren für ein Gründach auf 30 % der regulären Kosten reduziert. So fallen für das Kiesdach 700 € Niederschlagswassergebühren pro Jahr an, wohingegen nur 210 € für das extensive Gründach pro Jahr zu zahlen sind.

Energiekosteneinsparung

Für die Ermittlung der Kosteneinsparung für Heizenergie wird über die Gebäudebegrünung von einer Optimierung der Dämmung äquivalent zu 1 cm konventionellem Dämmstoff (WLG 040) ausgegangen [157]. Bezogen auf den Mindest-U-Wert nach EnEV 2009 für Dächer (Neubau) von 0,20 W/m²K, erhöht das Gründach den U-Wert auf 0,19 W/m²K. Bezogen auf die Heizgradtage (vereinfachtes Verfahren nach EnEV 2009) kann durch die U-Wert-Verbesserung eine Heizkosteneinsparung von 0,04 €/m²a ermittelt werden (bei 0,08 €/kWh für Heizenergie). Für eine Dachfläche von 1.000 m² sind dies 40 €/a.

Eine höhere Einsparung kann das Gründach in Bezug auf Klimatisierungskosten erzielen. Für die Ermittlung der Kosteneinsparung bei der Kältebereitstellung wurde eine vereinfachte, stationäre Betrachtung vorgenommen. Dynamische Effekte wurden nicht berücksichtigt. Ausgehend von dem U-Wert für das Kiesdach von 0,20 W/

Abb. 155: Nebenrechnung zur Kühlkosteneinsparung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach und einem Bitumendach an einem strahlungsreichen Sommertag (TU Darmstadt, FGee)



m²K und einer Temperaturdifferenz von Dachabdichtung und Innenraumtemperatur von 18 K kann bei einem Kiesdach mit einem Wärmeeintrag von 3,6 kW gerechnet werden. Das Gründach mit einem U-Wert von 0,19 W/m²K und einer Temperaturdifferenz von Dachabdichtung und Innenraumtemperatur von nur 10K bewirkt hingegen eine Reduktion des Wärmeeintrags auf 1,9 kW. Die Differenz von 1,7 kW ist zum einen mit der besseren Dämmleistung sowie der Senkung der Oberflächentemperatur gegenüber einem Kiesdach zu begründen (vgl. Abb.155). Bezogen auf 500 Übertemperaturgradstunden, die die DIN 4108-2 in der heißesten Klimaregion erlaubt, ergibt sich eine Differenz von ~283 kWh/a, unter Annahme einer Klimatisierung mit der Effizienz einer Kompressionskältemaschine. Darüber lässt sich für das Dach eine Kosteneinsparung von ~60 €/a (bei 0,21 €/kWh für Strom) erzielen (vgl. Abb. 155). Diese liegt im Vergleich zu der Einsparung von Heizenergiekosten nur geringfügig höher.

Betrachtet man ein reines Bitumendach, so ist mit höheren Kosteneinsparungen für die Gebäudeklimatisierung zu rechnen. Aufgrund höherer materialbedingter Oberflächentemperaturen entsteht ein höherer Wärmeeintrag. Unter den zuvor beschriebenen Berechnungsannahmen können durch das extensive Gründach im Vergleich immerhin ~185 €/a Kühlenergiekosten für das Dach eingespart werden (vgl. Abb.155). Hieraus wird deutlich, dass die Kosteneinsparungen stark von den zu vergleichenden Aufbauten abhängig sind.

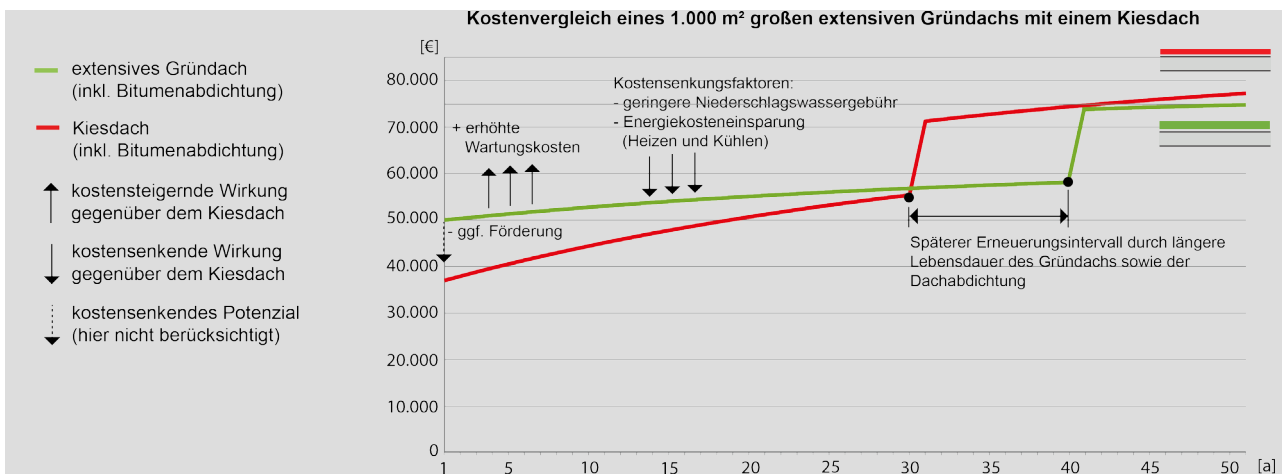
Insgesamt sind die Energiekosteneinsparungen für Heizen und Kühlen gegeben, jedoch nicht sehr hoch. Dies ist u.a. damit zu begründen, dass hier ein bereits auf EnEV-Neubau-Standard gedämmtes Dach für die Betrachtung herangezogen wird. Wird ein Vergleich mit einem schlechter gedämmten oder gar ungedämmten Industriedach herangezogen, so sind Kühl- und Dämmeffekt höher zu bewerten (falls aktiv geheizt und gekühlt wird).

Inwieweit eine Optimierung über Gebäudebegrünung das Potenzial darstellt, auf eine aktive Kühlung zu verzichten, wäre in diesem Zusammenhang eine interessante Fragestellung, die jedoch objektspezifisch beantwortet werden müsste.

Ergebnis der Kostegenüberstellung: Extensives Gründach vs. Kiesdach (siehe Abb.156)

Die Investitionskosten des Gründaches liegen im Vergleich zu einem Kiesdach um ~13 €/m² höher, die Wartungskosten pro Jahr um ~1,65 €/m². Trotz der höheren Investitions- und Wartungskosten stellt sich das extensive Gründach im Vergleich zu einem Kiesdach über den Lebenszyklus besser dar. So besitzt über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und 5 % Diskontierung das Gründach einen Barwert von ~75 €/m² Dachfläche (vgl. Tab. 4, S. 142) im Vergleich zu ~77 €/m² Dachfläche des Kiesdaches. Die Differenz zu dem Barwert des Kiesdaches ist nicht hoch, jedoch zeigt sich, dass über die Kosteneinsparungen über den Lebenszyklus (Niederschlagswassergebühr und Energiekosten) sowie

Abb. 156: Kostenvergleich eines extensiven Gründaches mit einem Kiesdach über den Lebenszyklus von 50 Jahren (TU Darmstadt FGee/FG e+f)



durch die längere Lebensdauer später anfallenden Kosten, die höheren Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu einem Kiesdach wieder ausgeglichen werden. Das extensive Gründach ist somit unter den hier getroffenen Annahmen nicht teurer als ein Kiesdach.

Der Kostenvergleich wurde ohne eine Förderung des Gründaches betrachtet. Eine zusätzliche Förderung würde sich nochmals positiv auf die Kostenbilanz auswirken.

Ergebnis der Kostgegenüberstellung: Extensives Gründach + PV vs. Kiesdach + PV (siehe Abb.157)

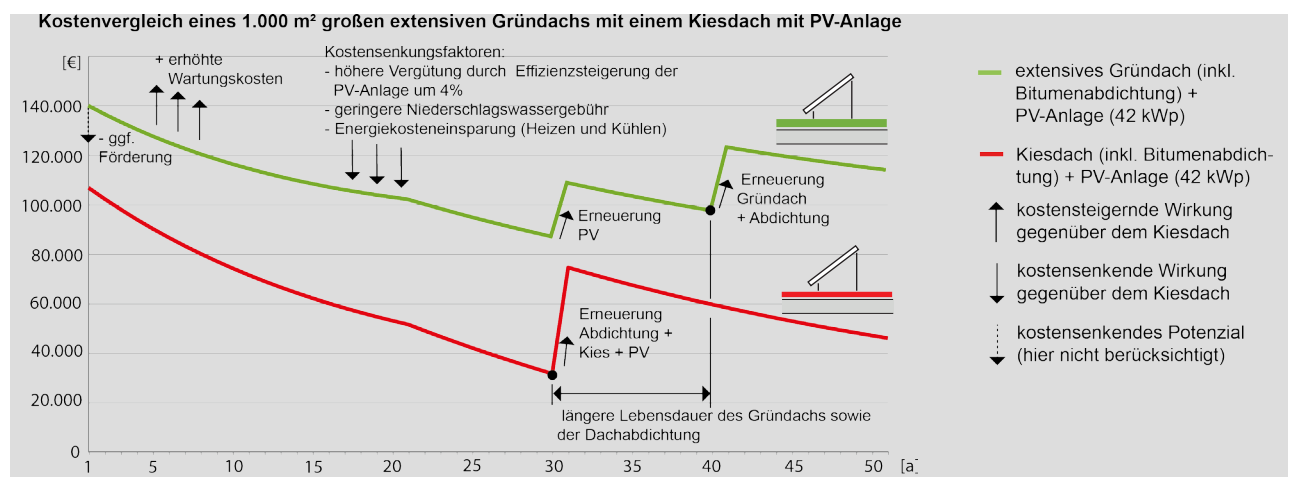
Um den Einfluss der Kosteneinsparung in Kombination mit einer PV-Aufdachanlage ebenfalls zu quantifizieren, wird das extensive Gründach sowie das Kiesdach mit einer 300 m² großen Aufdachanlage (42 kWp) mit monokristallinen Modulen kombiniert. Die Leistungssteigerung über die Kombination mit einem Gründach und die dadurch bedingte Kühlwirkung der Anlage wird mit 4 % [161] angesetzt (siehe Kap.4. 4.1). Über den höheren Stromertrag kann die PV-Anlage über dem Gründach im Vergleich zu dem Kiesdach einen Kostengewinn von ~300 €/a erzielen (siehe Tab. 4, S. 142). Energieeinsparungen für Heizen und Kühlen sowie die Einsparung aus der Niederschlagswassergebühr werden wie bereits erläutert berücksichtigt. Die Investitionskosten des extensiven Gründachs, die mit einer PV-Unterkonstruktion (UK) als Kompaktsystem kombiniert wird, liegen ~33 €/m² höher im Vergleich zu einem Kiesdach mit einer

konventionellen PV-UK. Dies ist zum einen mit einer etwas teureren Begrünung (für Verschattungsbereiche) sowie der Systemkombination zu begründen. Aufgrund der PV-Anlage kommt es zudem zu einem höheren Wartungsaufwand für die Begrünung. Die Differenz der Wartungskosten liegen mit 1,95 €/m² im Vergleich zu einem extensiven Gründach ohne PV-Anlage daher etwas höher.

Die höheren Investitions- und Wartungskosten im Vergleich zu dem Gründachsystem ohne PV-Anlage gleicht der Gewinn aus dem höheren Stromertrag nicht aus. Der Barwert für das extensive Gründach inkl. PV-Anlage liegt bei ~114 €/m², der für das Kiesdach bei PV-Anlage bei 46 €/m². An dieser Stelle würde eine Milderung der Kosten durch eine Förderung dem Gründach und somit der positiven Wirkung für die Umwelt zugute kommen.

Bei dem hier aufgestellten Kostenvergleich können die sog. „weichen Faktoren“, wie die Wirkung auf das Stadtklima, die Verbesserung der Gebäudegestalt und das Wohlbefinden, monetär nicht abgebildet werden. Sie sind jedoch bei Investitionsentscheidungen und Fördergelderansätzen zu berücksichtigen.

Abb. 157: Kostenvergleich eines extensiven Gründaches mit PV und einem Kiesdach mit PV über den Lebenszyklus von 50 Jahren (TU Darmstadt FGee/FG e+f)



4.8 Fazit - Energetisches Potenzial für das Gebäude

Auf ihre unterstützende Wirkung zur Deckung der verschiedenen Bedarfe (Wärme, Kälte, Frischluft, Licht, Wasser, Strom) bezogen besitzt die Gebäudebegrünung das größere Potenzial in der Gebäudekühlung. Die Begrünung kann hier im hohen Maße unterstützend wirken, indem sie Sonnenschutzfunktionen übernimmt oder über Verdunstungskühlung Bauteile bzw. Zuluftströmungen kühlt.

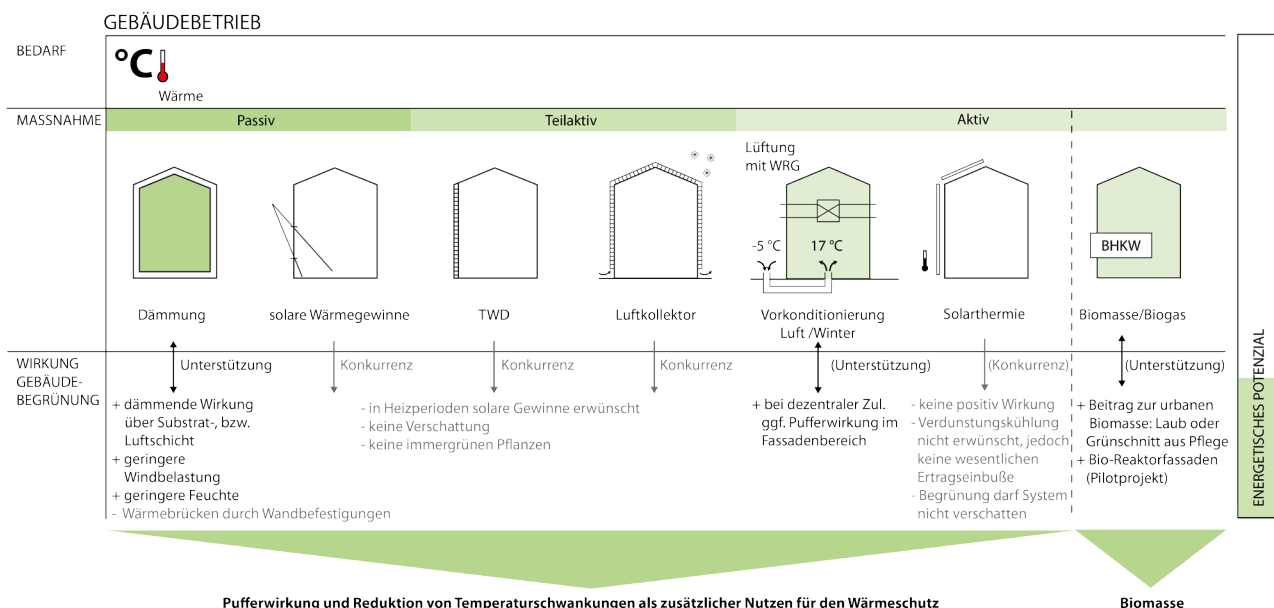
Auch in anderen Teilbereichen der Bedarfsdeckung kann die Gebäudebegrünung unterstützend wirken. Allgemein hilft eine intakte Begrünung, extreme Temperaturschwankungen und damit Oberflächentemperaturen zu reduzieren, Bauteile zu schonen und Lebensdauern zu verlängern. Synergien der Regenwassernutzung können für Begrünungen und Kühlungsprozesse gleichermaßen genutzt werden. Über Ab- und Adsorption atmosphärischer

Spurenstoffe kann die Pflanze Luftverbessernd wirken. Die hausnahe Luftfeuchtigkeit wird erhöht.

Die unten- und nebenstehenden Grafiken (Abb. 158, 159, 160) zeigen die unterstützende Wirkung der Gebäudebegrünung für die einzelnen energetischen Maßnahmen nochmals in einer Übersicht. Dabei werden die Einsparmaßnahmen bzw. Gewinnsysteme in Bezug auf Ihre Bedarfsdeckung getrennt voneinander betrachtet. Systeme der Gebäudebegrünung, die technisch unterstützend wirken bzw. Systeme substituieren können, sind grün dargestellt.

Wichtig ist ein bedarfsgerechter Einsatz der Begrünung.

Abb. 158: Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Heizwärme. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung (TU Darmstadt, FGee/FGef)



Gebäudebegrünung und Energie - Wirkung auf das Gebäude

Abb. 159: Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Kühlung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

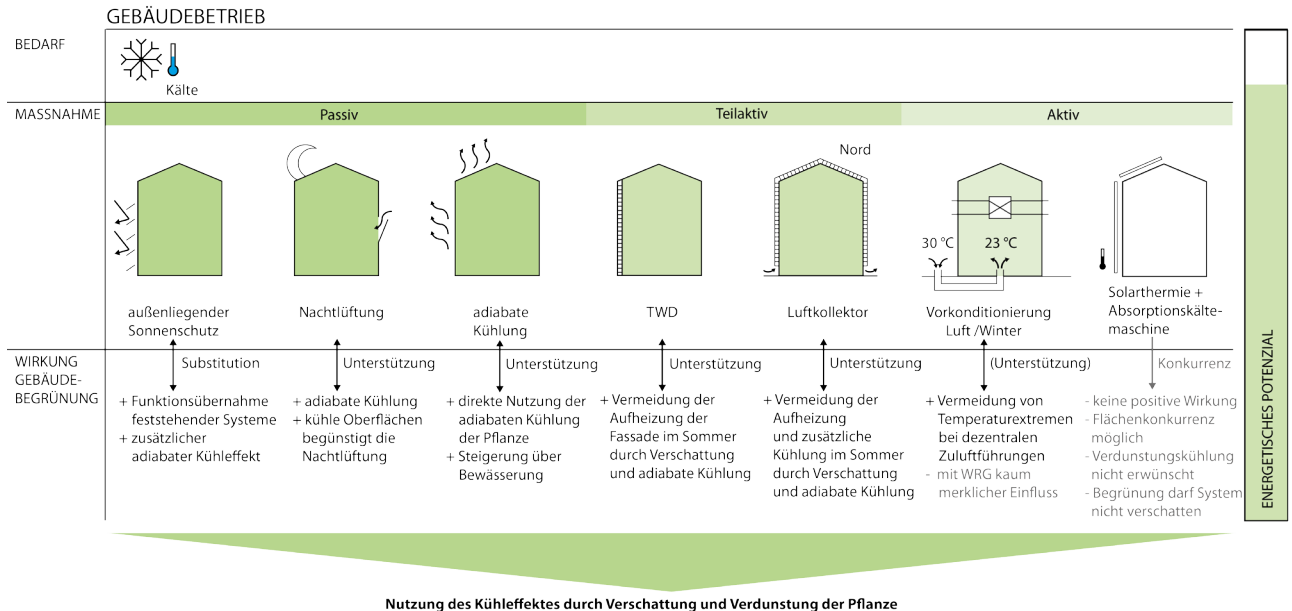
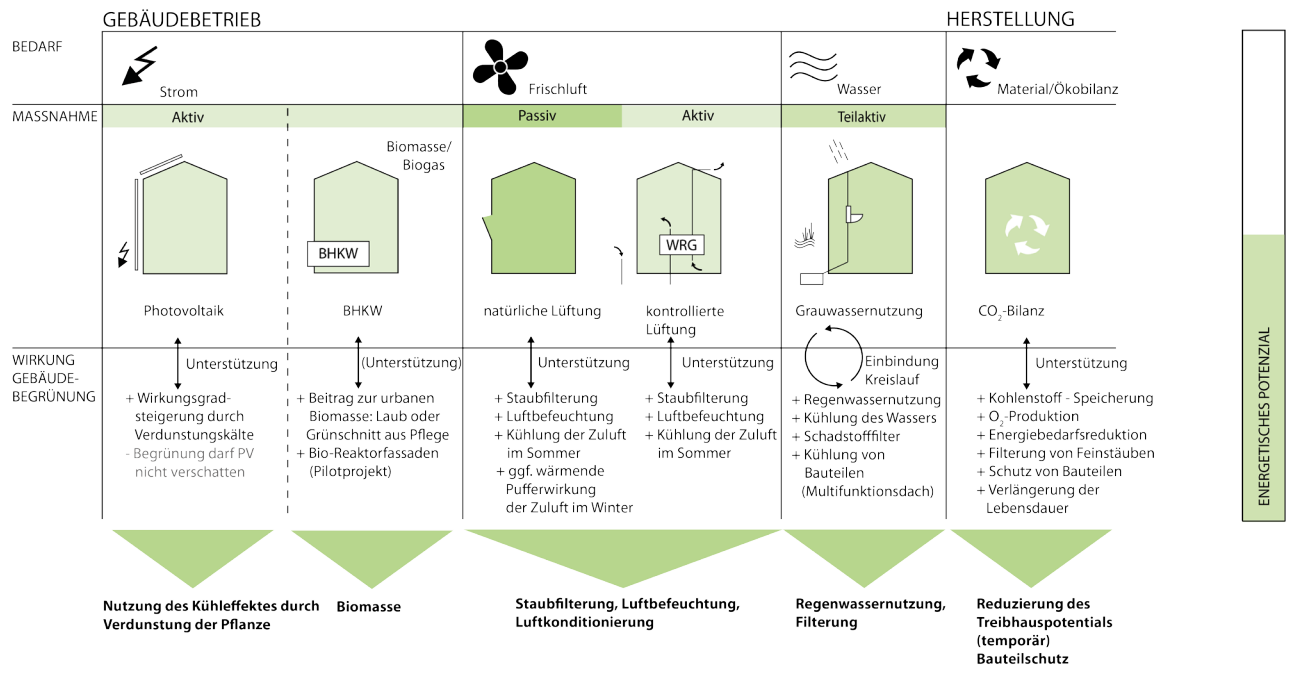


Abb. 160: Maßnahmen zur Bedarfsdeckung von Strom, Frischluft und Wasser im Gebäudebetrieb, sowie die ökobilanziellen Aspekte für die Herstellung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)



05

Gebäudebegrünung

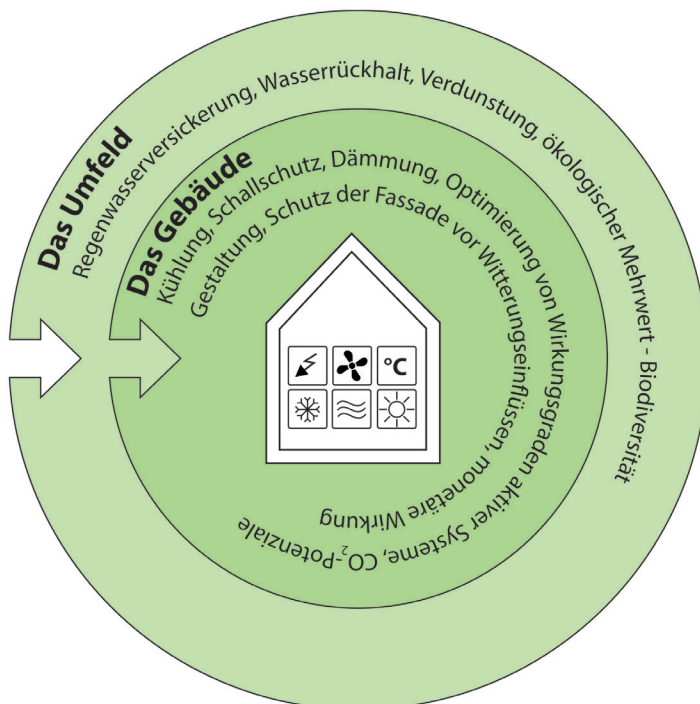
- Wirkung auf das Umfeld

5. Gebäudebegrünung - Wirkung auf das Umfeld

Neben dem Gebäude kann die Gebäudebegrünung auch Vorteile für das gebäudenahere Umfeld bieten. So werden bei Starkregenereignissen ein Regenwasserrückhalt gewährleistet und zusätzliche Verdunstungsflächen geschaffen.

Diese Faktoren haben auch einen direkten Einfluss auf den städtischen Raum. Da jedoch gerade das Thema Versickerungsflächen auf privaten Grundstücken eine Schnittstelle zwischen Gebäude und Stadtraum darstellt, wurde an dieser Stelle nochmals in die Ebene „Umfeld“ unterschieden.

Im Rahmen dieses Leitfadens wird auf die Themen Oberflächenwasser, Regenwasserverdunstung, Lärmschutz und Biodiversität näher eingegangen.



5.1 Oberflächenwasser und Gebäudebegrünung

Über Kanalsysteme werden Abwässer gesammelt und der Abwasserreinigung zugeführt. Bei Starkregenereignissen kann in sog. Mischkanalisationen der Volumenstrom um das 100-fache der Schmutzwassermenge bei Trockenheit ausmachen. [23]

Solche Kanalisationsbelastungen stellen für Städte und Kommunen eine Herausforderung dar, wofür größere Kanalisationsquerschnitte bemessen werden müssen.

Synergie

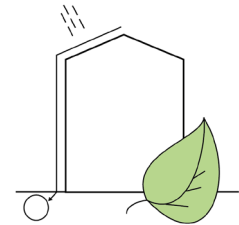
Über Regenwasserrückhaltfunktionen von Gebäudebegrünungssystemen können Kanalüberlastungen durch Starkregenereignisse reduziert werden. Die Funktion des Regenwasserrückhalts besitzen insbesondere Dachsysteme. Der Rückhalt erfolgt hier über die Speicherung im Substrat, Kunststoff-Drainageelementen oder die Aufstauung von Wasser über dem Substrat. Das Niederschlagswasser wird über die Flächen verdunstet, für weitere Nutzungen wie Bewässerung gesammelt bzw. gespeichert oder zeitverzögert der Kanalisation zugeführt.

Abflussbeiwert

Den Beitrag, den Flächen zur Einleitung von Niederschlagswasser in die Kanalisation bedingen, wird über den sogenannten Abflussbeiwert angegeben. Der Abflussbeiwert beschreibt den Quotienten aus dem Niederschlag, der direkt in die Abwasserbeseitigungseinrichtungen gelangt und dem Gesamtniederschlag. Er ist abhängig von dem Versiegelungsgrad der Flächen. Versiegelte Flächen haben i.d.R. einen Wert von 1,0 (asphaltierte Straßen), teilversiegelte zwischen 0,6 - 0,3 (Natursteinpflaster, Rasengittersteine). Gebäudehüllflächen gelten i.d.R. ebenfalls als versiegelte Flächen. Flächen wie Gründächer, die jedoch Wasser temporär zurückhalten und eine Verdunstungsfläche bieten, weisen einen niedrigen Abflussbeiwert auf (vgl. Tab.5).

Niederschlagswassergebühr

Der Regenwasserrückhalt durch den Einsatz von Gebäudebegrünung wird durch Stadt oder Kommunen finanziell gefördert, indem Abwassergebühren gesenkt werden. Die Gebühren für die Einleitung des Niederschlagswassers werden über die anteiligen Flächen und deren Abflussbeiwert, d.h. den Versiegelungsgrad, auf dem Grundstück



Synergie

- Regenwasserrückhalt durch Gebäudebegrünungssysteme
- Entlastung der Kanalisation bei Starkregenereignissen durch:
 - Verdunstung
 - Speicherung
 - Bewässerung
 - Verzögerte Einleitung in die Kanalisation

Potenzial

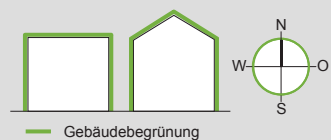
Rückhalt von Regenwasser über begrünte Dachflächen: 50 - 99 % (je nach Aufbau) großes Rückhaltvermögen besitzen intensive Begrünungen und Retentionsdächer

Bepflanzungsarten

- hauptsächlich Dachbegrünungen
- anteilig auch fassaden- und bodengebundene Systeme

Flächen und Orientierung

- alle Gebäudebegrünungsflächen betreffend



Abflussbeiwert (C) für Dachflächen (nach DIN 1986-100)

Fläche	Abflussbeiwert C
begrünte Dachflächen	
- für Intensivbegrünungen	0,3
- für Extensivbegrünungen ab 10 cm Aufbau	0,3
- für Extensivbegrünungen unter 10 cm Aufbau	0,5
Flachdach mit Kiesschüttung	0,5
Dachneigung < 15 Grad	0,8
Dachneigung > 15 Grad	1,0

Tab. 5: Abflussbeiwerte von Dachflächen gem. DIN 1986-100 (TU Darmstadt FGee/FGef)

bemessen. Die Niederschlagswassergebühr ist ein Teil der gesplitteten Abwassergebühr, die neben dem Einleiten von Schmutzwasser erhoben wird. Flächen, wie Gründächer, die keinen oder nur einen geringen Beitrag zum Abfluss des Niederschlagswassers besitzen, müssen nicht oder nur anteilig bei der Bemessung der Gebühr angesetzt werden [78]. (Siehe auch Kap. 4.7 und 7.2)

Wirkung

Bei intensiven Dachbegrünungen beträgt der Wasser-Rückhalt je nach Aufbau 60 - 99 % der Niederschlagsmenge bei einer Speicherfähigkeit von 30 - 160 l/m². Dies führt zu einem Abflussbeiwert von 0,4 bis 0,05 [3, S.56]. Aber auch schon bei „geringmächtigen“, extensiven Substraten können im Jahresmittel ca. 75 - 90 % des Gesamtniederschlags zurückgehalten werden [38, S. 111 ff.; 49; 33, S. 251]. Hierdurch sind die Voraussetzungen für einen völligen Entfall der Dachwassereinleitung in die Kanalisation verbessert. Restmengen können in einer Zisterne mit Versickerungsüberlauf

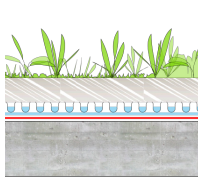
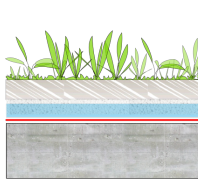
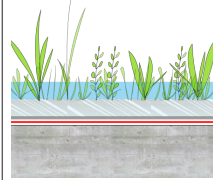
aufgefangen werden. Retentionsdächer stellen die Systeme mit den höchsten Rückhaltevermögen dar. Über das Substrat selbst, Drainageelemente oder die Aufstauung von Wasser oberhalb der Substratschicht können sie das Wasser rückhalten. In Tabelle 6 sind Messwerte zu Wasserrückhalt, der temporären und dauerhaften Wasserspeicherung sowie der Abflussbeiwert dargestellt. Diese Dachformen liefern den besten Abflussbeiwert von 0,01 bis 0,3 (Marktauswertung). Die nach Nutzung der Anstaureserve verbleibende Überlaufmenge kann durch Versickerung dem Erdboden zurückgegeben werden.

Begrünungssysteme

In der Regel werden Dachflächen im Zusammenhang mit dem Regenwasserrückhalt benannt. Dennoch können auch wandgebundene Systeme und bodengebundene Fassadenbegrünungen, über deren unversiegelten Bodenanschluss, eine Speicherung und Versickerung von Regenwasser leisten.

Tab. 6: Messwerte zu drei Ausführungsvarianten von Retentionsdächern (Marktauswertung Nicole Pfoser 2012)

Messwerte zu Wasserrückhalt, -speicherung und Abflussbeiwert verschiedener Ausführungsvarianten von Retentionsdächern (Marktauswertung):

			
Regulierte Wasserführung	① unter Substrat	② im Substrat	③ über Substrat
Schichthöhe des Aufbaus	9 - 12 cm	8 - 12 cm	9 - 12 cm
Aufbau-Gewicht	90 - 120 kg/qm	130 - 210 kg/qm	50 - 150 kg/qm (je nach Wasserstand)
Wasserrückhalt	50 - 90 %	70 %	50 - 90 %
Wasserspeicherung dauerhaft	21 - 38 l/qm	25 - 50 l/qm	bis zu 8 l/qm
Wasserspeicherung temporär	40 - 53 l/qm	kein Messwert	kein Messwert
Abflussbeiwert	0,01 - 0,3	0,3	entfällt, da nur Notüberlauf

5.2 Regenwasserverdunstung und Gebäudebegrünung

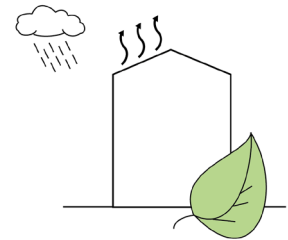
Das Ableiten von Regenwasser in die Kanalisation besitzt erhebliche Nachteile für das Klima. In diesem Zusammenhang spielen die versiegelten Flächen von Straßen und Gebäuden eine wesentliche Rolle. Hier sollte in der Stadtplanung ein Paradigmenwechsel stattfinden, um einen natürlichen Wasserkreislauf von Niederschlag, Verdunstung und Kondensation zu fördern. [78]

Synergien

Die Gebäudebegrünung bietet in urbanen Räumen ein großes Potenzial zum Feuchterückhalt als Ausgleich von versiegelten Flächen. Im Vergleich zu natürlichen Landschaften bedingen die Ableitung des Niederschlagswassers sowie der hohe Versiegelungsgrad eine erhebliche Verringerung der Verdunstung. Die Verdunstung von Regenwasser stellt jedoch global die bedeutendste energetische Komponente dar [167]. Neben der Möglichkeit der Kühlung von Gebäuden über die Verdunstung von Wasser (siehe Kap. 4.2.4), spielt die Regenwasserverdunstung auch eine unmittelbare Rolle zur Vermeidung von Hitzeinseln in Stadträumen (siehe Kap.

6). Infolge fehlender Verdunstung, wie in stark versiegelten städtischen Räumen, heizen sich die Städte stärker auf. Statt in Verdunstung von Wasser wird die solare Strahlung in sensible Wärme und langwellige Strahlung umgesetzt. [78] Die Versiegelungsgrade sollten daher so gering wie möglich gehalten werden.

Neben dem Kühlungseffekt ist die Regenwasserverdunstung wichtig, um für erneute Niederschläge zu sorgen. Nur der Anteil des Regenwassers, der wieder verdunstet, erzeugt neue Niederschläge. Regional ist der sogenannte „kleine Wasserkreislauf von Landoberflächen“ im Vergleich zu dem Niederschlag von verdunstetem Meerwasser für den höheren Anteil der lokalen Niederschläge verantwortlich. Wird lokal weniger verdunstet, wirkt sich dies unmittelbar auf die regionalen und überregionalen Niederschläge aus, was zu einer „Kettenreaktion“ führt. Die Reaktion ist jedoch lokal verschieden. In Europa setzt sich der kleine Wasserkreislauf z. B. drei bis vierfach hintereinander fort. [78] Wird beispielsweise im Einzugsgebiet die Verdunstung um einen Kubikmeter



Synergie

- Reduktion versiegelter Flächen
- Erhöhung der Verdunstungsrate
- Kühlung des Stadtraumes
- Beitrag zu regionalen Niederschlägen

Potenzial

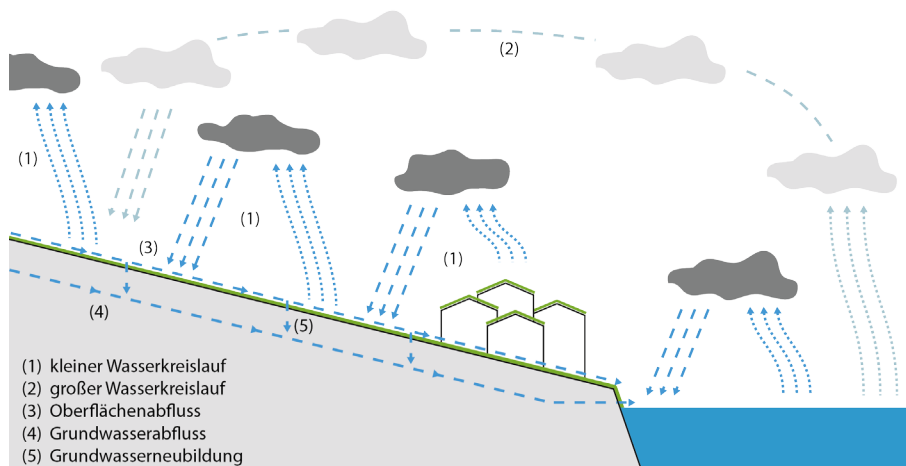
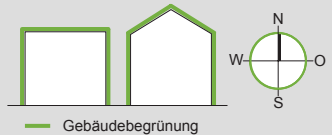
- Verdunstung des Jahresniederschlags von 65 % - 75 % bereits bei extensiven Begrünungen möglich [78]

Bepflanzungsarten

- alle betreffend

Flächen und Orientierung

- alle Gebäudebegrünungsflächen betreffend



- (1) kleiner Wasserkreislauf
- (2) großer Wasserkreislauf
- (3) Oberflächenabfluss
- (4) Grundwasserabfluss
- (5) Grundwasserneubildung

Abb. 161: Kleiner und großer Wasserkreislauf: Die Reduktion der Verdunstung an Land führt zur Verringerung der Niederschläge. Gebäudebegrünung kann zur Steigerung der Verdunstung von sonst versiegelten Flächen beitragen. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kravčík, M. et al. (2007))

Wasser verringert, reduziert sich der regionale Niederschlag um das 4-fache.

Im Vergleich zu der Problematik der fehlenden Grundwasserneubildung, stellt die fehlende Verdunstungsrate infolge versiegelter und teilversiegelter Flächen das größere Problem dar [78]. Der Verdunstungsmangel infolge Flächenversiegelung wiegt schwerer als eine reduzierte Grundwasserneubildung. Im Gegenteil, Messungen der TU Berlin zeigen, dass teilversiegelte Flächen die Grundwasserneubildung im Vergleich zu forstwirtschaftlich oder landwirtschaftlich genutzten Flächen überkompensieren (siehe Abb. 162, 163). [78] Der Fokus von Städten sollte daher u.a. auf der Regenwasserverdunstung liegen.

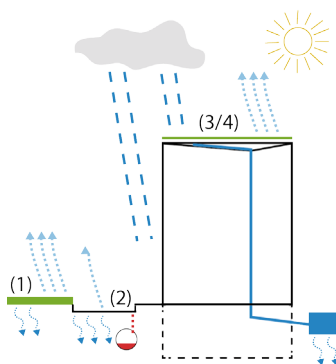
von Grundwasser dienen [78]. Damit kommt die Dachbegrünung anteilig dem Wasserhaushalt einer natürlichen bewachsenen forstwirtschaftlichen Fläche nahe.

Begrünungssysteme

Sowohl Fassaden- als auch Dachbegrünungssysteme tragen zu der Verdunstung von Niederschlagswasser bei. Bewässerte Systeme besitzen zudem eine erhöhte Verdunstungsrate, die über 100 % im Verhältnis zu den natürlichen Niederschlägen hinaus gehen kann [221].

Abb. 162: links: Schemazeichnung zum Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

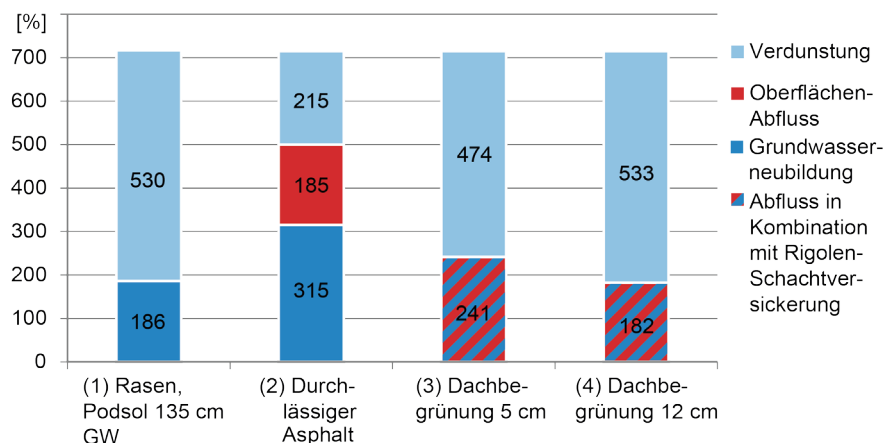
Abb. 163: rechts: Messungen zum Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen als durchschnittliche Jahressumme vom Jan. 2001 bis Dez. 2004 an der TU Berlin Wilmersdorf (TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Schmidt, M. (2010))



Wirkung

Begrünte Dachflächen besitzen ein hohes Ausgleichspotenzial zu versiegelten Flächen. Extensive Dachbegrünungen können mit 5 - 12 cm Substrataufbau bereits 60 - 75 % des Jahresniederschlags verdunsten. Der restliche Abfluss des Niederschlags kann wiederum über Versickerungsanlagen für die Neubildung

Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen



5.3 Minderung der Lärmbelastung durch Gebäudebegrünung

Lärmbelastung im städtischen Raum

Lärmentstehung

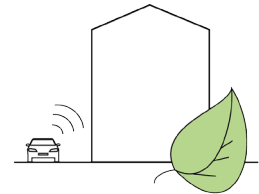
Die hier zugrunde gelegte akustische Dauerbelastung der Stadtlandschaft wird als Geräuschsockel vorwiegend durch Schallemissionen des Verkehrs (Straße, Schiene) verursacht. Sie wird örtlich temporär durch Fluglärm, Baulärm, Kindereinrichtungen, Musikfeste, Sportveranstaltungen usw. verstärkt und zu jeder Zeit spontan von Schallspitzen wie Rettungsdiensten, Gewitter, usw. überlagert. Schallereignisse breiten sich zunächst radial von ihren Quellen her aus, mischen sich zu teilweise undefinierbarem Lärm und wirken als Luftschall auf die städtische Topografie aus Bodenflächen, Grünflächen und Gebäudehüllen ein. Ein Teil dringt durch die aus Massiv- und Membranbauteilen gefügten Gebäudehüllen in die Innenräume, er wandelt sich unter Energieverlust (Bauteil-Anregung) in den Baustoffen zu Körperschall um. Die nach dem Materialdurchgang noch unverbrauchte Energie wird erneut als Luftschall in den Raum abgestrahlt.

Lärmreduktion

Ein Abbau der Schallintensität wird über Entfernung (Minderung), Reflektion (Streuung) und Absorption (Dämpfung) bewirkt, die Schallenergie wird dabei durch die Arbeit der Schwingungsanregung in Luft bzw. in den beschallten Materialien verzehrt. Diesen Wirkmechanismen bieten sich Gebäudebegrünungen auf verschiedene Weise an.

Minderungspotenzial „Dachbegrünung“ Anteil Substrat

Zur effizienten Lärmreduktion sind zunächst solche Gebäudebegrünungen im Vorteil, welche durch das Massengewicht ihres Substrataufbaus den Abbau der Schallenergie begünstigen. Dies ist bei extensiver und verstärkt bei intensiver Dachbegrünung der Fall: die auftreffenden Schallschwingungen verbrauchen durch die Erregung der Substratmasse einen wesentlichen Teil ihrer Energie, während die Reflexion infolge der weichen, unebenen Oberfläche gering bleibt. Dabei wirkt sich positiv aus, dass die lose Schüttung von Substrat-Mischungen eine gute „Schallschluckfähigkeit“ besitzt: sie kann



Synergie

- Neben den Faktoren Stadtklima, Stadtbild, Fauna und Ökologie: Außen- und Binnenreflektion Pflanzen-Blattmasse
- + Absorptionsleistung Substrat = Faktor Lärmreduktion

Potenzial

- Lärmreduktion städtischer Freiräume
- Reduktion Transmission Gebäude
- Kombination mit PV-Kollektoren

Bepflanzungsarten

- alle Arten betreffend Minderungsfaktor Pflanze:
- Blattmasse (Menge, Größe, Dicke)
 - Substrat (Volumen, Gewicht)

Flächen und Orientierung

- alle begrünungsfähigen Dach- und Wandflächen mit jeweils geeigneter Pflanzenwahl
- Freistehende Lärmschutzwände

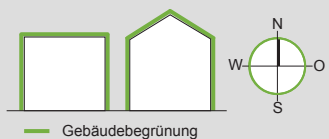


Abb. 164: Paris, Musée du Quai Branly. Kombination aus Reflektion (10m hohe Glaswand) und Absorption (flächige wandgebundene Fassadenbegrünung) des Straßenverkehr-Lärms (Foto: Nicole Pfoser 2011)

infolge ihres hohen Feuchtgewichts und ihrer amorphen Zusammensetzung kaum zu Schwingungen angeregt werden, da ihr selbst im durchwurzelten Zustand eine Reaktion als Membrane nicht möglich ist. Poröse Stoffe (Erde, Kiesflächen, Dämmung usw.) verzehren einen Teil der Schallenergie durch „gefangene“ Innenreflexionen („Schallschluck-Material“). Dichte, kristalline Oberflächen reflektieren einen Teil der auftreffenden Schallenergie diffus in Nebenrichtungen. [182]

in dicht schließender Modulbauweise („Vertical Garden“), deren feuchte Substratbehälter miteinander eine homogene, schwere „Vorsatzschale“ zur Gebäude-Außenwand bilden. Für die Innenraumwirkung kann dieser Effekt nur genutzt werden, wenn eine auf die Störschallfrequenzen abgestimmte schwingungsentkoppelte Montagetechnik zwischen dem Gebäude und der erregbaren Begrünungs-Konstruktion zur Anwendung kommt. Einschränkungen der Flächen-Effizienz sind zudem gegenüber (intensiv) begrünten Dächern bei Rand- und Fensteröffnungen unvermeidlich. Im städtischen Freiraum wirkt die Absorptionsfläche „Fassade“ an idealer Position der Haupt-Schallausbreitung im Straßenraumprofil. [182]

Tab. 7: Maximale Lärminderung durch Begrünungen

Nicole Pfoser 2013, Grundlagen:

- ① Weber, M. (2011) [217];
- ② Lagström, J. (2004) [244];
- ③ Connelly, M./Hodgson, M. (2008) [246];
- ④ Mann, G. (o.J.) [230];
- ⑤ Feldmann, J./Möser, M./Volz, R. (o.J.) [235];
- ⑥ Buchta, E./Hirsch, K.-W./Buchta, C. (1984) [236];
- ⑦ ⑪ Wong, N.H. et al. (2010 a) [237];
- ⑧ Pfoser, N. (o.J.) [182];
- ⑨ Kunstmann, H./Dietrich, F. (2009) [231]; BOTT Begrünungssysteme GmbH, Hrsg. (2013) [245];
- ⑩ Oesterreicher, T. (2009) [232];
- ⑫ Van Renterghem, T./Botteldooren, D. (2008) [233]

Anteil Pflanze

Wie die Auswertung der Literatur zeigt, ist der Minderungseffekt der Pflanzen stark von der Blätterdichte, der Blattfläche und -Dicke sowie von der vorherrschenden Blattstellung abhängig [231]. Dabei wirken die Effekte der Reflektion und der Umwandlung von Schallenergie in mechanische Bewegung.

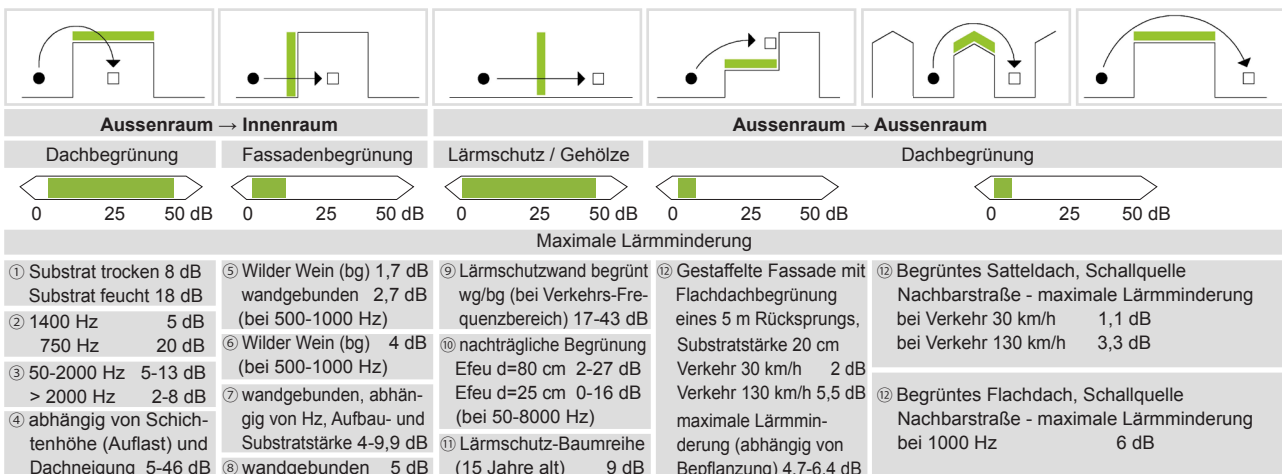
Minderungspotenzial „Fassadenbegrünung“

Anteil Substrat

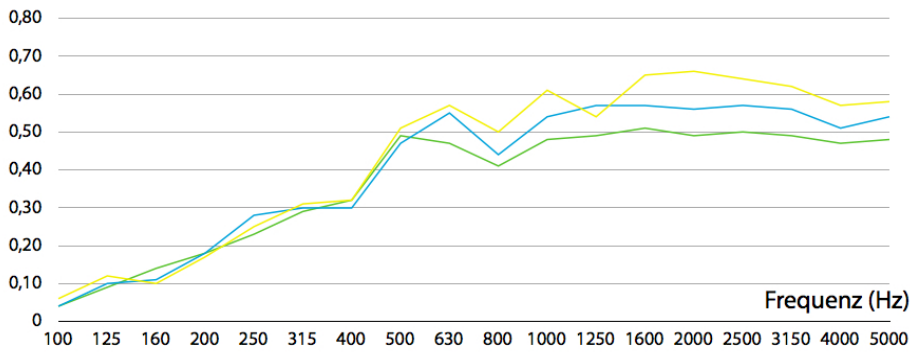
Einen grundsätzlich mit der Dachbegrünung vergleichbaren Effekt leisten wandgebundene Fassadenbegrünungen

Anteil Pflanze

Wandgebundene modulare Fassadenbegrünungen haben in der Regel bereits aus Gestaltungsgründen in der Vollausrüstung einen dichten flächendeckenden Bewuchs, dessen Schall-Binnenreflexionen direkt der absorbierenden Eigenschaft des Substrats zugeleitet werden. [182]

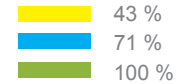


Absorption



Tab. 8: Fassadenbegrünung - Absorptionsgrade nach Frequenz und Bedeckungsgrad der Begrünung (Nicole Pfoser 2013, nach: Wong, N.H. et al. (2010 a) [237])

Bedeckungsgrad Begrünung:



Überlagerung Pflanze und Energiegewinnung

Die schallmindernde jedoch konkurrierende Nachbarschaft aus flächendeckender Bepflanzung und flächenoffener Nutzung von Umweltenergie erfordert wuchsbegrenzende konstruktive Maßnahmen und/oder eine regelmäßige Wartung. Bei der Kombination einer Flächenbegrünung mit energieeffizienten Bauteilen ist hinsichtlich der Lärminderungs-Effizienz für das Gebäude darauf zu achten, dass schwingungsentkoppelte Befestigungstechniken eingesetzt werden, um eine Körperschallübertragung auf die Gebäudewand zu vermeiden. [182]

Auswertung der Literatur, Daten-Messergebnisse

Die überwiegende Mehrzahl der ausgewerteten Ergebnisberichte befasst sich mit Flug- und Straßenverkehr-Lärmbelastungen, wobei für städtische Messanordnungen übliche Straßenraumprofile in unterschiedlichen Abmessungen mit geschlossenen oder gestaffelten (unbegrünt und begrünt) Vertikalfassaden sowie begrüntem Flachdach- bzw.

Schrägdach-Formen zugrunde gelegt wurden. Von Herstellern wurden Messdaten für freistehende Lärmschutzwände (z. B. als Autobahn-Begleitgrün) geliefert, die prinzipiell auch als Umzäunung von Stadtparks (wie zurzeit am Botanischen Garten Frankfurt in Erprobung) und als Begleitgrün innerstädtischer Hauptverkehrsachsen oder Bahnstrecken denkbar sind. In-Situ-Erforschungen werden von nicht beeinflussbaren Variablen geprägt, wie den unterschiedlichen Bauweisen (Oberflächen-Beschaffenheit der Gebäudeflächen, der Straße etc., Ausmaß/Zustand der Begrünung), der Witterung (z. B. Windstärke und -Richtung, Trockenheit/Nässe) und der ständig variierenden Beschallungsqualität. Gerade aber diese ortsbezogenen Messergebnisse liefern zusammen mit der Beschreibung der jeweils vorliegenden Situation verwertbare Erkenntnisse über die Wirkmechanismen der Schallminderung (Absorption, Reflektion) und über günstige Ausgangsbedingungen für die einzelnen Bestandteile der Begrünungsaufbauten (Substratform und -Stärke, Blattanordnung und -Masse). [182]

Exkurs

Die Verordnung über die Lärmkartierung vom 06.03.2006 (34. BImSchV, § 5) regelt die Kartierung von Umgebungslärm. Sie unterscheidet Grenzwerte nach Tag 6-18 Uhr, Abend 18-22 Uhr (bes. Fluglärm) und Nacht 22-6 Uhr.

Immissions-Grenzwerte für Verkehrslärm (16. BImSchV, § 2):

- Schule, Altenheim, Spital: Tag/Nacht = 57/47 dB
- Wohngebiet: Tag/Nacht = 95/49 dB
- Kerngebiet, Dorf, Mischgebiet: Tag/Nacht = 64/54 dB
- Gewerbegebiet: Tag/Nacht = 69/59 dB

Der Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), stellt Kommunikationsschall und Störschall gegenüber: Ruhiges bis lautes Sprechen von 50 bis 75 dB wird durch einen 6 dB lauterem Störschall besonders in den tieferen Frequenzen vollständig überdeckt. Besonders für Ältere und schwerhörige Menschen, die auf diese Frequenzen angewiesen sind, ist eine Kommunikation dann kaum noch möglich. [250]

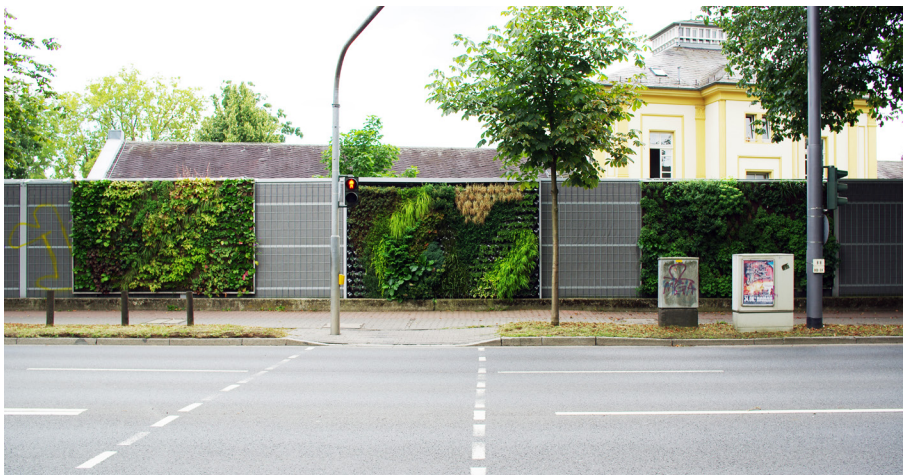
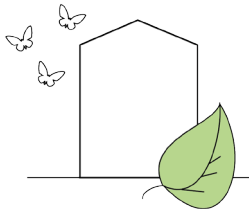


Abb. 165: Palmengarten Frankfurt (Westseite/Miquelallee) Versuchsaufbau mit 3 m hohen begrüntem Lärmschutz-Wandelementen verschiedener Hersteller (Foto: Nicole Pfoser 2013)



Synergie

Die Vielfalt der städtischen Fauna ist ein Maß für die Lebensraum-Qualität der Menschen in der Stadt: Wasserrückhalt, Luftqualität, Biodiversität, Pufferung der Klima-Extreme sind gemeinsame Bedürfnisse.

Potenzial

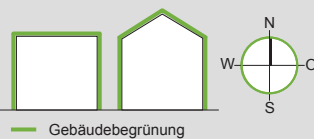
Dächer und Fassaden bieten sich angesichts städtischer Bodenversiegelung als großflächiges Ersatzangebot für eine faunagerechte Stadtbegrünung an. Verbesserungen der Stadtgestalt und des Wohnwerts amortisieren die Umsetzungskosten.

Bepflanzungsarten

Winterharte Blühpflanzen, Pflanzen mit Nahrungsangebot für die Fauna, Pflanzengesellschaften, die auch in ihrer Ruhephase Rückzug und Schutz bieten.

Flächen und Orientierung

alle Gebäudebegrünungsflächen



5.4 Biodiversität und Gebäudebegrünung

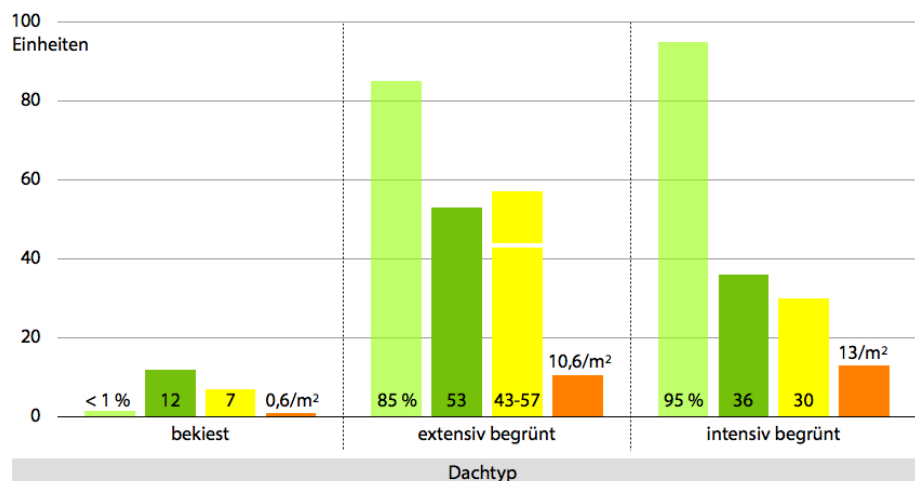
Gebäudebegrünungen haben neben ihren klimatischen, Schall- und Schadstoffabsorbierenden und gestalterischen Fähigkeiten das Potenzial, in den überwiegend naturenfernten Stadträumen der Fauna ein Lebensraumangebot zurückzugeben.

Bereits 1987 nimmt die Veröffentlichungsreihe "Natur- und Landschaftspflege in Baden-Württemberg" in ihrem Abschnitt "Dachbegrünung" faunistische Untersuchungen auf und liefert eine Übersicht zur Artendiversität und Häufigkeit von Kleintier- und Insekten-Besiedlungen auf Flachdächern [238]. Die Untersuchung liefert Ergebnisse zum Deckungsgrad der Begrünung, der Artendiversität der Flora sowie der davon abhängigen Individuenanzahl und -dichte der Fauna (siehe Tab. 9). Hier wird zudem - ganz im Sinne der frühen Forderung nach einer funktionalen Einbindung von Bauwerken in Ökosysteme [81] - der Gedanke zur Bildung eines „Städtischen Grünflächen-Verbundsystems“ aus Fassadenbegrünungen, Baumalleen und Dachbegrünungen ange-regt. Diesem Gedanken folgt der aktuelle

“Trittstein“-Begriff als (überspringbare) Verknüpfung eines erweiterten und verbesserten städtischen Flora-Angebots für Tiere mit den Angeboten der stadtnahen Naturflächen.

Über die Nutzung des Lebensraums „Gründach“ durch Insekten und Vögel fasst Krupka (1992) den Stand der Forschung zusammen. Als ein Ergebnis wird der Wert (intensiv) begrünter Dachflächen als Habitat für Brutvogelarten sowie als Rast- und Ruheplatz vieler Vogelarten (auch Großvögel) in Abhängigkeit von der Ungestörtheit der Lage, der Flächengröße und einer abwechslungsreichen Vegetation festgestellt. Die Problem-Kriterien für das „Biotop Dach“ werden in sechs Punkten beschrieben [vgl. 239]:

- Inselbiotop (geringe Zuwanderungsmöglichkeit wegen isolierter Lage zu Umland bzw. Höhe der Bauwerke)
- Gefährdende Lebensbedingungen (Temperaturextreme, Trockenheit, Wind)
- Temporärer Lebensraum (zu wenig Rückzugsflächen, unzureichende Boden-, Wasser- und Nährstoff-



Tab. 9: Quantitative Messwerte zur Flora und Fauna von Dachbegrünungen (Nicole Pfoser 2013, nach: Peter Zimmermann 1987 [238])

- Deckungsgrad Flora (%)
- Artendiversität Flora (Arten)
- Artendiversität Fauna (Arten)
- Individuendichte Fauna (Anzahl/m²)



- Verhältnisse)
- Neubau-Situation (die Reifezeit des Lebensraums wird mit mind. 5 - 10 Jahren angegeben (z. B. Kiesdächer: Spontangebegrünung, Sedum- und Gräsergesellschaften)
 - Flächengröße (Unterschreitung der Mindestareal-Größe für eine Population)
 - Situation Stadt (Staub- und Abgas-Zunahme in Richtung Stadtzentrum, Schall, Ablufteinrichtungen, zu rascher Niederschlagsabfluss)

Je nach Begrünungsform (Erfüllung möglichst vollständiger Lebensraumansprüche) können unterschiedliche Tiergruppen und Artenzahlen auftreten: flache Extensiv-Begrünungen zeigen vorwiegend flugfähige Blütenbesucher, vereinzelt auch Käfer, Ameisen, Wanzen und Zikaden, sowie Larven von Dipteren (Zweiflügler) und Marienkäfern. Aufgrund der auf die dünne Substratschicht einwirkenden Temperaturextreme des Jahresverlaufs wird den meisten Bodenlebewesen eine dauerhafte Besiedlung verwehrt (jährlich erneuter Populationsaufbau). Zumindest können durch geeignete Pflanzenwahl über das Jahr verteilte Nahrungsquellen für Fluginsekten wie Wildbienen, Schmetterlinge, Schwebfliegen usw. angeboten werden - auch Extensivbegrünungen können so ganzzzeitige Bienen- und Schmetterlingsweiden darstellen. Ein Drei-Dächer-Vergleich ergab eine Käfer-Population (fünf Familien) für die beiden Extensivbegrünungen von 78 und 183 Tieren, für die Intensivbegrünung von 358 Tieren. Wildbienen waren zunächst auf allen Dächern zu beobachten, dabei ergab die Untersuchung der Extensivbegrünung 10 bzw. 13 Arten, die der Intensivbegrünung 18 Arten. Zusammenfassend wird

festgestellt, dass erst mit einer Substrathöhe ab 15 cm trockenheits- und frostempfindliche Tierarten überleben, und sich Nährstoffkreisläufe und Nahrungsbeziehungen bilden können. [239]

Mit den Untersuchungen von Bartfelder und Köhler (1987), Althaus (1991) und Köhler (1993) rücken zusätzlich die Formen der bodengebundenen Fassadenbegrünung als Ersatzlebensraum und Nahrungslieferant der Fauna in den Blickpunkt (zu den neueren wandgebundenen Formen der Fassadenbegrünung liegen nach gegenwärtiger Kenntnis bisher keine faunistischen Untersuchungen vor). Erforscht wurden Wandbegrünungen mit Kletterpflanzen (Wilder Wein- und Efeu-Sorten) in Altbeständen und jüngeren Anlagen. Die Forschungsergebnisse wurden artenanteilig quantitativ erfasst.

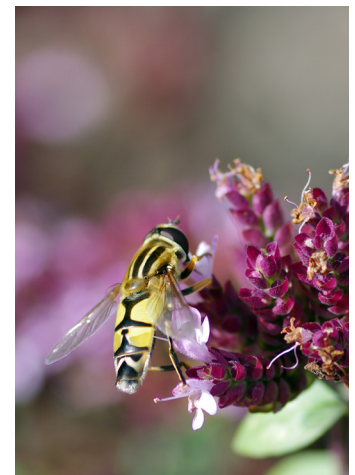
Das innerstädtische Brutstättenangebot (Berlin) der Fassadenbegrünung für Vögel wurde für Haussperlinge, Grünfinken und Amseln nachgewiesen - der Bruterfolg ist je nach Lage allerdings durch die Erreichbarkeit für Katzen und Marder begrenzt. Besonders Busch- und teilweise Baumbrüter bieten Fassadenbegrünungen mögliche Lebensräume - dabei können Insekten, die in Kletterpflanzen leben, eine Nahrungsquelle für die diesbezüglich in Städten benachteiligten Vogelarten sein - dies gilt auch für das vermehrte Aufkommen von Fledermäusen (Rote Liste) im Bereich von Fassadenbegrünungen [34]. Hinsichtlich der Insekten- und Spinnfauna unterschreitet die Anzahl der Individuen in Fassadenbegrünungen den Wert in anderen Gehölzen [33].

Abb. 166: Schmetterlingsweide, Intensive Dachbegrünung (Foto: Nicole Pfoser 2013)

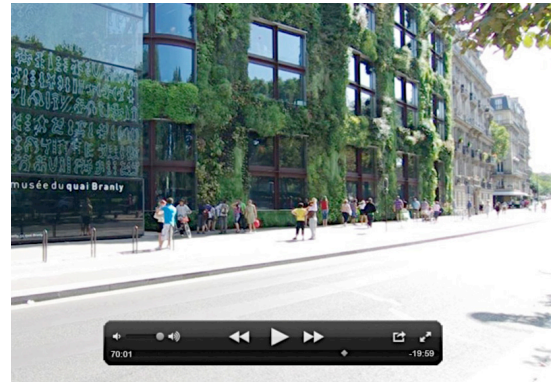
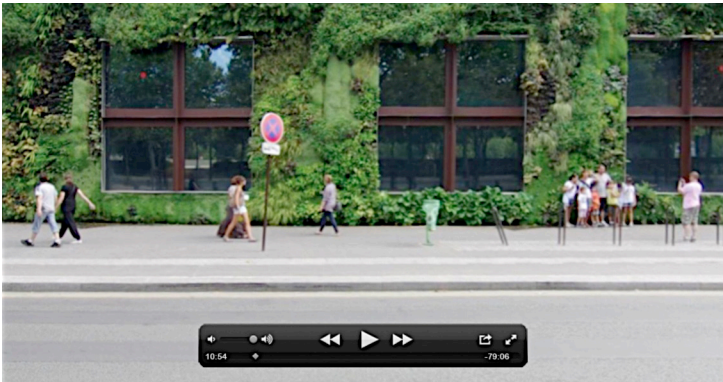
Abb. 167: Grauschnäpper. Fassadenbegrünung als Bruthabitat (Foto: © Reinhard-Tierfoto, Hans Reinhard)



Abb. 168: Insektenweide, Intensive Dachbegrünung (Foto: Nicole Pfoser 2013)



Gebäudebegrünung - Wirkung auf das Umfeld



5.5 Akzeptanz von Gebäudebegrünung

Abb.: links - 21.08.2011, Filmausschnitt Passantenverhalten am Musée du Quai Branly, Paris, Minute 10:54 (Nicole Pfoser 09/2011)

Abb.: rechts - dito, Minute 70:01 (Nicole Pfoser 09/2011)

Zur Beurteilung der Akzeptanz von Fassadenbegrünung wurde von Schlösser (2003) der Frage nachgegangen, welche Einstellungen diesbezüglich in der Bevölkerung vorherrschen, und inwieweit dieses Mittel der Stadtgestaltung von den Bürgern akzeptiert wird. Hierzu wurden in 24 Stadtteilen von Köln zeitgleich schriftliche Befragungen durchgeführt. Im Ergebnis standen 84 % der Bewohner von begrünten Häusern und 68 % der Bewohner von unbegrünten Häusern dem Fassadengrün positiv gegenüber. [73]

In einer eigenen Akzeptanzstudie (August 2011) an der 2009 von Patrick Blanc in Paris realisierten wandgebundenen Nordfassaden-Begrünung des Musée du Quai Branly (Architekt Jean Nouvel) am linken Seine-Ufer wurden die Straßenpassanten über den Zeitraum von 90 Minuten gefilmt, um eine Beeinflussung ihres Verhaltens durch die

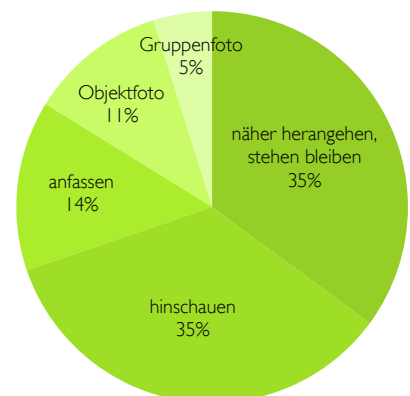
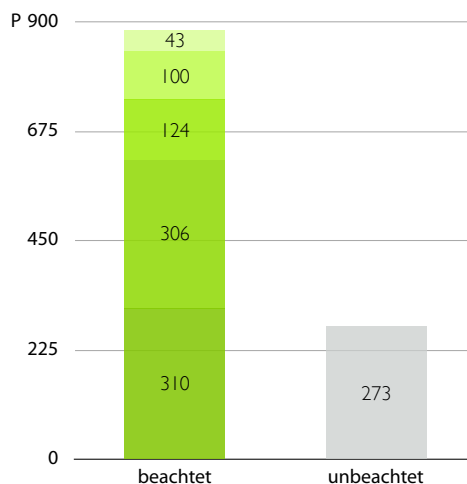
bis zum Boden reichende Vertikalbegrünung zu untersuchen und festzuhalten. In diesem Zeitraum (Sonntag, früher Nachmittag) passierten 1156 Menschen die Gehsteigzone mit der direkt angrenzenden Fassadenbegrünung. [182]

Von diesen Passanten gingen 23,6 % (273 Personen) ohne Beachtung der Fassade vorbei. 76,4 % der Passanten (883 Personen) reagierten auf die begrünte Fassade. Dies reichte von einer interessierten Betrachtung im Vorbeigehen (310 Personen) bis zum Stehenbleiben und unterschiedlichen Aktionen mit der Grünfassade (573 Personen). In dieser deutlich größeren Gruppe untersuchten die Menschen teilweise die Pflanzen durch Befühlen, führten spontane Gespräche unter fassadenbezogener Gestik, suchten Nähe zu den Pflanzen (Kinder) und posierten für Einzel- oder Gruppenfotos mit der begrünten Fassade im Hintergrund. [182]

Tab.: Fassadengebundene begrünte Nordfassade des Musée du Quai Branly in Paris
Auswertung: 90 Minuten Analyse des Passantenverhaltens
© Nicole Pfoser, 09/2011
[60; 63; 182]

Datum: 21. August 2011
Wochentag: Sonntag
Uhrzeit: 15:00 h - 16.30 h

Wetter: sonnig
Temperatur: 35,6 °C
Σ Passanten (P): 1156



5.6 Fazit: Gebäudebegrünung - Potenzial für das Umfeld

Über den energetischen Nutzen für das Gebäude hinaus bietet die Gebäudebegrünung weitere Potenziale für Klima, Umwelt und Aufenthaltsqualität im gebäudenahen und städtischen Umfeld.

Die Vervielfachung der Regenwasserverdunstung unter Wärmeabbau ist ein wichtiges Thema für das lokale Klima. Ebenso die Fähigkeit der Feinstaubbindung und der Photosynthese (CO₂-Aufnahme/Sauerstoff-Abgabe). Diese Themen sind in Kapitel 4.7, S. 136-137 und in Kapitel 4.2.5, S. 116- 117 behandelt. Zur Vertiefung sei auf die Studie von Manfred Thönnessen (2002) [83] verwiesen.

Die Förderung der Biodiversität bietet das Potenzial, eine Artenvielfalt von Insekten und Vögeln im dicht bebauten städtischen Raum aufrecht zu erhalten bzw. wieder zu ermöglichen.

Der Rückhalt von Oberflächenwasser dient der Regenwasserbewirtschaftung und damit dem städtischen Wassermanagement.

Hinsichtlich des Straßenlärms wirkt Gebäudebegrünung über Schallreflexion und -Absorption lärm mindernd und trägt somit zum Wohlbefinden im städtischen Umfeld bei.

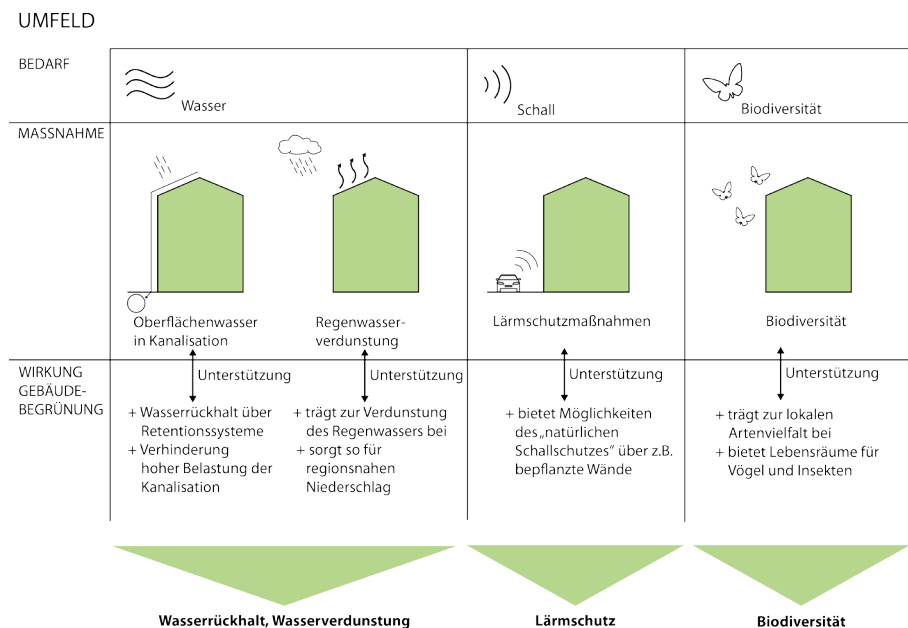


Abb. 169: Darstellung der Synergien im Gebäudeumfeld in Bezug auf den Umgang mit Oberflächenwasser, der Regenwasserverdunstung, Lärmschutzmaßnahmen und der Biodiversität in der Kombination mit Gebäudebegrünung (TU Darmstadt, FGee/FGe+f)

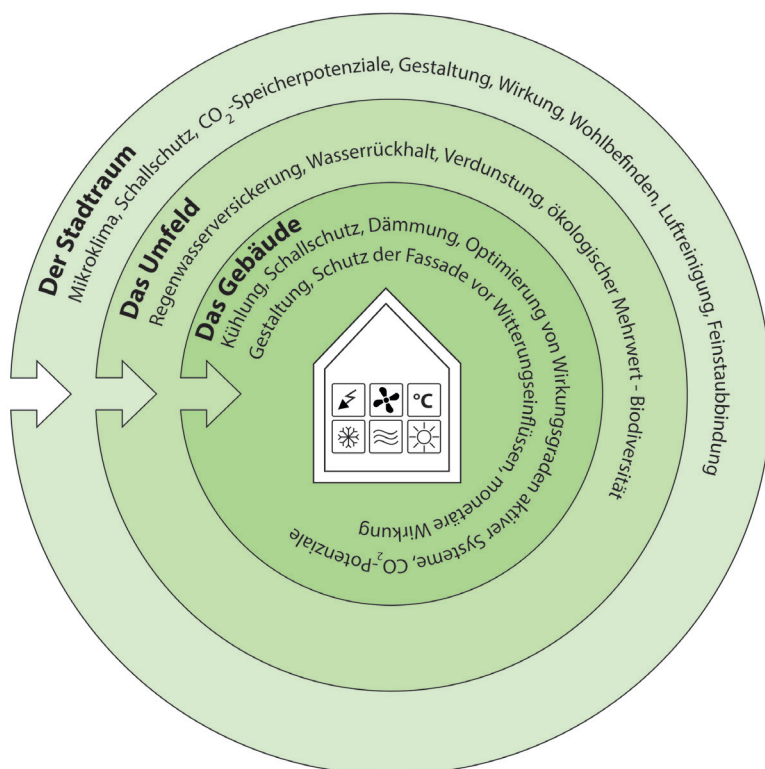
06

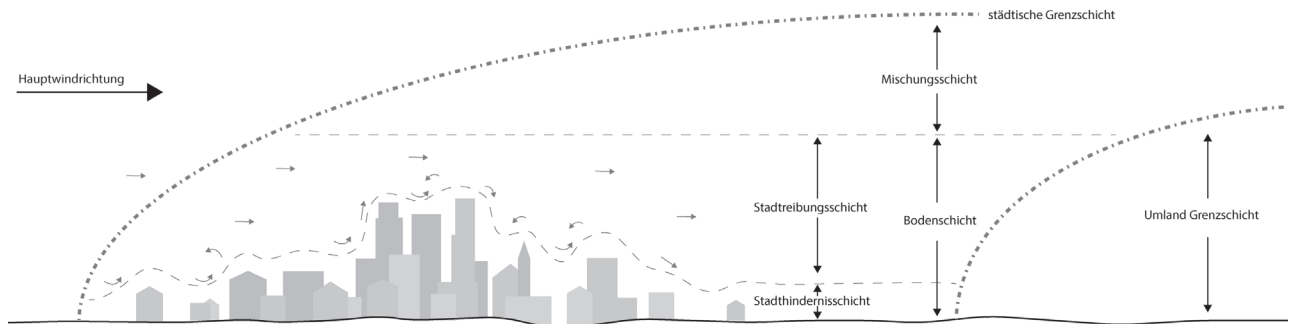
**Gebäudebegrünung
- Wirkung im Stadtraum**

6. Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum

Ausgehend von den Betrachtungen des Einzelgebäudes bezüglich der Potenziale, Synergien und Konkurrenzen von Gebäudebegrünung und Energiegewinnungssystemen wird nun der Fokus auf die stadträumlichen, bzw. stadtklimatischen Effekte der Gebäudebegrünung gelegt. Ziel dieser Betrachtung ist es zum einen, Planungshinweise und Denkanstöße auch auf größerer Maßstabsebene zu bieten, zum anderen, die gesamtheitlichen Auswirkungen der Gebäudebegrünung auf das Stadtklima ins Bewusstsein der Planer zu rücken.

Neben der allgemeinen Information zu den Themenbereichen Stadtklima und der Wärmeinselproblematik werden in diesem Kapitel analytische Daten zu Stadträumen geliefert, aus denen sich nachfolgend Planungshinweise ableiten lassen. Über exemplarische Simulationsbeispiele werden quantitative Aussagen über die Effektivität von Gebäudebegrünung in Bezug auf die städtische Wärmeinsel Problematik gegeben.





6.1 Grundzüge des Stadtklimas

Als Stadtklima werden die klimatischen und lufthygienischen Veränderungen der bodennahen Stadtatmosphäre im Vergleich zu ihrem nicht bebauten Umland bezeichnet. Das Stadtklima entsteht durch die vielfältigen Wechselwirkungen des Mikroklimas mit der Bebauung, durch anthropogen (vom Menschen) produzierte Abwärme sowie den erhöhten Ausstoß von Spurenstoffen [121]. Im Rahmen möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Städte spielt vor allem die Betrachtung der thermischen Komponente des Stadtklimas

eine wichtige Rolle. Darunter wird die gesamte Energetik der Stadtatmosphäre verstanden, z.B. Strahlung und deren Wechselwirkung mit den städtischen Oberflächen, der fühlbare sowie der Verdunstungswärmestrom, Gebäudewärme und durch menschliche Aktivitäten erzeugte Wärme (anthropogene Wärme) [124]. Im Folgenden werden zunächst wesentliche thermische und physikalische Grundlagen des Stadtklimas erläutert, bevor auf das Potenzial von Begrünung in Städten eingegangen wird.

Abb. 170: Vertikaler Aufbau der Stadtatmosphäre (TU Darmstadt, FGee/FGee+f, nach Kuttler 2009)

6.6.1 Stadtatmosphäre

Die Stadtatmosphäre ist hinsichtlich ihres vertikalen Aufbaus sowie der resultierenden Windverhältnisse von der bodennahen Atmosphäre des Umlandes zu unterscheiden (Abb. 170). Im bodennahen Bereich der Stadtatmosphäre, der Stadthindernisschicht, die vom Boden bis ungefähr zum mittleren Dachniveau reicht, sowie in der darüber angrenzenden Stadtreibungsschicht ist der Einfluss der einzelnen Gebäude und ihrer Anordnung auf das Windfeld dominierend [147]. Oberhalb der Stadtreibungsschicht passt sich das Windfeld innerhalb der Mischungsschicht an die Verhältnisse des nicht bebauten Umlandes an.

Die erhöhte Rauigkeit durch Gebäude innerhalb der Stadthindernisschicht sorgt im Allgemeinen für reduzierte Windgeschwindigkeiten. Soriano et al. konnten in verschiedenen europäischen Städten Reduktionen der Windgeschwindigkeit zwischen 20 % bis 50 % im Vergleich zum Umland nachweisen [140]. Innerhalb von Straßenschluchten kann die Windgeschwindigkeitsvermin-

derung bei bis zu 70 % liegen [148]. In Abhängigkeit der Anströmungsrichtung der Straßenschlucht stellen sich besondere Strömungsmuster ein (Abb.171). Bei Queranströmung tritt beispielsweise die sogenannte Rotorzirkulation auf, die signifikante räumliche Unterschiede in der Spurenstoffverteilung innerhalb der Straßenschlucht herbeiführen kann [150]. Da die erniedrigte Windgeschwindigkeit bei der Emission von Spurenstoffen in Innenstädten häufig nicht mehr für ausreichende Durchmischung und Verdünnung sorgt, ist aus planerischer Sicht eine weitere Verdichtung zu unterbinden. Das gilt insbesondere auch bei der Begrünung von Straßenzügen, bei der durch sinnvolle Wahl und Anordnung der Bepflanzung ausreichende Durchlüftung gewährleistet sein sollte [94].

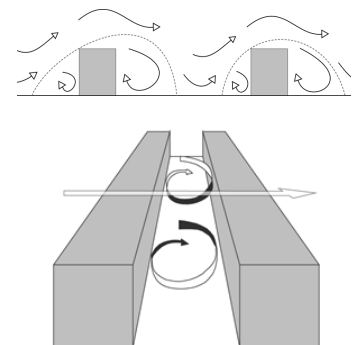


Abb. 171: Ausbildung einer Rotorzirkulation bei Queranströmung einer Straßenschlucht (TU Darmstadt, FGee/FGee+f, nach Oke 1987; Erell et al. 2011).

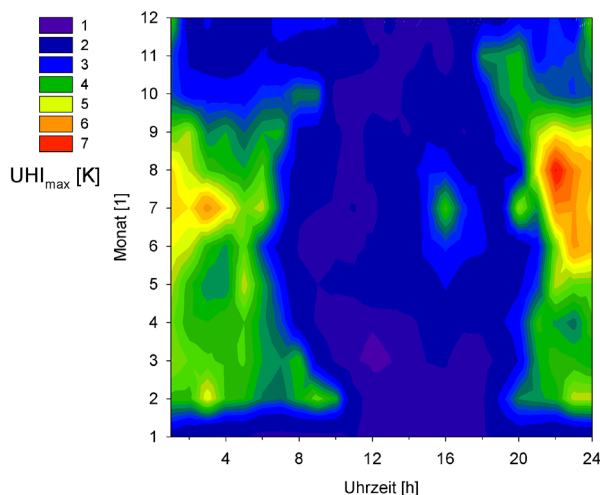
6.1.1 Die städtische Wärmeinsel

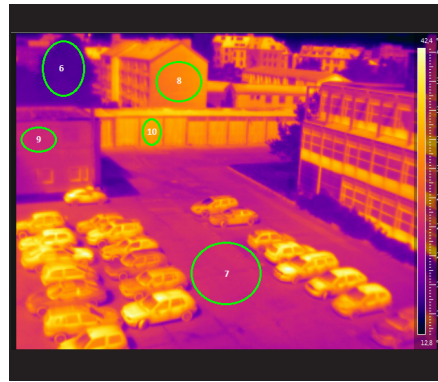
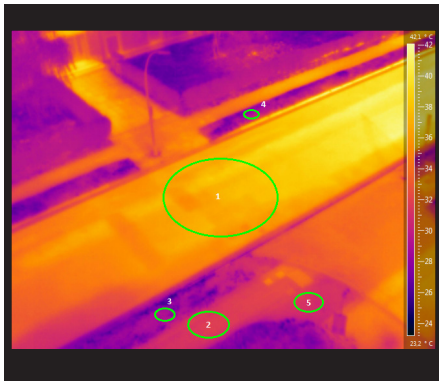
Die urbane Wärmeinsel (engl. urban heat island, UHI) ist in verschiedenen Klimazonen, Städten mit differierender Bauweise und Geometrie sowie im Zusammenhang mit unterschiedlichsten Baumaterialien untersucht worden [147]. Generell ist zwischen der Oberflächenwärmeinsel (höhere Erwärmung der städtischen Oberflächen) sowie der Wärmeinsel der bodennahen Luftschicht innerhalb der Stadthindernisschicht zu unterscheiden. Letztere steht bei Untersuchungen zur städtischen Überwärmung im Vordergrund.

Die Wärmeinsel bzw. die Wärminselintensität wird normalerweise durch den Vergleich einer städtischen Klimastation mit einer Vergleichsstation im nicht bebauten Umland erhoben. Die UHI erfährt ihre stärkste Ausprägung, also ihren maximalen Stadt/Umland-Temperaturunterschied, in der Regel unter sommerlichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Einstrahlung und niedriger Windgeschwindigkeit. Die städtische Wärmeinsel ist insbesondere ein nächtliches Phänomen [131]. Mit dem Einsetzen der nächtlichen Ausstrahlungsperi-

ode gehen die Temperaturen im Umland rasch zurück, während sich die Stadt aufgrund der thermischen Eigenschaften der Baumaterialien durch einen gewissen Temperaturhalteeffekt auszeichnet [113]. Die Temperaturen im Umland sinken demnach stärker als in der Stadt und liegen während des gesamten Nachtverlaufes unter den Lufttemperaturen im Stadtbereich. Die Intensität der UHI, also die Größe des Temperaturunterschiedes zwischen Stadt und Umland (ΔT_{u-r}), ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Neben den thermischen Eigenschaften der eingesetzten Baumaterialien besitzt vor allem die Straßenschluchtgeometrie, ausgedrückt durch das Verhältnis von Bebauungshöhe zu Straßenbreite, einen Einfluss auf die Ausprägung der Wärminselintensität [130]. Das Verhältnis von Höhe zu Breite der Straßenschlucht bestimmt den Himmelsichtfaktor (engl. Sky-view-factor) der im Tagesverlauf nicht nur den Einfall kurzweiliger Sonnenstrahlung beeinflusst, sondern auch den nächtlichen Haushalt der langwelligen Wärmeabgabe aus der Baumasse steuert. Je geringer der Himmelsichtfaktor von Straßenschluchten ist, desto höher ist der Anteil der langwelligen Wärmeflüsse, der von den Hauswänden innerhalb der Straßenschlucht „eingefangen“ wird. Am Beispiel der Stadt Braunschweig wird der jahreszeitliche Verlauf der UHI als maximale Wärmeinselintensität UHI_{max} dargestellt (Abb. 172). Die UHI ist auch hier vor allem ein nächtliches Phänomen, welches besonders während der Sommermonate auftritt und am Beispiel Braunschweigs (250.000 Einwohner) maximale Temperaturunterschiede von über 7° C zwischen Stadt und Umland erreichen kann.

Abb. 172: Thermoisoplethendiagramm der maximalen Wärmeinselintensität zwischen einer städtischen und einer Umlandklimastation am Beispiel Braunschweigs für das Jahr 2012 (Datengrundlage: Stundenwerte, absolut, stündlich, Maxima). Maximale Wärmeinselintensitäten treten in den Nachtstunden während der Sommermonate auf. (TU Braunschweig)





Die räumliche Ausdehnung der UHI ist entsprechend der Bebauungsstruktur vielfältig. Meist zeigen sich die dicht bebauten Zentren der Innenstädte als maximale Wärmeinseln, neben denen aber noch weitere Bereiche mit hohen Lufttemperatur-Anomalien zum Umland, sogenannte Wärmedome, existieren können [113]. Die räumliche Ausdehnung der Wärmeinsel kann durch lokale Gegebenheiten, wie z. B. einen erhöhten Vegetationsanteil, in die Stadt

einfallende Grünzüge oder durch Kaltluftschneisen modifiziert werden [149]. Aus der Sicht klimatischer Stadtplanung sind solche Kaltluftentstehungsgebiete wünschenswert und im Planungsprozess von besonderem Interesse, da sie ein geeignetes Mittel darstellen die städtische bzw. nächtliche Überwärmung der Stadtzentren zu verringern und somit für eine Verbesserung des menschlichen Wohlbefindens zu sorgen.

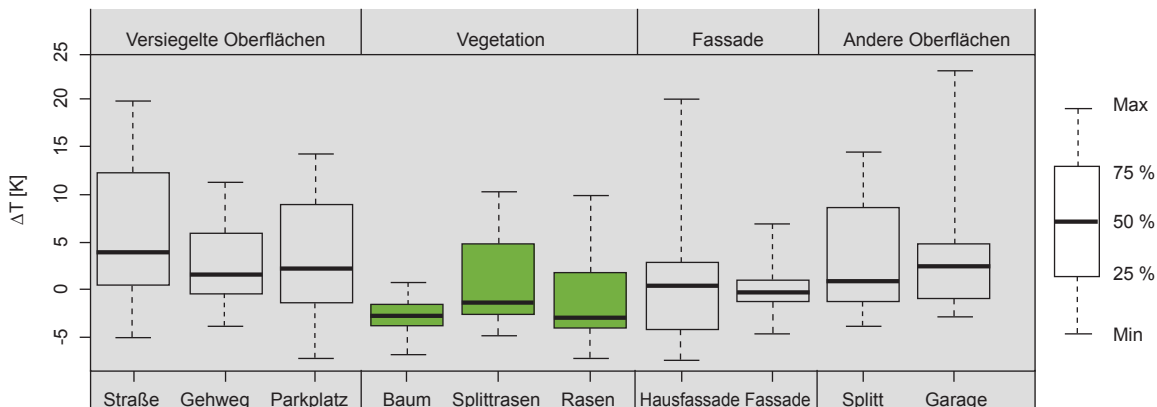
Abb. 173: Messung der Oberflächenstrahlungstemperaturen eines typischen städtischen Bereiches (links, Mitte) sowie die Darstellung der untersuchten Oberflächentypen (rechts). Die Messungen mit Infrarotthermographie wurden in der Zeit vom 22. bis 24. Mai 2012 bzw. vom 22. bis 23. Juni 2012 in Braunschweig aufgenommen (Grunwald 2012).

6.1.2 Materialeinfluss auf das Stadtklima

Der überwiegende Teil städtischer Bau- bzw. Oberflächenmaterialien ist von thermisch-physikalischen Eigenschaften gekennzeichnet, die sich maßgeblich von natürlichen Materialien - z.B. Böden, Vegetations- oder Wasserflächen - unterscheiden. Die thermischen Eigenschaften der Materialien bestimmen deren Wärmehalt, sowie das zeitliche Temperaturverhalten, d.h. sie bestimmen den zeitlichen Verlauf von Erwärmung und Abkühlung. Eine Zusammenstellung der wichtigsten thermischen Eigenschaften und ihrer Auswirkungen auf das Stadtklima zeigt Abb.175, S.169 [aus 121]. Die

thermischen Eigenschaften haben maßgeblichen Anteil an der Entstehung der Wärmeinsel der Stadthindernisschicht sowie der Oberflächenwärmeinsel. Abb. 173 und 174 verdeutlichen das Erwärmungsverhalten verschiedener Materialien eines typischen Stadtausschnittes während eines Sommertages anhand von Unterschieden in den Oberflächenstrahlungstemperaturen. Im Mittel zeigen sich die versiegelten Oberflächenstemperaturen als bis zu 5 °C wärmer im Vergleich zur zeitgleich gemessenen Lufttemperatur, während im Maximum Unterschiede von rund 25 °C erreicht

Abb. 174: Abweichung der Oberflächenstrahlungstemperaturen zur Lufttemperatur: Statistische Auswertung (Mittelwert, Perzentile, Minimum und Maximum) der infrarotthermographischen Messungen der Oberflächenstrahlungstemperatur in Braunschweig im Zeitraum (vgl. Abb. 173). Für jeden Oberflächentypen sind rund 4350 Datenpunkte in die statistische Auswertung eingegangen (Grunwald 2012).



Tab. 10: Übersicht der Albedowerte verschiedener Materialien und Werkstoffe (TU Braunschweig, nach Marek (2007) und Züricher und Frank (2004))

Oberfläche	Beschaffenheit	Albedo
Aluminium	poliert	0,91
	verwittert	0,46
Kupfer	poliert	0,82
	angelaufen	0,35
Edelstahl	poliert	0,63
	matt	0,50
Eisen	poliert	0,55
	verschmutzt	0,08
Beton	glatt	0,45
	bewittert	0,35
Marmor	weiß	0,55
Kalksandstein	grau	0,40
Ziegel	rot	0,37
Schiefer		0,10
Putz	weiß	0,79
	hellbeige	0,37
	ocker-gelb	0,42
	grau, blau	0,35
Lack	schwarz	0,03
	weiß	0,86
Anstrichfarbe	sehr hell (weiß)	0,75
	hell (weiß-beige)	0,65
	mittel (gelb,rosa)	0,45
	dunkel (rot,braun, blau)	0,25
Asphalt		0,10
Dachpappe		0,18
Dachziegel	dunkelbraun	0,24
Gummi		0,35
Fliesen	grau	0,54
	weiß	0,82
Schnee		0,72
	frisch	0,87
Wasser		0,02

werden können (Abb. 174). Die höchsten Oberflächentemperaturen wurden in dieser Studie vom Straßenbelag mit 51,7 °C erreicht. Die vegetationsbestandenen Oberflächentypen, z.B. Baum und Rasen, sind durch erniedrigte Temperaturen im Vergleich zur Lufttemperatur charakterisiert. Die Unterschiede resultieren u.a. aus Wechselwirkungen zwischen der Sonnenstrahlung und den städtischen Oberflächen, der Energiebilanz der Oberflächen sowie aus dem Einfluss der Transpirationskühlung (vgl. unten). Eine wichtige Steuergröße für die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Oberfläche stellt die Albedo dar, eine Maßzahl, die das Verhältnis aus reflektierter und eingehender kurzweiliger Sonnenstrahlung kennzeichnet. Die Albedo wird maßgeblich durch die Farbe der Oberflächen gesteuert. Da die Menge der nicht reflektierten Sonnenstrahlung zur Absorption bzw. Erwärmung der Flächen und Materialien zur Verfügung steht, beeinflusst die Albedo in Verbindung mit den thermischen Eigenschaften der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität (vgl. Abb. 175) maßgeblich die Intensität der Erwärmung unterschiedlicher Materialien. Eine Übersicht typischer Albedowerte städtischer Oberflächen zeigt Tab. 10. Mit dem intelligenten Einsatz von Werkstoffen günstiger thermischer Eigenschaften ließen sich positive Auswirkungen auf das städtische Mikroklima erzielen. Positiv wirkt sich insbesondere eine Begrünung der Fassade, des Daches oder des Stadtraums aus [vgl. 143]. Ein Teil der Strahlung wird durch die Fassadenbegrünung abgeschirmt und steht somit nicht mehr zur Erwärmung der Gebäudehülle zur Verfügung. Zusätzlich sorgt Transpirationskühlung für eine Verminderung der oberflächennahen Lufttemperatur.

Eigenschaften von Materialien und Oberflächen, die das Erwärmungs- und Abkühlungsverhalten steuern

Farbe/Albedo

- Die Albedo ist das Verhältnis aus reflektierter zu einfallender Strahlung, angegeben in Werten zwischen 0 und 1.
Je heller eine Oberfläche, desto höher die Albedo, z.B.:
 - frischer Schnee: 0,8 (d.h. 80 % der einfallenden Strahlung wird reflektiert)
 - Sandboden: 0,15 -0,4
 - Asphalt: 0,15
- Die reflektierte Strahlung trägt nicht zur Erwärmung der Oberfläche bei. Helle Oberflächen bleiben also in der Regel kühler.

Spezifische Wärmekapazität

- Gibt an, wie viel Energie nötig ist, um eine definierte Masse (in kg) um einen bestimmten Betrag (in Kelvin) zu erwärmen.
- Materialien mit einer hohen Wärmekapazität erwärmen sich beim selben Strahlungsangebot langsamer als solche, mit einem niedrigeren Wert.
- Einheit: J/(kg K)
- Beispiele:

• Luft	1010 J/(kg K)
• Wasser	4196 J/(kg K)
• Beton	2500 J/(kg K)
• trockener Lehmboden	890 J/(kg K)
• nasser Lehmboden	1550 J/(kg K)

Wärmekapazitätsdichte

- gibt an, wie viel Energie nötig ist, um ein definiertes Volumen (in m³) um einen bestimmten Betrag (in Kelvin) zu erwärmen.
- ist stark von der Dichte eines Stoffes abhängig, z.B. hat Luft (unter atmosphärischen Bedingungen) eine sehr geringe Dichte und damit auch eine sehr geringe Wärmekapazitätsdichte.
- Einheit: J/(m³ K)
- Beispiele:

• Luft	1300 J/(m ³ K)
• Wasser	4,2 *10 ⁶ J/(m ³ K)
• Beton	2,2 *10 ⁶ J/(m ³ K)

Wärmeleitfähigkeit

- beschreibt die Geschwindigkeit des Wärmetransportes zwischen den Atomen bzw. Molekülen eines Stoffes.
- beeinflusst am Tag den Transport von Energie von der Erdoberfläche (die von der Sonne bestrahlt wird) in den Untergrund, in der Nacht fördert eine hohe Wärmeleitfähigkeit die Abkühlung des Bodens.
- Einheit: W/(mK)
- Beispiele:

• Unbewegte Luft	0,025 W/(mK)
• Beton	4,6 W/(mK)
• trockener Lehmboden	0,25 W/(m K)
• nasser Lehmboden	1,58 W/(mK)

Wassergehalt

- Bei natürlichen Böden variiert der Wassergehalt in Abhängigkeit verschiedener Faktoren (meteorologische und hydrologische Einflüsse, Beschaffenheit des Bodens, Bodenart). Da Wasser selbst eine sehr hohe Wärmekapazität aufweist, beeinflusst der Bodenwassergehalt die weiteren thermischen Eigenschaften den Bodens deutlich - und damit auch das Temperaturverhalten im Tages- und Jahresgang.
- Bei nassen bzw. feuchten Böden ist in der Regel die Wärmeleitfähigkeit höher als bei trockenen, allerdings steigt die Wärmekapazität an und es wird mehr Energie benötigt, um den Untergrund zu erwärmen. Im Umkehrschluss kühlen Böden mit einem hohen Wassergehalt in der Nacht weniger schnell aus.

(nach Kordowski und Weber, 2011; Zahlenangaben nach Hupfer und Kuttler, 2006)

Abb. 175: Zusammenstellung thermischer Eigenschaften von Materialien und Oberflächen (TU Braunschweig, nach Kordowski & Weber 2011)

6.1.3 Transpirationskühlung

Die Verminderung der lokalen Luft- bzw. Oberflächentemperatur im Bereich vegetationsbestandener Oberflächen ist vor allem auf den thermodynamischen Effekt der Transpirationskühlung zurückzuführen. Die Verdunstung von Wasser benötigt mit rund 2,45 MJ pro kg Wasser (bei 20 °C Lufttemperatur) eine beträchtliche Menge an Energie. Diese Energie wird der lokalen Luftmasse durch den Verdunstungsprozess entzogen und steht nachfolgend nicht zur weiteren Erwärmung der Luft zur Verfügung. Bei der energetischen Betrachtung des Stadtklimas spielt dieser Prozess insofern eine wichtige Rolle, da vegetationsbestandene und ausreichend wasserversorgte Oberflächen einen signifikanten Anteil der durch die Sonne eingestrahltten Energie in den sogenann-

ten Verdunstungswärmefluss (latenter Wärmefluss) umsetzen, so dass der Anteil zur direkten Erwärmung der Luft (sensibler Wärmefluss) vermindert wird. Im Rahmen einer Untersuchung in Basel konnten Christen & Vogt (2004) belegen, dass an einem Freilandstandort mit überwiegender Grünlandanteil rund 80 % der durch Sonneneinstrahlung zur Verfügung stehenden Energie an der Erdoberfläche in Verdunstung umgesetzt werden konnte, während an den drei Stadtstandorten mit Grünflächenanteil von 0 % bis 30 % weniger als 1/5 der Energie in Verdunstung umgesetzt wurde. Der weitaus größere Teil stand an diesen Standorten folglich als sensible Wärme zur direkten Erwärmung der bodennahen Luftschicht zur Verfügung.

6.1.4 Human-Biometeorologische Folgen des Klimawandels

Das Beschäftigungsfeld der Human-Biometeorologie versucht die verschiedenen Einflüsse des Klimas auf den menschlichen Organismus zu bewerten. Potenzielle Auswirkungen der städtischen Klimamodifikation auf den Menschen im städtischen Außenraum werden nicht allein über die Lufttemperatur sondern über die kombinatorische Wirkung unterschiedlicher Parameter gesteuert. Zu diesen gehören neben der Lufttemperatur die relative Luftfeuchtigkeit, die solare Einstrahlung (Strahlungstemperatur) und die Windgeschwindigkeit [vgl. 121].

Zur Bewertung der kombinatorischen Wirkung wurden in den vergangenen Jahren verschiedene bioklimatische Bewertungsindizes entwickelt, von denen der UTCI [92] die neueste Entwicklung darstellt. Der UTCI koppelt ein

thermoregulatorisches Modell, welches die Reaktion der Thermophysilogie des Menschen auf seine atmosphärische Umgebung abbildet, mit den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen in einem spezifischen Untersuchungsgebiet. Der UTCI wird in einer °C-Bewertungsskala ausgedrückt, die sich von sehr starkem Kältestress bei - 40 °C bis zu extremen Wärmestress bei mehr als 46 °C erstreckt [92].

Zur Verdeutlichung der human-biometeorologischen Belastungssituationen wurde im Folgenden der UTCI für eine fiktive Stadt unter norddeutschen Klimabedingungen berechnet. Dazu wurde der Testreferenzjahrsdatensatz des Deutschen Wetterdienstes für Norddeutschland (Hamburg) verwendet und auf eine Stadt mit einer Einwohnerzahl von 250.000 Einwohnern angepasst [100]. Bei den

Testreferenzjahren (TRY) handelt es sich um einheitliche, repräsentative Jahresdatensätze verschiedener meteorologischer Parameter, die in der Vergangenheit hauptsächlich in der thermischen Gebäudesimulation zum Einsatz kamen. Der aktuelle Datensatz erlaubt eine Anpassung an städtische Bedingungen, z.B. den Wärmeinseleffekt, bei denen die Ausgangsdaten durch eine implementierte Softwareroutine über empirische Funktionen angepasst werden. Die Testreferenzjahre stehen für ein heutiges Klima (Referenzbezugsjahr 2010) sowie ein zukünftiges Klima (Referenzbezugsjahr 2035) zur Verfügung. Dieses ist durch höhere Temperaturen und geringere sommerliche Niederschlagsmengen (- 20 bis -30 %) gekennzeichnet. Der Vergleich der Lufttemperaturdaten

(ΔT_l) zeigt zunächst die Zunahme der höheren Temperaturklassen während der Sommermonate für den Testreferenzjahrsdatensatz 2035 (s. Abb. 176 A). Für die Temperaturklasse > 25 °C kann eine Zunahme von 7 % für den Monat August festgestellt werden. Deutlicher treten die Unterschiede bei der Betrachtung der human-biometeorologischen Ausprägung zu Tage. Hier lässt sich sowohl die Abnahme der Situationen mit Kältebelastung während der Wintermonate, als auch die deutliche Zunahme der moderaten bis starken Wärmebelastungsperioden (> +26 °C) während der Sommermonate ablesen. Für den Monat August resultiert eine Zunahme von knapp 10 % der moderaten und starken Wärmebelastung.

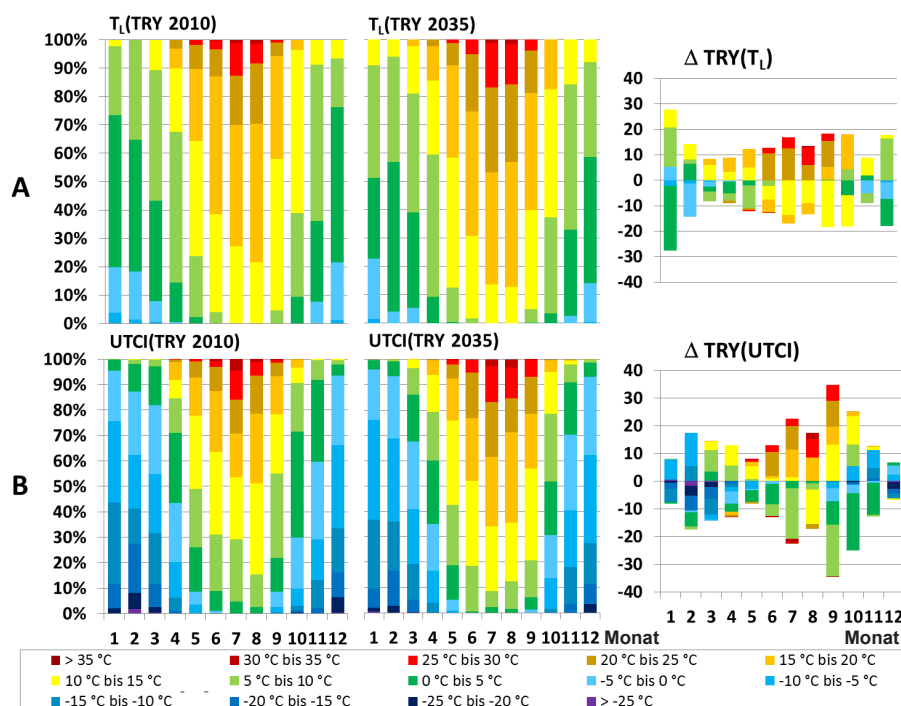


Abb. 176: (A) Monatliche Häufigkeitsverteilung von Lufttemperaturklassen der Testreferenzjahre 2010 (momentanes Klima) und 2035 (zukünftiges Klima). (B) Monatliche Häufigkeitsverteilung für die human-bioklimatische Größe UTCI für die Testreferenzjahre 2010 und 2035. Die Abbildungen am rechten Bildrand skizzieren die prozentualen Verschiebungen in den Häufigkeitsklassen von Lufttemperatur und UTCI zwischen den Bezugsjahren 2010 und 2035. Der UTCI wurde mit der Software Bioklima V2.6 berechnet (Błażejczyk, K., Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences)

6.1.5 Übersicht der Einflussfaktoren auf das Stadtklima

Himmelssichtfaktor (Sky view factor) ①

Als Himmelssichtfaktor bezeichnet man den Quotienten aus der aktuellen zur potenziellen freien Himmelssicht (Abb. 177). Die Himmelssicht stellt die Horizonteinschränkung dar und gibt damit Aufschluss über die Straßengeometrie (Verhältnis von mittlerer Gebäudehöhe zu Straßenbreite).

Anteil versiegelter/bebauter Flächen ②

Der Anteil versiegelter bzw. bebauter Flächen ist eine wichtige stadtklimatische Steuerungsgröße, da sie über den Grad der urban modifizierten Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberfläche bestimmt. Versiegelte Flächen sind wasserundurchlässig und daher mikroklimatisch relevant, da Wasser nicht gespeichert werden kann und Transpirationskühlung nur kurzfristig, beispielsweise nach Niederschlagsereignissen, stattfinden kann. Häufig wird der Abflussbeiwert, d.h. der Quotient aus Oberflächenabfluss zu Gesamtniederschlag, zur Beschreibung des versiegelten, wasserundurchlässigen Anteils der Stadtoberfläche herangezogen.

Albedo ③

Als Albedo (lat. Albus = weiß) wird der Quotient aus kurzweiliger reflektierter zu gesamter kurzweiliger Sonneneinstrahlung definiert. Die Albedo ist maßgeblich von der Farbe der Oberfläche abhängig, helle Oberflächen reflektieren einen höheren Anteil kurzweiliger Strahlung. Da der reflektierte Anteil der kurzweiligen Strahlung nicht zur Erwärmung der Oberfläche beiträgt, bleiben helle Oberflächen in der Regel kühler.

Wechselwirkung Strahlung/Bebauung ④

Neben der Albedo haben die thermischen Eigenschaften der städtischen Oberflächen und Materialien einen wichtigen Einfluss auf die städtische Strahlungs- und Energiebilanz. Sie bestimmen über Stärke und Geschwindigkeit der Erwärmung von Oberflächen im Tagesverlauf und steuern ebenso die Abkühlung während der Nacht.

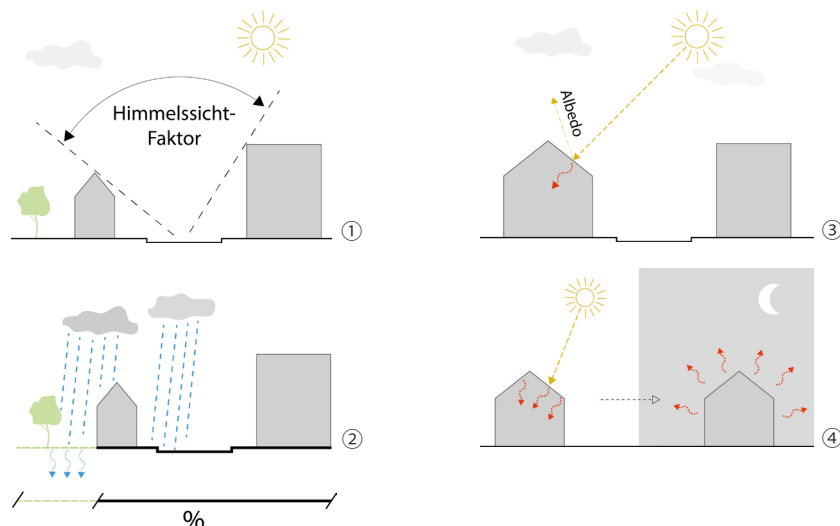


Abb. 177: Einflussfaktoren auf das Stadtklima - ① Himmelssichtfaktor, ② Anteil versiegelter/bebauter Flächen, ③ Albedo, ④ Wechselwirkung Strahlung/Bebauung. (TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach Kuttler 2009)

6.2 Klimatische Klassifizierung von Stadtraumtypen

Die bisherige Analyse lässt erkennen, dass die Potenziale von Gebäudebegrünung vor allem in verdichteten Stadtgebieten gegeben scheinen. Das ergibt sich aus dem Mangel an Grünflächen und unversiegelten Flächen, der aufgrund der hohen baulichen Dichte teilweise über Gebäudebegrünung kompensiert werden könnte. Die Kühlung durch Transpiration der Pflanzen, die natürliche Verschattung und die geringere Wärmespeicherkapazität erscheinen zunächst als die größten Potenziale zur Verminderung der städtischen Überwärmung. Lüftungsfähigkeit bieten Fassadenbegrünungen ebenfalls ein Minderungspotenzial, beispielsweise bei der Feinstaubbindung. Diese Effekte werden jedoch nicht zentrales Thema der nachfolgenden Untersuchungen sein.

Im Folgenden sind in Anlehnung an Stewart und Oke (2012) typische Muster von Stadtstrukturen bzw. Stadtraumtypen zusammengefasst (Abb. 179). Ursprünglich für eine bessere Beschreibung der Umgebungsbedingungen bei Untersuchungen zum Phänomen der urbanen Wärmeinsel entwickelt, werden strukturelle Klassifikationen von Stadträumen mittlerweile bei verschiedenen Fragestellungen in stadtklimatischen Untersuchungen sowie in planerischen Anwendungen herangezogen. Die Stadtraumtypen werden dabei anhand wesentlicher Stadtklimaeigenschaften charakterisiert und voneinander abgegrenzt. Es zeigt sich beispielsweise, dass der Innentyp mit einem hohen Anteil von Hochhäusern ein besonders hohes Wärmeinselrisiko besitzt, während aufgelockerte Wohnbebauung mit einem höheren Grünflächenanteil ein deutlich geringeres Überwärmungsrisiko zeigt. [186]

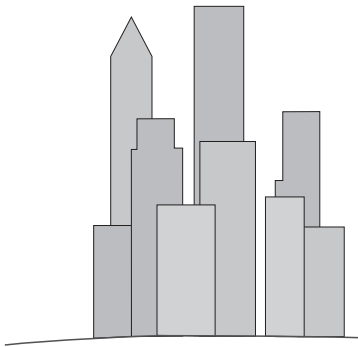
Abb. 178: Exemplarische Beispiele von Stadträumen in Braunschweig mit unterschiedlichen Auswirkungen auf das lokale Mikroklima (Foto: Jannik Heusinger)



Klimaspezifische Klassifizierung von Stadträumen

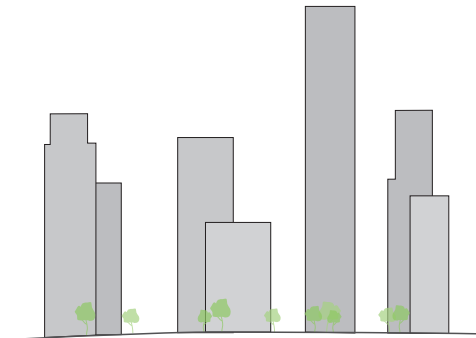
hohe Bebauung ($\varnothing > 25\text{m}$)

verdichtete Hochhäuser



Das Gebiet ist geprägt durch sehr dichte, hohe Bebauung, einen sehr hohen Versiegelungsgrad, kaum Grünflächen, sehr viel Verkehr und eine geringe Himmelssicht

aufgelockerte Hochhäuser



Das Gebiet ist geprägt durch lockere, hohe Bebauung, mit Grünflächen zwischen den Gebäuden. Der Anteil versiegelter Flächen ist relativ hoch und die Himmelssicht eingeschränkt.

mittlere Bebauung

verdichtete mittlere Bebauung



Das Gebiet ist geprägt durch Bebauung mit einer mittleren Höhe zwischen 10 bis 25 m, einem hohen Versiegelungsgrad und wenigen Grünflächen. Die Himmelssicht ist deutlich eingeschränkt.

Wärmeinsel Risiko

hoch

niedrig - mittel

mittel

Himmelssichtfaktor (SVF)

0,2- 0,4

0,5- 0,7

0,3- 0,6

Anteil bebauter Flächen

40 - 60 %

20 - 40 %

40 - 70 %

Anteil versiegelter Flächen (inklusive bebauter Flächen)

> 90 %

60 - 70 %

> 80 %

Oberflächen-Albedo

10 - 20 %

12 - 25 %

10 - 20 %

Wärmeeindringkoeffizient

1.500 - 1.800 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

1.400 - 1.800 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

1.500 - 2.200 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

Anthropogene Wärmestromdichte

sehr hoch (50 - 300 W/m²)

mittel (< 50 W/m²)

hoch (< 75 W/m²)

(Ø 10 - 25m)

aufgelockerte mittlere Bebauung



Das Gebiet ist geprägt durch lockere Bebauung mittlerer Höhe. Der Versiegelungsgrad ist relativ hoch, ebenso wie die Verkehrsbelastung. Grünflächen sind teilweise vorhanden, die Himmelsicht ist eingeschränkt.

niedrige Bebauung (Ø 3 - 10m)

verdichtete niedrige Bebauung



Das Gebiet ist geprägt durch niedrige Bebauung, meist enge Straßen und Gassen, einem hohen Versiegelungsanteil und wenigen Grünflächen. Die Himmelsicht ist deutlich eingeschränkt, die Verkehrsbelastung etwa mittel.

aufgelockerte niedrige Bebauung



Das Gebiet ist geprägt durch lockere, niedrige Bebauung, meist Einfamilienhäuser mit Garten. Der Versiegelungsgrad ist eher gering, ebenso wie die Verkehrsbelastung. Die Himmelsicht ist wenig eingeschränkt.

niedrig - mittel

mittel

niedrig

0,5- 0,8

0,2- 0,6

0,6- 0,9

20 - 40 %

40 - 70 %

20 - 40 %

60 - 80 %

> 70 %

40 - 70 %

12 - 25 %

10 - 20 %

12 - 25 %

1.400 - 2.000 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

1.200 - 1.800 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

1.200 - 1.800 J m⁻² s^{-0,5} K⁻¹

niedrig (< 25 W/m²)

hoch (< 75 W/m²)

niedrig (< 25 W/m²)

Abb. 179: Klimaspezifische Klassifizierung von Stadträumen (TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach Steward & Oke)

6.3 Stadtklima - Potenziale von Begrünungskonzepten

Tab. 11: Auswirkungen unterschiedlicher Begrünungskonzepte auf das Stadtklima (TU Braunschweig)

Verbesserung	+
	+/-
Neutral	o
	-/-
Verschlechterung	-

Der klimatische Effekt von Begrünungskonzepten auf das Stadtklima ist durch eine kombinatorische Wirkung charakterisiert. Die Vegetation nimmt Einfluss auf verschiedene Temperaturgrößen, auf die Durchlüftung innerhalb urbaner Strukturen sowie auf das Bioklima und die Luftqualität. In Tab. 11 sind die Potenziale verschiedener Begrünungskonzepte hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Stadtklima dargestellt. Das klimatische Potenzial wurde nach den unterschiedlichen Aspekten des Stadt-

klimas bzw. hinsichtlich unterschiedlicher Messgrößen analysiert. Die der Tab. 11 zu Grunde liegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse werden im Folgenden getrennt nach dem Begrünungskonzept erläutert. Dabei werden einzelne Werte aus Fallstudien exemplarisch erläutert, um die spezifischen Wirkpotenziale auf die einzelnen stadtklimatischen Phänomene herauszuarbeiten.

I. Räumliche Skala	II. Begrünungskonzept		III. Auswirkungen von Begrünungskonzepten auf das Stadtklima							
			T _{LOKAL}	UHI	T _{mrt}	T _o	Verdunstung	Durchlüftung	Lufthygiene	Human-Bioklima
Gebäude	FB	fassadengebunden	+	+	+	+	+	o	+	+
		bodengebunden	+	+	+	+	+	o	+	+
	DB	extensiv	+	+	o	+	+	o	+	o
		intensiv	+	+	o	+	+	o	+	o
Quartier	Straßenrandbegrünung		+	+	+	+	+	-	+/-	+
	Parks		+	+	+	+	+	+/-	+/-	+
	Brachen und Rasenstandorte		+/-	+/-	+	+/-	+/-	+	+/-	o
Stadt	Wälder		+	+	+	+	+	-	+/-	+

Die in ihrer räumlichen Skala auf die Gebäudeebene beschränkten Fassadenbegrünungen (FB) wurden getrennt für die bodengebundene und fassadengebundene Ausführungsvariante untersucht. Dachbegrünungen (DB) wurden unterteilt in extensiv und intensiv. Die Potenziale hinsichtlich der Temperaturgrößen wurden ermittelt, indem an der Begrünung gemessene Temperaturen mit denjenigen an Referenzorten verglichen wurden. An einer Fassadenbegrünung gemessene Oberflächentemperaturen wurden beispielsweise mit denjenigen einer nicht begrüneten Wand verglichen. Niedrigere Temperaturen der Begrünung wurden im Sinne einer Verbesserung der stadtklimatischen Situation gewertet. Folgende Temperaturgrößen wurden gesondert untersucht: lokale Lufttemperaturen (T_{lokal}), mittlere Strahlungstemperaturen (T_{mrt}) und Oberflächenstrahlungstemperaturen (T_{o}). Des Weiteren wurden publizierte Werte zur Verdunstungsleistung der unterschiedlichen Begrünungskonzepte ausgewertet. Zur Auswertung der bioklimatischen Potenziale von Begrünung wurden noch weitere Indizes aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen hinzugezogen, wie beispielsweise die physiologische Äquivalenttemperatur PET, die ebenfalls in °C angegeben wird. Des Weiteren wurden Publikationen ausgewertet, die an Hand von Simulationen oder Messungen die potenzielle Auswirkung von Begrünung auf die urbane Wärmeinsel untersucht haben (UHI). Eine Beeinflussung der Lufthygiene wurde in erster Linie hinsichtlich publizierter PM_{10} -Reduktionen (Feinstaub $\leq 10 \mu\text{m}$) ausgewertet. Weiterhin wurden Angaben zur Durchlüftung bzw. die Beeinflussung von Vegetation auf gemessene Windgeschwindigkeiten ausgewertet. Eine Verringerung der Durchlüftung wurde als eine Verschlechterung der stadtklimatischen Situation gewertet, da hierdurch Luftschadstoffe langsamer abtransportiert und verdünnt werden und sich die bioklimatische Belastung an sommerlichen Strahlungstagen erhöht. Das Minuszeichen der anderen Vegetationsformen ergibt sich aus der Tatsache, dass Pflanzen Vorläufermoleküle (v.a. Isopren) zur Ozonbildung emittieren. Gräser haben in der Regel deutlich geringere Emissionsraten als Bäume. Bei Rasenschnitt können sich die Emissionsraten allerdings ver Hundertfachen und denen von Bäumen gleichkommen. Hier besteht Optimierungspotential insofern, dass Pflanzenarten gewählt werden können, die geringe Emissionsraten aufweisen. Die Wirkungen der einzelnen Begrünungskonzepte werden im nächsten Kapitel in Form von Steckbriefen genauer erläutert.



I Räumliche Skala: Gebäude

II Begrünungskonzept: Fassadenbegrünung

III Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf das Stadtklima

Die bereits in Kap. 2.5 „Begrünungssysteme“ vorgestellten Fassadenbegrünungssysteme können das Stadtklima positiv beeinflussen. Insbesondere künstlich bewässerte Fassadenbegrünungen, wie die fassadengebundenen Systeme, zeichnen sich durch hohe Verdunstungsraten, mit einer entsprechend positiven Wirkung auf die lokalen Umgebungstemperaturen aus. In 0,6 m Abstand zu einem solchen System konnten Temperaturreduktionen von bis zu 1,3 °C im Vergleich zu einer unbegrünten Referenzwand gemessen werden [152]. Vor einer bodengebundenen Fassadenbegrünung wurde in derselben Studie eine Senkung der Lufttemperatur von 0,8 °C erreicht. Die durch künstliche Bewässerung hervorgerufene Verdunstungskühlung wirkt sich entsprechend positiver auf die Umgebungstemperatur aus. Dies spiegelt sich in niedrigeren Oberflächentemperaturen von bis zu

11,6 °C im Vergleich zu einer unbegrünten Wand wider. Modellergebnisse zeigen, dass die Konzentrationen von PM₁₀ und NO₂ innerhalb einer Straßenschlucht durch das Vorhandensein einer Fassadenbegrünung um 60 % bzw. 40 % sinken können. Für Dachbegrünungen ergaben sich geringere Konzentrationsabnahmen [134].

Abb. 180: Bodengebundene Fassadenbegrünung (Foto: Jannik Heusinger)

Tab. 12: Städtische Wirkpotenziale von Fassadenbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien (TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T _{lokal})	Oberflächentemperatur (T _o)	Verdunstung	Luftqualität
Daten aus Fallstudien	Geringer als an unbegrünten Fassaden (Reduktion max. 1,3 °C fassadengebunden und 0,8 °C bodengebunden)	Fassadengebunden max. 11,6 °C niedriger im Vergleich zu unbegrünter Fassade	Bis zu 12 mm d ⁻¹ (künstlich bewässert, bezogen auf Wisteria Kletterpflanzen in 0,4 m ³ großem Topf)	PM ₁₀ -Konz.: -60 % NO ₂ -Konz.: - 40 %
Quellen	(Wong et al. 2010)	(Wong et al. 2010)	(Köhler 2008)	(Pugh et al. 2012)

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum



I Räumliche Skala: Gebäude II Begrünungskonzept: Dachbegrünung

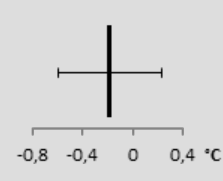
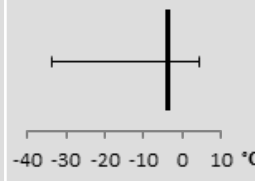
Abb. 181: Extensivbegrünung-Wohnsiedlung mit Kindergarten (Foto: © Optigrün)

Tab. 13: Städtische Wirkpotenziale extensiver Dachbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien. Die eingefügten Abbildungen zeigen den Durchschnittswert (großer vertikaler Balken) der aus den Fallstudien zusammengestellten Daten sowie deren Spannweite (Minimum, Maximum). Negative Temperaturwerte weisen auf Temperaturreduktionen durch Begrünung hin. Die Angaben beziehen sich auf Zeiträume, in denen der Effekt von Begrünung - durch Verdunstung - am deutlichsten in Erscheinung tritt (in der Regel zur Mittagszeit während der Sommermonate). Die ausgewertete Literatur ist in diesem Punkt allerdings nicht immer konsistent. Soweit möglich wurden Daten der Sommermonate Juni, Juli, August extrahiert. (TU Braunschweig)

III Auswirkungen von extensiver Dachbegrünung auf das Stadtklima

Dachbegrünungen bieten insbesondere in hochverdichteten Innenstadtbereichen ein großes Potenzial zur Reduktion der tagsüber auftretenden Wärmebelastung. Messungen auf dem Gründach des Braunschweiger Rathauses haben im August 2012 eine Erniedrigung der Lufttemperaturen von durchschnittlich 0,2 °C in 50 cm über Dachniveau ergeben [110]. Die höchsten Lufttemperaturreduktionen wurden am Tag erreicht, mit durchschnittlich - 0,6 °C und maximal -1,5 °C um 14 Uhr. In der Nacht wurden hingegen keine signifikanten Lufttemperaturdifferenzen gemessen. Dies ist durch die Verdunstungskühlung der Pflanzen und des Bodens bedingt, die zu deutlich niedrigeren Oberflächenstrahlungstemperaturen führt. So war die Oberfläche des Gründaches im August 2012 am Tag bis zu 17 °C kühler als das Referenzdach. Andere Studien berichten mitunter von noch größeren Temperaturdifferenzen zwischen Grün- und Referenzdächern mit bis zu 33 °C im Maximum [99]. Modellergebnisse

haben in Szenarien mit großflächiger Installation von Dachbegrünungen Lufttemperaturreduktionen von 0,2 °C und 0,9 °C gezeigt. In einer einzelnen Studie wurden für die Stadt Chicago Temperaturerniedrigungen von bis zu 3 °C simuliert [139]. Hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Luftqualität kommt den Moosen eine besondere Rolle zu, die auf Grund ihrer im Vergleich zur Unterlage 30-fachen Oberflächenvergrößerung ein hohes Potenzial zur Feinstaubbindung aufweisen [104]. Für Feinstaub-Partikel mit einem Durchmesser von 0,5 µm wurde in Windkanal-Experimenten bereits eine 15-fach höhere Depositionsgeschwindigkeit, d.h. Ablagerungspotenzial, von Moosen im Vergleich zu Gras festgestellt [97].

	Lokale Lufttemperatur (T _{lokal})	Oberflächentemperatur (T _o)	UHI	Verdunstung	Luftqualität
Daten aus Fallstudien			-0,2 °C bis -0,9 °C	Verdunstung von 41 – 48 % des Jahresniederschlags	Depositionsgeschwindigkeit bei Moosen bis zu 15-fach höher als bei Gräsern
Quellen	(Heusinger 2013)	(DeNardo et al. 2005; Heusinger 2013; Jim 2011; Takebayashi & Moriyama 2007)	(Ng et al. 2012; Rosenzweig et al. 2006; Peng & Jim 2013)	(Harlaß 2008)	(Clough 1975)



III Auswirkungen von intensiver Dachbegrünung auf das Stadtklima

Die Höhe der Verdunstung eines Gründaches ist in erster Linie abhängig von der Wasserspeicherkapazität der Bodenschicht. Diese ist bei intensiven Dachbegrünungen mit bis zu 200 l m⁻² deutlich größer, als bei extensiven Begrünungen. Dementsprechend werden auf intensiven Gründächern ca. 62 % bis 67 % der eingestrahelten Energie in latente Wärme umgesetzt [109]. Diese steht nicht zur Erwärmung der Umgebungsluft zur Verfügung, im Gegensatz zur sensiblen Wärme, die durch Bitumendächer produziert wird. Somit ist der lokale Kühlungseffekt von intensiven Dachbegrünungen größer, als derjenige von extensiven [141]. Modellergebnisse zeigen, dass bei großflächiger Installation die urbane Wärmeinsel um bis zu 1,7 °C reduziert werden kann [132]. Speak et al. 2013 haben die über einer intensiven Dachbegrünung gemessenen Lufttemperaturen mit denen eines benachbarten Betonflachdaches verglichen. Der größte Kühlungseffekt stellte sich demnach während der Nacht ein

mit bis zu -1,6 °C. Die in experimentellen Studien beobachteten Depositionsgeschwindigkeiten von krautigen Pflanzen und Laubbäumen sind allgemein höher, als diejenige von Gras [153]. Insofern ist davon auszugehen, dass intensive Dachbegrünungen einen größeren Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität leisten, als extensive Sedum-Grasdächer. Inwiefern moosbegrünte Dächer eine noch bedeutendere Rolle bezüglich ihrer positiven Wirkung auf die Luftqualität einnehmen können, ist noch nicht hinreichend erforscht, die empirisch ermittelten Depositionsgeschwindigkeiten weisen aber auf ein großes Potenzial dieser Begrünungsform hin.

Abb. 182: Intensivbegrünung Gartendach (Foto: © Optigrün)

Tab. 14: Städtische Wirkpotenziale intensiver Dachbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien. (TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T _{lokal})	Oberflächentemperatur (T _o)	UHI	Verdunstung
Daten aus Fallstudien		-18,5 °C (Einzelmessung)	-0,2 °C bis -1,7 °C	Verdunstung von 62 – 67 % des Jahresniederschlags
Quellen	(Speak et al. 2013) - Messung in 30 cm über Dachniveau	(Speak et al. 2013)	(Ng et al. 2012; Peng & Jim 2013)	(Harlaß 2008)

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum



I Räumliche Skala: Quartier II Begrünungskonzept: Straßenbegrünung, Parks, Freiflächen

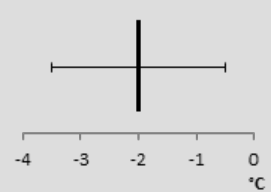
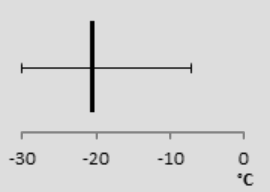
Abb. 183: Straßenrandbegrünung
(Foto: Jannik Heusinger)

III Auswirkungen von Straßenbegrünung auf das Stadtklima

Zur Straßenrandbegrünung zählen Rasenflächen, Bäume und Sträucher. Bepflanzung mit hohen, dichten Laubbäumen im Straßenraum sorgen im Sommer für eine effektive Verschattung und verstärken den Verdunstungseffekt. Straßenräume können auch durch Rasenflächen und Sträucher klimatisch aufgewertet werden. Mit Bäumen bestandene Rasenflächen müssen intakt und bewässert sein, um eine deutliche Verbesserung der thermischen Verhältnisse zu gewährleisten. Wegen der zukünftig häufiger auftretenden hohen sommerlichen Temperaturen und geringeren Niederschlagsmengen, sollten trockenolerante Pflanzen innerhalb von Städten bevorzugt eingesetzt werden [117]. Typische Baumarten, die für die Straßenbegrünung genutzt werden sind Linden (*Tilia*), die Gewöhnliche Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Ahorne (*Acer*), Kastanien (*Castanea*) und Birken (*Betula*). Grasflächen reduzieren den städtischen Wärmeineffekt durch eine erhöhte Evapotranspiration. Dabei

sind viele kleine Grasflächen effektiver als eine große Grasfläche [88]. Schattenspendende Bäume kühlen ebenfalls die Erdoberfläche und führen zu einer Verringerung der Lufttemperaturen [105]. Laubbäume als Straßenrandbegrünung wirken sehr gut der sommerlichen Wärmebelastung entgegen. Direkte Sonneneinstrahlung wird reduziert und damit auch der Hitzestress. Im Winter wird durch die laublosen Bäume der Kältestress reduziert, da die Sonneneinstrahlung ungehindert die Erdoberfläche erreichen kann [108]. Es ist zu beachten, dass Bäume mit einer niedrigen Blattwerk-Temperatur ihre Umgebung mehr kühlen als Bäume mit höheren Blattwerk-Temperaturen und dass kleine Blätter verglichen mit großen Blättern kühler bleiben [122]. Hinsichtlich der Luftqualität können Straßenbäume eine eher negative Wirkung haben, da sie die Windgeschwindigkeit um bis zu 50% reduzieren und somit auch die Durchlüftung verringern [125; 144; 94]. Straßenbegrünung reduziert die Partikelkonzentration von Feinstaub durch die Ablagerung von Parti-

Tab. 15: Städtische Wirkpotenziale von Straßenrandbegrünung – Beispiele aus Fallstudien.
(TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Mittlere Strahlungstemp. (T_{mit})	Bioklima	Durchlüftung
Daten aus Fallstudien			PET- Reduktion um bis zu 4,6 °C (Definition siehe Glossar)	Reduktion der Windgeschwindigkeit um bis zu 50% (durch Bäume)
Quellen	(Gulyás et al. 2006; Georgi & Dimitriou 2010; Kjelgren & Montague 1998; Armson et al. 2012; Mayer et al. 2009; Ng et al. 2012; Taha et al. 1991; Shashuabar et al. 2010)	(Gulyás et al. 2006; Mayer et al. 2009; Robitu et al. 2006)	(Gulyás et al. 2006; Mayer et al. 2009)	(Taha et al. 1991)



keln auf dem Blattwerk (Deposition). Durch die reduzierte Durchmischung der Luft zwischen einer Straßenschlucht und der Umgebungsluft kann es jedoch zu einer Hinderung des Abtransports von Partikeln kommen, insbesondere wenn ein gemeinsamer Kronenschluss über der Straßenmitte vorhanden ist. Ob Straßenbäume einen positiven oder negativen Effekt auf die Luftqualität haben, hängt nicht zuletzt von der Emissionssituation in der Straße ab. Bei moderaten Emissionen haben Bäume durch die Deposition einen eindeutig positiven Effekt auf die Luftqualität [134].

III Auswirkungen von Parks auf das Stadtklima

Entscheidend für das Wirkungspotenzial von Parks ist der Parktypus bzw. die individuelle Zusammensetzung der Vegetation innerhalb einer Parkfläche. Diese kann einerseits durch eine Krautschicht und vereinzelt stehende Büsche und Bäume, andererseits aber auch durch einen engen Baumbestand unterschiedlicher Baumkronenhöhe

charakterisiert sein. Ebenso kann ein Park aus einer kultivierten Fläche, einer Mischung aus Krautschicht, Büschen, Sträuchern und Bäumen bestehen. Parks bieten insbesondere in hochverdichteten Innenstadtbereichen ein großes Potenzial zur Reduktion der tagsüber auftretenden Wärmebelastung. Die horizontale Reichweite der Kühlwirkung des Parks kann dabei ungefähr dem Durchmesser der Parkfläche entsprechen [146, 127]. Dennoch ist zu beachten, dass das Wirkungspotenzial von Parks sehr komplex ist, da sich insbesondere die Ausstattung – z.B. in den Parks integrierte Wasserkörper (Seen, Teiche) – auf das Parkklima auswirkt. Allgemein können Parks, eine Temperaturreduktion im Mittel um 0,5 bis 2,5 °C (max. 3 bis 6,5 °C) erzielen [142]. Vor dem human-biometeorologischen Hintergrund eignen sich Parks besonders zu Reduktion der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) um 10 bis 18 °C, die das thermische Empfinden an heißen Sommertagen positiv beeinflusst [89].

Abb. 184: Parkanlage (Foto: Jannik Heusinger)

Tab. 16: Städtische Wirkpotenziale von Parks/Parkflächen – Beispiele aus Fallstudien (TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Bioklima	Luftqualität
Daten aus Fallstudien		PET- Reduktion durch Baumkronen 10 °C bis 18 °C	10 bis 30%ige Verbesserung der Luftqualität (bei 100% Laubbedeckung)
Quellen	(Oded Potchter et al. 2006; Spronken-Smith & Oke 1998; Bongardt 2005; Bowler et al. 2010)	(Lin et al. 2010; Katzschner et al. 2011; P. Cohen et al. 2012)	(Kuttler et al. 1999, Yin et al. 2011, Setälä 2012)

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum



Abb. 185: Freifläche am Stadtrand
- Nutzung als Pferdekoppel
(Foto: Maria Schmidt)

III Auswirkungen von Freiflächen auf das Stadtklima

Freiflächen im Innenstadtbereich sind häufig durch anthropogen beeinflusste Böden geprägt [111]. Oft finden sich diese ungenutzten Freiflächen auf stillgelegten Industrie- und Bahnanlagen. In Abhängigkeit der brachliegenden Zeit weisen sie meist lockere Vegetationsstrukturen auf [111]. Als Beispiele für städtische Freiflächen sind größere Verkehrsinseln, Spielplätze sowie Tierweiden/Pferdekoppeln zu nennen. Nach Cohen et al. (2012) verhalten sich Rasenstandorte in bebauten Gebieten tagsüber ähnlich wie ein versiegelter Platz, nachts jedoch ähnlich einer Parkfläche. Der Grund liegt in der tagsüber fehlenden Beschattung. Nachts kommt es ähnlich wie in Parks aufgrund der thermischen Eigenschaften von Oberfläche und Vegetation zu einer stärkeren Abkühlung. Während der Sommermonate können sich maximale Lufttemperaturunterschiede von 2,7 °C (1,6 °C im Winter) einstellen. Die physiologische Äquivalenttemperatur (PET) ist auf Rasenstandorten geringer, wodurch es

zu einem maximalen Temperaturunterschied im Sommer von 6,9 °C und im Winter von 3,3 °C kommt. Innerhalb einer Stadtbrache in Berlin konnten nächtliche Temperaturunterschiede von 2,5 °C nachgewiesen werden. Da die relative Luftfeuchte eine temperaturabhängige Größe ist, ergeben sich über Brachflächen meist höhere Werte als im Innenstadtbereich. Je höher der Vegetationsanteil ist, desto größer ist die Verdunstungsleistung. Zhang & Schilling (2006) konnten über einem Rasenstandort eine um 2,8 mm pro Tag höhere Verdunstung feststellen, als auf einer unbewachsenen Vergleichsfläche. Die Luftaustauschbedingungen auf brachliegenden Flächen sind wegen geringer Rauigkeit sehr günstig. Vor allem Brachen im Verlauf von Bahntrassen können wichtige Belüftungsbahnen und Kaltluftlieferanten sein.

Tab. 17: Städtische Wirkpotenziale von Freiflächen – Beispiele aus Fallstudien. (TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Oberflächentemperatur (T_o)	Verdunstung	Bioklima
Daten aus Fallstudien	<p style="text-align: center;">-3 -2 -1 0 (°C)</p>	5 °C geringer als auf versiegelten Standorten	2,8 mm pro Tag Differenz zwischen Rasen und unbewachsenem Standort	Reduktion des maximalen PET von 6,9 °C im Sommer und 3,3 °C im Winter
Quellen	(Horbert 2000; P. Cohen et al. 2012)	(Weng et al. 2004)	(Zhang & Schilling 2006)	(P. Cohen et al. 2012)



I Räumliche Skala: Stadt

II Begrünungskonzept: Innerstädtische Waldflächen

III Auswirkungen von Waldflächen auf das Stadtklima

Viele Städte sind von Stadtwäldern oder innenstadtnahen Waldgürteln geprägt. Je nach Flächengröße, Baumarten, Bestandsdichte und Alter haben sie damit einen teils erheblichen Einfluss auf das Stadtklima.

Innerstädtische Waldflächen tragen durch zwei wesentliche Effekte zu einer Temperaturreduktion bei: Schattenwurf und Transpiration. Ersteres konnte bereits in einigen Studien quantifiziert werden (Schatteneffekt einzelner Bäume: bis zu 19 °C niedrigere Oberflächentemperaturen bei Mittagseinstrahlung [88]). Allerdings ist sowohl der Schattenwurf als auch die Abkühlung durch Transpiration von der absoluten Größe der bewaldeten Flächen und von Bestandsdichte und Baumart abhängig [122]. Generell ist die Temperatur tagsüber jedoch deutlich niedriger, während sich die Unterschiede nachts umkehren können, da ein großer Teil der langwelligen Wärmestrahlung der Erdoberfläche durch das Blätterdach zurückgehalten werden kann [90].

Für die Lufttemperatur ergeben sich durchschnittliche Reduktionen von ca. 1,5 °C und maximal 5,3 °C [111; 112; 154]. Müller et al. (2013) haben für eine 1 ha große Fläche eine mittlere Reduktion des PET von -0,9 °C simuliert (2 m Höhe und maximal 24,1 °C), Weng et al. (2004) ermittelten einen mittleren Unterschied der Oberflächenstrahlungstemperaturen zwischen einer innerstädtischen Waldfläche und einem nahegelegenen versiegelten Bereich von rund 6 °C. Innerstädtische Wälder zeigten vielfach positive Eigenschaften bzgl. der Luftqualität, allen voran auf NO₂ und PM₁₀ [95; 137].

Escobedo and Nowak (2009) zeigen, dass sich in Gebieten mit unterschiedlichen Baumbedeckungen (0%, 26%, 100%) die PM₁₀ Konzentrationen jeweils um 1,6 % bzw. 6,1 % infolge höherer Deposition verringern. In einer weiteren Studie konnte in diesem Zusammenhang die Deposition-Geschwindigkeit von Partikeln bei Grasland und Waldflächen innerhalb eines Stadtgebietes ermittelt werden (2,8 mm s⁻¹ für Grasland bis 10,7 mm s⁻¹ für Wald) [103].

Abb. 186: Innerstädtische Waldfläche (Foto: Jannik Heusinger)

Tab. 18: Städtische Wirkpotenziale von Wäldern – Beispiele aus Fallstudien. (TU Braunschweig)

	Lokale Lufttemperatur (T _{lokal})	Oberflächentemperatur (T _o)	Bioklima	Luftqualität
Daten aus Fallstudien		Differenz bis zu 19 °C bei sonniger Fläche vs. bewaldeter und beschatteter Fläche	PET- Reduktion 24,1 °C im Maximum	Bis zu 6,1 % Reduktion von PM ₁₀ innerhalb innerstädtischer Waldflächen; 4-fach erhöhte Depositionsgeschwindigkeit von Partikeln in Wäldern (10,7 mm s ⁻¹ zu 2,8 mm s ⁻¹); NO ₂ und PM ₁₀ rund 1/3 niedriger als im unbegrünten Stadtgebiet (21 zu 32 mg m ⁻³).
Quellen	(Yilmaz et al. 2007; Huang et al. 2008; Horbert 2000)	(Armson et al. 2012)	(Müller et al. 2013)	(Cavanagh et al. 2009; Escobedo & Nowak 2009; Fowler et al. 2004)

Einfluss des Grünflächenanteils im Stadtraum

- Analyse des Bowen-Verhältnisses (fühlbare Wärme vs. Verdunstung)
- Bewertung des Einflusses der Verdunstung zur Kühlung

Methode

Einsatz eines urbanen Energiebilanzmodells

Ergebnisse

- Zusammenhang zwischen Vegetationsfläche und Verdunstungswärmestrom
- ein höherer Anteil städtischen Grüns trägt zur Verdunstungskühlung bei
- zur effektiven Verdunstungskühlung muss das städtische Grün ausreichend wasserversorgt sein.

6.4 Fallstudien - Beispielhafte Betrachtung von Wirkpotenzialen

Berechnungen mit einem Energiebilanzmodell

Zur Quantifizierung der Wirkung eines erhöhten Begrünungsgrades des Stadtraumes werden im Folgenden exemplarische Berechnungen mit einem Energiebilanzmodell vorgestellt. Das hier benutzte Modell SUEWS [114] ist in der Lage, die Größen der urbanen Wärmebilanz in Abhängigkeit der meteorologischen Rahmenbedingungen sowie der städtischen Oberflächennutzung (versiegelt, bebaut, vegetationsbestanden) zu berechnen. Zur Quantifizierung von Planungsaspekten lässt sich beispielsweise der in sensible (fühlbare) Wärme beziehungsweise in latente Wärme (Verdunstung) umgesetzte Anteil der Sonnenstrahlung in einem spezifischen Stadtgebiet berechnen.

Um eine allgemeingültige Aussage zum Potenzial städtischer Begrünung zu erlangen, werden im Folgenden Daten des Testreferenzjahrsdatensatzes des Deutschen Wetterdienstes für Norddeutschland (Hamburg) verwendet. Das Energiebilanzmodell SUEWS wurde mit den Daten der Testreferenzjahre (TRY) 2010 und 2035 gerechnet. Die meteorologischen Daten wurden bei der Modellberechnung unverändert gehalten, lediglich der Anteil von Begrünung im Untersuchungsgebiet änderte sich zwischen den Berechnungsschritten um jeweils 10 %. Für den begrünten Flächenanteil wurde ein Szenario aus 75 % Gras und 25 % Laubbäume angenommen.

In Abb. 187 und 188 ist das sogenannte „Bowen-Verhältnis“ in Abhängigkeit des begrünten Flächenanteils dargestellt. Das „Bowen-Verhältnis“ berechnet sich nach $B_o = Q_H / Q_E$, d.h. sensibler Wärmefluss geteilt durch latenten Wärmefluss, und gibt an, welcher Anteil der Energie in

eine direkte Erwärmung der Luft bzw. in Verdunstung (Transpirationskühlung) umgesetzt wird. Bei einem Verhältnis < 1 wird der überwiegende Teil der Energie in den Verdunstungswärmestrom umgesetzt, bei Verhältnissen > 1 erfolgt der größere Umsatz in sensible Wärme.

Auf Basis einer Zusammenstellung internationaler Messkampagnen konnte Goldbach (2012) einen exponentiellen Zusammenhang zwischen Begrünungsgrad und Bowen-Verhältnis zeigen. Bei einem Begrünungsgrad des Untersuchungsstandortes von 20 % resultiert ein Bowen-Verhältnis von rund 2,5. Demnach wird die 2,5-fache Menge der zur Verfügung stehenden Energie in sensible Wärme umgesetzt, so dass weniger als die Hälfte der Energie für Verdunstung aufgewendet werden kann.

Die Ergebnisse der Energiebilanzmodellierung für eine virtuelle Stadtfläche unter norddeutschen Klimabedingungen zeigen zunächst, dass das Energiebilanzmodell sehr gut in der Lage ist, den von Goldbach (2012) in der wissenschaftlichen Literatur gefundenen, empirischen Zusammenhang wiederzugeben (rote Linie in Abb. 188). Wiederum ergibt sich ein deutlicher exponentieller Zusammenhang zwischen Begrünungsanteil und Bowen-Verhältnis. Vor allem unter sommerlichen Bedingungen können beim Szenario mit hohem Versiegelungsgrad beträchtliche Bowen-Verhältnisse erreicht werden, die für zukünftige Klimabedingungen im 70 % Versiegelungsszenario bei > 4 liegen können. Mit höheren Begrünungsanteilen kann diesen negativen Auswirkungen jedoch entgegengesteuert werden.

Die Ergebnisse des Energiebilanzmodells können aufgrund des mathematischen Ansatzes keine flächenscharfen Aussa-

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum

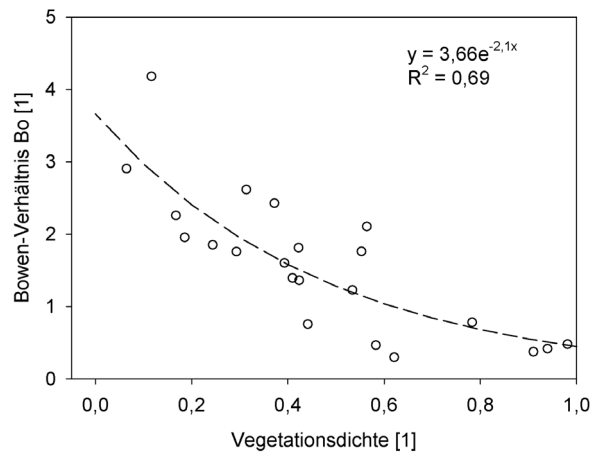


Abb. 187: Literaturergebnisse des Zusammenhangs zwischen Begrünungsanteil und Bowen-Verhältnis verschiedener städtischer Untersuchungsgebiete (TU Braunschweig, nach Goldbach 2012).

gen zum spezifischen Potenzial einzelner Begrünungsanteile machen, sondern den mittleren Effekt für ein Untersuchungsgebiet quantifizieren. Um spezifische Aussagen zu Potenzialen einzelner Begrünungsstrategien zu erhalten, werden im folgenden Abschnitt exemplarische Ergebnisse mikroklimatischer Simulationen vorgestellt.

Berechnungen mit einem dreidimensionalen Mikroklimamodell

Zur Simulation der Auswirkungen von Begrünungskonzepten, wurde in dieser Fallstudie das dreidimensionale Mikroklimamodell ENVI-met [93] verwendet. Dieses eignet sich insbesondere zur Simulation verschiedenster Klimaelemente im Kontext urbaner Bebauung. Im Fokus dieser Betrachtung liegen zum einen die potenzielle Reduktion der Lufttemperatur sowie der bioklimatischen Größe UTCI durch Dach- bzw. Fassadenbegrünungen innerhalb einer typischen innerstädtischen Blockrandbebauung. Zum anderen sollen mittels ENVI-met potenzielle „Hot Spots“ innerhalb des Untersuchungsgebietes identifiziert, und mögliche Planungsvorschläge erarbeitet werden. Als Untersuchungsgebiet wurde die Innenstadt Braunschweigs gewählt, die eine maximale Wärmeinselintensität von 7 K zeigt (vgl. Abb. 172). Die Simulationen wurden für sommerliche Hochdruckwetterlagen ohne Bewölkung mit geringer, östlicher Anströmung durchgeführt.

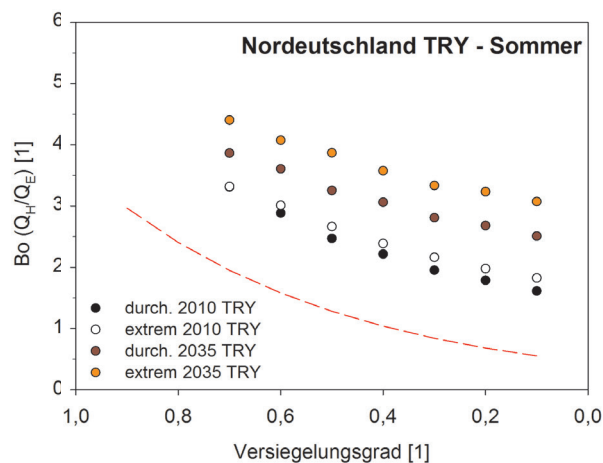
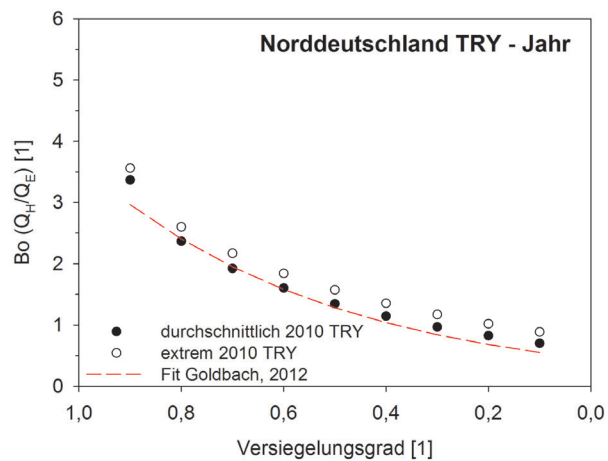


Abb. 188: Zusammenhang zwischen Begrünungsanteil bzw. Versiegelungsgrad und Bowen-Verhältnis eines städtischen Untersuchungsgebietes unter norddeutschen Klimabedingungen (Testreferenzjahres des Deutschen Wetterdienstes) TU Braunschweig, auf Basis des Energiebilanzmodells SUEWS. (oben) Ergebnisse für den Jahresmittelwert (unten) und für die Sommerperiode Juni bis August.

6.4.1 Identifizierung von überwärmten städtischen Arealen

Zur Identifizierung lokaler Überwärmungsbereiche dient ein Basisszenario, in dem die derzeit vorhandene Gebäudestruktur und Vegetation innerhalb der Braunschweiger Innenstadt dargestellt wird (Status Quo). Die Ergebnisse wurden an Hand eines Horizontalprofils in 3 m Höhe ausgewertet (s. Abb. 189). Die Auswertung erfolgte für Lufttemperaturdifferenzen innerhalb der Modellregion, mittlere Strahlungstemperaturen und den UTCI (s. Abb. 190). Innerhalb des Horizontalprofils wurden insbesondere für den hochversiegelten Bereich des Schlossvorplatzes hohe UTCI-Werte festgestellt. Diese entsprechen über eine

Länge von ca. 30 m der Belastungsstufe mit sehr hohem Wärmestress. Somit entspricht dieses Areal einem lokalen „Hot Spot“, da beispielsweise für Passanten kaum Möglichkeiten bestehen in Bereiche zu wechseln, in denen moderate thermische Belastungen vorherrschen. In einem Planungsszenario wurde dieser Bereich mit zusätzlichen Grasflächen und 10 m hohen Laubbäumen versehen. Die bioklimatischen Auswirkungen der Begrünungsmaßnahme werden in Abbildung 190e dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass sich in einem Großteil des Bereichs - mit Hilfe der Begrünung - ein Bioklima mit moderater Wärmebelastung einstellen konnte. In engen Straßenschluchten, die mitunter ebenfalls hohe Wärmebelastungen aufweisen, besteht unter Umständen nicht die Möglichkeit die Begrünungskonzepte Rasen bzw. Straßenbäume auszuschöpfen. Für diese Situation wurde eine hypothetische Straßenschlucht mit einer sich anschließenden Ringbebauung entwickelt, um die mikroklimatischen Auswirkungen von Dach- und Fassadenbegrünungen zu untersuchen.



Abb. 189: Modellregion der Innenstadt Braunschweigs. Die derzeit vorhandene Vegetation ist grün gekennzeichnet (Vegetation Status quo, SQ). In einem weiteren Szenario wurden Grasflächen und Bäume (orange bzw. rot) hinzugefügt. (TU Braunschweig)

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum

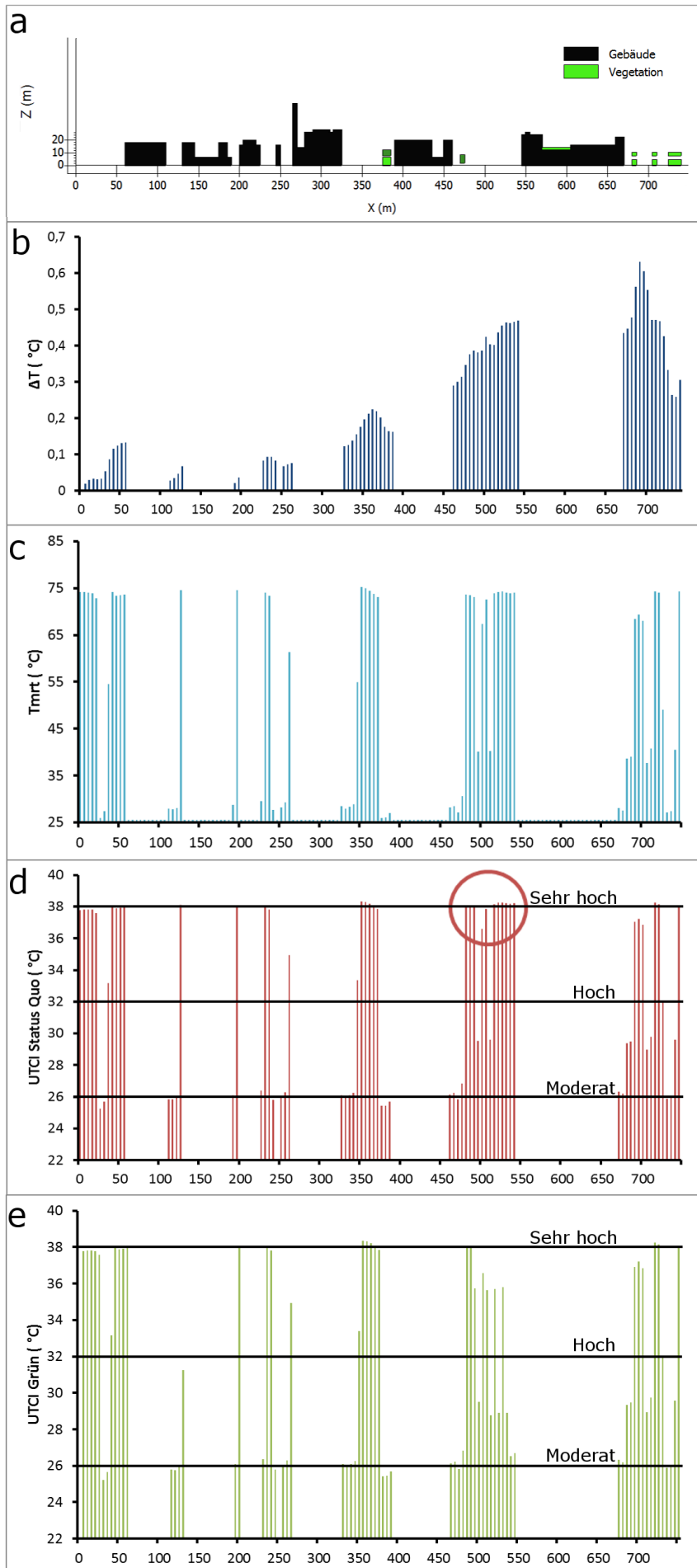
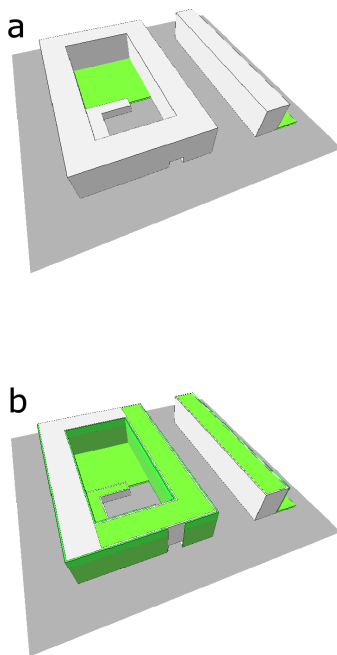


Abb. 190: Darstellung des Modellgebiets im Status Quo als Vertikalschnitt (a). Darunter Lufttemperaturdifferenzen bezogen auf die niedrigste Lufttemperatur (b), mittlere Strahlungstemperaturen (c) und ermittelte UTCI-Werte für den Status Quo (d) und das Szenario mit zusätzlicher Begrünung (e). Ein „Hot Spot“ wurde auf dem Schlossvorplatz identifiziert (rot umkreist, d). Die Werte beziehen sich auf einen Horizontalschnitt entlang der x-Achse in 3 m Höhe um 14 Uhr. Die Angaben „Moderat, Hoch, Sehr hoch“ entsprechen den thermischen Belastungsstufen des UTCI.

Abbildung TU Braunschweig, in Anlehnung an Darstellung von Müller et al. 2013.

6.4.2 Simulation mikroklimatischer Auswirkungen von Dach- und Fassadenbegrünungen



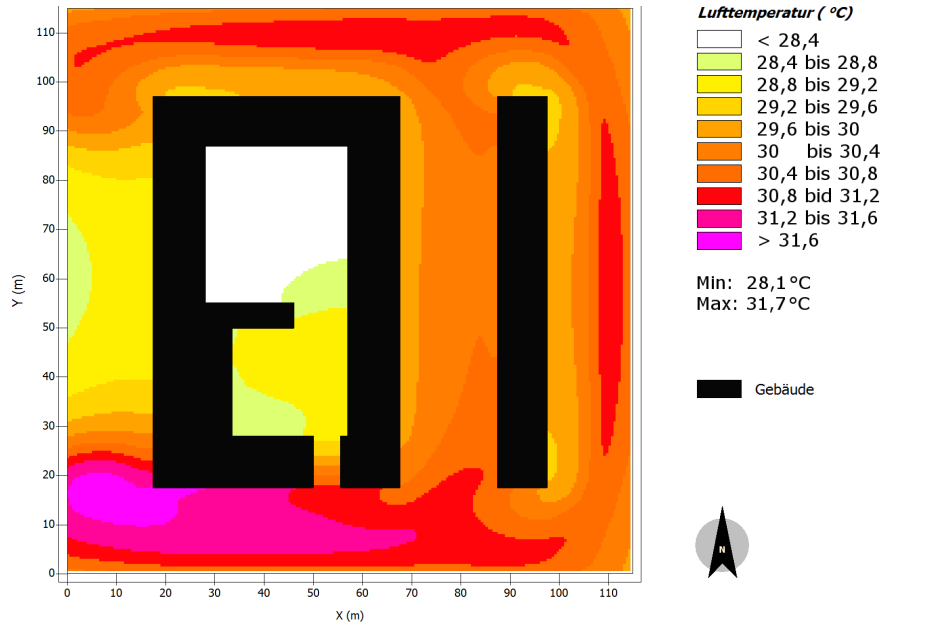
Zur Untersuchung der lokalklimatischen Auswirkungen von Fassaden- und Dachbegrünungen wurden zwei Szenarien gerechnet: ein unbegrüntes Referenzszenario sowie ein Szenario in der zwei Drittel der Gebäudeflächen begrünt wurden (s. Abb. 191a und b). Diese werden im Folgenden als Basis- (a) und Begrünungsszenario (b) bezeichnet. Die simulierte Blockrandbebauung wurde so gestaltet, dass alle typischen Elemente dieses Flächentypus dort wiedergefunden werden können. Neben einer Ringbebauung findet sich eine 20 m breite Straßenschlucht mit einer Länge von insgesamt 80 m. Dies entspricht der Breite typischer vierspuriger Hauptstraßen inklusive angrenzender Bürgersteige. Die Gebäudehöhe beträgt 15 m und entspricht somit ungefähr einem 5-geschossigen Neubau. Innerhalb der Ringbebauung befindet sich ein Innenhof mit Garagen und einer Rasenfläche. Im Begrünungsszenario wurden der Innenhof sowie die der Straße zugewandten Fassaden komplett mit einer Fassadenbegrünung ausgestattet. Die simulierte Blattflächendichte entspricht derjenigen einer herkömmlichen, bodengebundenen Fassadenbegrünung mit *Hedera helix* (Blattflächendichte = $4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$). Diese wird nicht künstlich bewässert, sondern von der unterliegenden Bodenschicht entsprechend des Bodenwassergehaltes versorgt. Die klimatische Wirkung der Dachbegrünung entspricht einer extensiven Sedum-Kraut-Begrünung. Die gesamte Bebauung ist mit Flachdächern ausgestattet, wobei die unbegrünten Dachflächen die thermischen Eigenschaften von Bitumendächern aufweisen. Der simulierte Tag fällt in die Kategorie eines heißen

Tages mit maximalen Lufttemperaturen von $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (s. Abb. 192). Die Ergebnisse des Begrünungsszenarios zeigen, dass Fassaden- und Dachbegrünungen an solchen Tagen für Entlastung sorgen und den Wärmestress vermindern (s. Abb. 193). Die Lufttemperatur wird am Tag durch die Kombination von Dach- und Fassadenbegrünungen um bis zu $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ gesenkt. Die größten Reduktionswerte ergeben sich an den Stellen, die im unbegrünten Szenario die höchsten Lufttemperaturen erreichen. So ist der durch die Verdunstungskühlung erzielte Effekt innerhalb der Straßenschlucht am ausgeprägtesten. Dieser setzt sich mit geringerer Ausprägung in der Nacht fort mit maximalen Temperaturreduktionen von $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Bei ausschließlichem Einsatz von Dachbegrünungen ergeben sich am Tag geringere Reduktionen der bodennahen Lufttemperatur von maximal $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ [110]. Bauwerksbegrünung kann somit sehr gezielt zur Verbesserung des Bioklimas insbesondere während Hitzeperioden eingesetzt werden. Die publizierte Literatur zu vergleichenden Lufttemperaturmessungen in Parks und innerstädtischen Wäldern legt nahe, dass diese ein weit größeres Minderungspotenzial aufweisen. Allerdings wird es in den seltensten Fällen möglich sein in innerstädtischen Bereichen großflächigere Grünareale (Park, Wald) anzulegen. Innenstädte sind in der Regel versiegelt und durch Baustrukturen hochverdichtet. Besonders hier kann die Begrünung von Gebäuden zur Abmilderung der Hitzebelastung an heißen Tagen effizient eingesetzt werden.

Szenario	Dachflächen
(a)	100 % Bitumen
(b)	33 % Bitumen; 66 % extensive Dachbegrünung
Szenario	Fassade
(a)	unbegrünt
(b)	33 % unbegrünt; 66 % bodengebundene Fassadenbegrünung

Abb. 191: Simulierte Blockrandbebauung ohne (a, Basisszenario) und mit Dach- sowie Fassadenbegrünung (b, Begrünungsszenario) (TU Braunschweig).

Gebäudebegrünung - Wirkung im Stadtraum

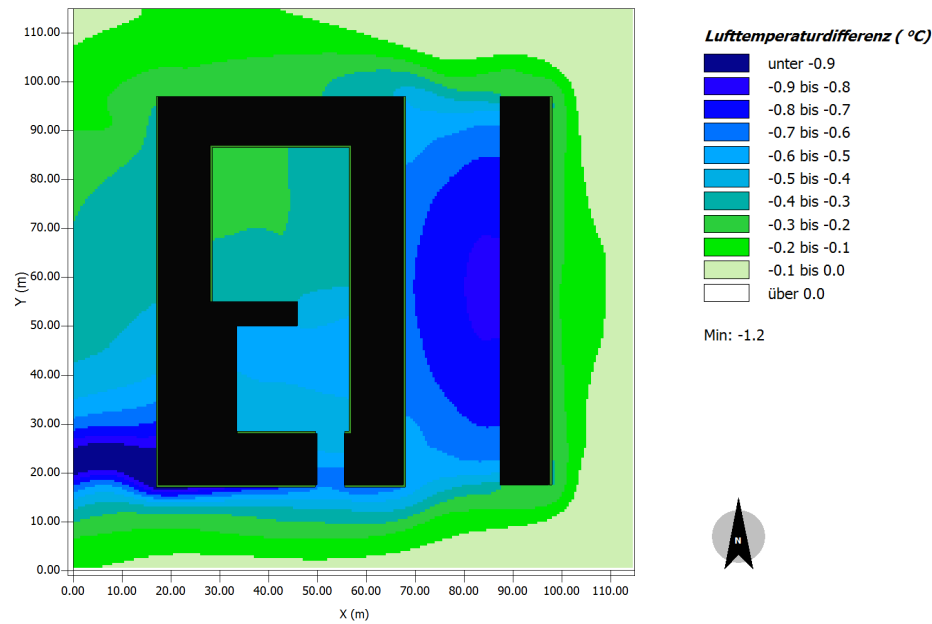


Einfluss von Dach- und Fassadenbegrünungen in einer Straßenschlucht
Untersuchung des Einflusses von Dach- und Fassadenbegrünungen auf die Lufttemperatur

Methode
Dreidimensionales Mikroklimamodell ENVI-met

Simulation
Heißer Tag mit maximalen Lufttemperaturen von 32 °C und geringen Windgeschwindigkeiten von ca. 1 m s⁻¹

Ergebnisse
Maximale Temperaturreduktion
Tag: 1,2 °C (14 Uhr)
Nacht: 0,6 °C (0 Uhr)



Ergebnisse
Maximale Temperaturreduktion
Tag: 1,2 °C (14 Uhr)
Nacht: 0,6 °C (0 Uhr)

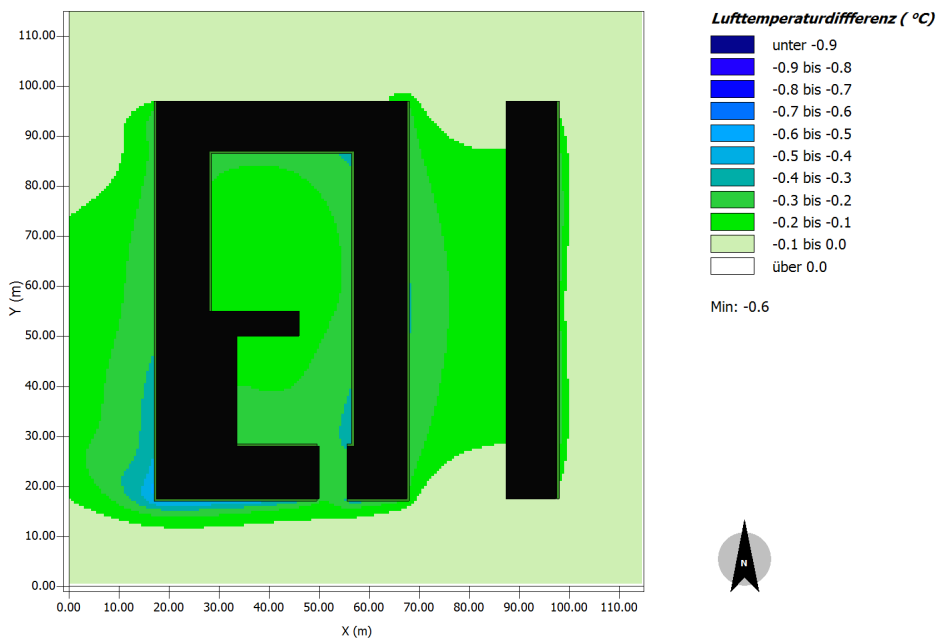


Abb. 192: oben: Verteilung der Lufttemperaturen um 14 Uhr im Basisszenario in 1,8 m Höhe. (TU Braunschweig)

Abb. 193: mitte: Verteilung der durch Fassaden- und Dachbegrünung hervorgerufenen Lufttemperaturdifferenzen zwischen Begrünungs- und Basisszenario um 14 Uhr in 1,8 m Höhe. (TU Braunschweig)

Abb. 194: unten: Verteilung der durch Fassaden- und Dachbegrünung hervorgerufenen Lufttemperaturdifferenzen zwischen Begrünungs- und Basisszenario um 0 Uhr in 1,8 m Höhe. (TU Braunschweig)

6.5 Fazit - Potenzial urbaner Begrünung

Die Daten der ausgewerteten Publikationen und der Modellrechnungen belegen die positiven Effekte urbaner Begrünung für den thermischen sowie den luft-hygienischen Wirkungskomplex. Die Gebäudebegrünung ist aus thermisch-bioklimatischer Hinsicht insbesondere in versiegelten Innenstadtbereichen wirkungsvoll einsetzbar. Dabei zeigt sich, dass intensive Dachbegrünungen ein größeres Potenzial als extensive Dachbegrünungen zur Minderung der Lufttemperaturen im lokalen Umfeld aufweisen, da die eingestrahelte Energie zu einem höheren Anteil in latente Wärme umgesetzt wird und die Bodenschicht mehr Wasser speichert [128; 132; 109]. Es ist weiterhin davon auszugehen, dass der Einsatz künstlicher Bewässerung zu höheren Verdunstungsraten respektive -kühlung führt und somit, sowohl für Dach- als auch Fassadenbegrünungen, zu empfehlen ist. Die vorgestellten Modellsimulationen und Messungen über einer extensiven Dachbegrünung Heusinger (2013) zeigen, dass der Effekt der Verdunstungskühlung während

des Tages am höchsten ist, sich aber bei Kombination von Fassaden- und Dachbegrünung mit etwas geringerer Ausprägung in die Nacht fortsetzt. Eine empirische Studie an einer intensiven Dachbegrünung in Manchester, UK von Speak et al. (2013) hat hingegen einen maximalen Kühlungseffekt von 1,6 °C während der Nacht ergeben, wenn die urbane Wärmeinsel am ausgeprägtesten ist. Die beiden Studien haben unterschiedliche Referenzflächen für Vergleichsmessungen genutzt. Bei Heusinger (2013) handelte es sich um ein Bitumendach und bei Speak et al. (2013) um ein Betonflachdach. Die unterschiedlichen Ergebnisse könnten somit in den unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Referenzflächen begründet liegen und bedürfen weiterer Forschung. Die modellierten Temperaturreduktionen durch Fassaden- und Dachbegrünung in der Größenordnung von bis zu 1° C am Tag zeigen (vgl. Abb. 193), dass durch den kombinierten Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünungen die Größenordnung des urbanen Wärmein-

Abb. 195: Panorama vom Dach des Okerhochhauses, Braunschweig. Kontrast von Stadt und Grün (Foto: Klaus Kordowski)



seleffektes innerhalb dieses Zeitraums (vgl. Abb. 172) kompensiert werden kann. In lufthygienischer Hinsicht legen die Ergebnisse nahe, dass Fassadenbegrünungen innerhalb von Straßenzügen Feinstäube wirksamer reduzieren, als Dachbegrünungen. Eine Kombination von beiden Begrünungsformen zeigte die höchsten Reduktionen [134]. Eine flächenhafte Wirkung im Stadtraum, sowohl für die Temperatur- als auch Feinstaubreduktion, wird vor allem durch geringere Versiegelung bzw. die Schaffung größerer Grünflächen (Parks, Freiflächen) erreicht. Hier bieten Begrünungskonzepte, die zur Beschattung der Oberflächen führen, allgemein höhere human-bioklimatische Potenziale, da sie sich wesentlich geringer aufheizen und die direkte Solarstrahlung einen großen Einfluss auf die Werte bioklimatischer Indizes aufweist. Nachts verhindern diese allerdings auch eine effektive langwellige Ausstrahlung, sodass diese mitunter höhere nächtliche Lufttemperaturen aufweisen können. Aus den mit Hilfe des Energiebilanz-

modells ermittelten Zusammenhängen, ist bei steigenden Temperaturen und abnehmenden sommerlichen Niederschlagsmengen mit einer deutlichen Verschiebung der Wärmeflüsse, in Richtung der sensiblen Wärmeflüsse, innerhalb unserer Städte zu rechnen. Dies lässt den Schluss zu, dass sich die urbane Wärmeinsel in Zukunft weiter verstärkt. Die Intensivierung städtischer Begrünung, auch in Form von Bauwerksbegrünung, wird somit als Gegenmaßnahme zunehmend an Bedeutung gewinnen. Es ist darauf zu achten, dass diese auch unter dem Einfluss häufiger auftretender Trockenperioden und Hitzewellen funktionsfähig bleibt und eine ausreichende Wasserversorgung zur Verfügung gestellt wird. Für diese Zwecke sollte die Nutzung von Niederschlagswasser in Betracht gezogen werden. Städtische Begrünung kann auf diese Weise genutzt werden, den negativen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Die Wechselwirkungen von Begrünung und Mikroklima sind bei städtischen Planungsprozessen zu berücksichtigen.

07

Planungsparameter

7. Planungsparameter

7.1 Einflussfaktoren auf Planung und Umsetzung von Gebäudebegrünungen, praxisorientierte Handlungsempfehlungen

Diese Zusammenstellung von planungsrelevanten Faktoren und praktischen Handlungsschritten für eine fachgerechte Umsetzung der unterschiedlichen Begrünungsvorhaben richtet sich als primäre Hilfestellung an Bauherren und interdisziplinäre Planungsteams (Architekt, Landschaftsarchitekt, Botaniker). Neben der Klärung der Exposition des Vorhabens geht es um die rechtzeitige Berücksichtigung von Einflussfaktoren, die sich aus der Umgebung (Gelände und Bebauung) und aus dem Begrünungsobjekt selbst ergeben. Dies betrifft auch die Stichworte zu rechtlichen Gesichtspunkten (Baurecht, Nachbarrecht, Unfallverhütungsvorschriften, Normungen etc.), denn hiervon wird die Mehrzahl aller Gebäudebegrünungen berührt sein. Verspätete Klärungen können sich in unnötigen Mehrkosten und

Nachbesserungen bis hin zum Verlust der Begrünung auswirken.

Bei aller Vielfalt der Gebäudesituationen und ihrer Begrünungsmöglichkeiten kann diese Zusammenstellung nicht vollständig sein - dies gilt auch für die anschließende Stichwort-Zusammenstellung der Handlungsschritte zur Planung und Realisierung von Gebäudebegrünungen. Aus den konkreten Verhältnissen können sich einzelne Schritte als unnötig bzw. weitere Schritte als notwendig ergeben [182x].

Hinweis: Die ausfüllbaren Felder an den Zeilenenden können zur Markierung der für das jeweilige Projekt relevanten Kriterien genutzt werden oder für Vermerke zur Erledigung (Zuständigkeit, Datum) dienen.

7.1.1 Geografische Exposition der Begrünungsfläche

Höhe über NN	<input type="text"/>
Breitengrad, Klimazone, Frostzone	<input type="text"/>
Sonnenstände	<input type="text"/>
Himmelsrichtung (südl./nördl. Hemisphäre)	<input type="text"/>
durchschnittlicher Jahrestemperaturverlauf - Winterhärtezone (Tiefsttemperaturen), Globalstrahlung (Höchsttemperaturen)	<input type="text"/>
durchschnittliche Sonnenscheindauer (breitengradabhängig)	<input type="text"/>
Eistage, Frosttrocknis (Sonne + Bodenfrost → Wassermangel)	<input type="text"/>
Grundwasserlage und -Beständigkeit	<input type="text"/>
regionaler Jahresverlauf der Niederschlagsmengen	<input type="text"/>
vorherrschende Windrichtung und -Stärke	<input type="text"/>
Einfluss Klimawandel	<input type="text"/>

Tab. 19: Einflussfaktoren - Geografische Exposition der Begrünungsfläche (© Nicole Pfoser 5/2012)

7.1.2 Einflussfaktoren des umgebenden Geländes

Gebäudetangierende Bodenflächen: Bodenqualität (Zusammensetzung, pH-Wert), Sickerfähigkeit, qualifizierter Boden-/Bodenwasser-Anschluss vorhandener Grünbestand (vorhanden/geplant) und seine artspezifische voraussichtliche Entwicklung	<input type="text"/>
regelmäßige Verschattungen aus nahe stehender oder geplanter Vegetation (z.B. Bäume)	<input type="text"/>
örtliche Erfahrungen bezüglich Pflanzeneignungen (interdisziplinärer Austausch)	<input type="text"/>
Pflanzenstandort in Muldenlage (Regenansammlung) oder Kuppenlage	<input type="text"/>
Schutzmöglichkeit neuer Pflanzenstandorte an öffentlichen oder fremden Flächen gegen mechanische Belastungen wie z.B. Vandalismus, Parkplatz, Fahrräder, Schneeräumung, Kinderspielplatz, Schulhof, Sportfläche	<input type="text"/>
Schutzmöglichkeit wie vor, jedoch gegen chemische Belastungen der Wurzelbereiche wie z.B. Reinigungs- und Abtaumittel, Urin, Flüssigkeiten aus Fabrikationsprozessen, Auswaschungen der Fassade, nahe gelegene Deponien	<input type="text"/>
Bodenbelastung durch Bauschutt-Anfüllungen bzw. Abfall-Verunreinigungen (Bestand), ggf. bevorstehender Bodenaustausch	<input type="text"/>
Schutzmöglichkeiten gegen schädigende Einflüsse der örtlichen Fauna größere Tiere, Nager	<input type="text"/>
Unterstützung der örtlichen Fauna (Vögel, Insekten) in positiver Relevanz zum Begrünungsvorhaben, Wohnungs- und Nahrungsangebot	<input type="text"/>

Tab. 20: Einflussfaktoren des umgebenden Geländes (© Nicole Pfoser 5/2012)

7.1.3 Einflussfaktoren der umgebenden Bebauung

umgebende Bebauung und Bebauungsplanung	<input type="text"/>
vorhandene oder geplante Tiefbau-Maßnahmen entlang der zu begrünenden Gebäudefront wie z.B. öff. Ver- und Entsorgungsleitungen, Straßenbau, Straßenbeleuchtung	<input type="text"/>
Art und Versiegelungsgrad der gebäudetangierenden Anschlussflächen auf Bodenebene wie z.B. Gehsteig, befahrbare Flächen (Straße, Stellplatz, Parkplätze), Pflanzstreifen, Roh- oder Grüngelände als öffentlicher Freiraum bzw. Roh- oder Grüngelände, welches einer künftigen Bebauung gewidmet ist	<input type="text"/>
Partikel-Immissionen aus umgebender Industrie, Stäube, Feinstaub	<input type="text"/>
Windverwirbelung bzw. -Umlenkung, Windschleusen-Bildung	<input type="text"/>
regelmäßige Sonnenlicht-Reflektion durch benachbarte Glas- bzw. Spiegelfassaden oder Glas- bzw. Solardächer	<input type="text"/>

Tab. 21: Einflussfaktoren der umgebenden Bebauung (© Nicole Pfoser 5/2012)

regelmäßige Verschattungen aus Baulichkeiten des Umfeldes	<input type="text"/>
Pflanzenstandort im Regenschatten anderer Hochbauten	<input type="text"/>
gebäudetangierende Unterbauungen und deren Höhenlage, wie z.B. breite Fundamentüberstände, alte Keller, Tiefgaragen unterhalb der zu begrünenden Fassadenflächen (Bestand)	<input type="text"/>

7.1.4 Einflussfaktoren aus den eigenen zur Begrünung vorgesehenen Dach- und Fassadenflächen

Dach-Begrünung

Flachdach: Gefälle, Dachaufbau (Dicke und Tragfähigkeit der Dämmung, Qualität und Chemie der Dachabdichtung), Lage und Funktion der Dachabläufe, Möglichkeit der Anordnung von Dachüberläufen, Möglichkeit eines frostsicheren Wasseranschlusses. Tragfähigkeits-Reserve der Dachdecke, besonders bei Intensivbegrünung bzw. Retentionsdach	<input type="text"/>
Anseil-Technik (Sekuranten) für 2 m-Randzone bei Absturzhöhe ab 3 m	<input type="text"/>
synergetische Kombination: Begrünung + elektr. Solarenergie-Gewinnung (Photovoltaik) bzw. laubabwerfende Begrünung + thermische Kollektoren bei Heizungs-Unterstützung (Solarthermie). Synergetische Kombination: Retentionsdach + Gebäude- bzw. Prozesskühlung (Pflanzenkühlung)	<input type="text"/>
Steildach: Gefälle, Tragfähigkeit der Dachkonstruktion, Möglichkeit einer durchgehenden Dichtungsebene unter Substrat-Lösungen. Möglichkeit einer Sprühbewässerung bei Direktbegrünung (Moose/Flechten) auf Spezial-Ziegelplatten mit poröser, speichernder Oberseite)	<input type="text"/>
sichere Erreichbarkeit der Dachflächen für Systemaufbau sowie Wartung/Pflege	<input type="text"/>

Tab. 22: Einflussfaktoren aus eigenen Dachflächen (© Nicole Pfoser 12/2012)

Fassaden-Begrünung

dauerhaft freistehendes Gebäude oder Erwartung späterer Anbauten	<input type="text"/>
Denkmalschutz bzw. wertvolle historische Bausubstanz (Bestand)	<input type="text"/>
Erhaltungsqualität, bauliche Renovierungsbedürftigkeit der Fassade, voraussichtliche Renovierungs-Intervalle (Bestand)	<input type="text"/>
absehbarer energetischer Sanierungsbedarf (Bestand)	<input type="text"/>
Geschosshöhen, Fassaden-Gesamthöhe, Erfordernis von Zwischenfixierungen der Begrünung (Eigengewicht und Windangriff) bei großen Wandhöhen	<input type="text"/>

gestalterische Merkmale, Gliederung, Materialien und Farben der Fassade in Bezug zur Gestaltung (Flächenwahl, Pflanzenwahl, Systemwahl)	<input type="checkbox"/>
Aufheizung dunkler Wandoberflächen, insbesondere Metallfassaden, sowie dunkler Putzschichten auf Wärmedämmung (geringe Wärmeableitung)	<input type="checkbox"/>
Bauweise und Montagefähigkeit der zu begrünenden Wandflächen	<input type="checkbox"/>
Fugensituation, Homogenität der Fläche, Schadensfreiheit, Stabilität und chemische Oberflächen-Merkmale wie z.B. biozidhaltige Anstriche oder elastische Wandbeschichtungen mit der Folge der Anlösung und des Unterkriechens durch Saug- oder Haftwurzeln bei Direktbegrünung	<input type="checkbox"/>
bei bodengebundenen Systemen: ggf. längerfristig bevorstehende Gebäude-Trockenlegung mit Freilegung der Kelleraußenwände	<input type="checkbox"/>
Platzbedarf für Konstruktionselemente einer separaten Begrünungsebene	<input type="checkbox"/>
Beachtung von Stellflächen für Wartungsgerät und -Gerüst. Bei Erstellung wandgebundener Systeme: Standort für Steiger bzw. Scherentisch und Lagerort für Materialanlieferung, Standort für spätere Wartung/Pflege	<input type="checkbox"/>
Lage und Ausbildung erforderlicher Begrenzungen der Wuchsausbreitung wie z.B. über Grundstücksgrenzen, an Dachrändern, Fenstern, Türen, offenen regenableitenden Bauteilen, Flächen zur aktiven bzw. passiven Solarenergie-Gewinnung ohne saisonale Verschattung	<input type="checkbox"/>
besondere Stabilität der Wuchskonstruktion, ihrer Befestigungen und der überwachsenen Bauteile bei Pflanzenwahl von Starschlingern (Kraftangriff mehrere kN bis Tonnen) bei bodengebundenen Begrünungstechniken	<input type="checkbox"/>
Anordnung und Größe geplanter Flächen zur Solarenergiegewinnung mit Überlagerung einer saisonalen Verschattung durch laubabwerfende Pflanzen, wie z.B. vor einer transluzenten Wärmedämmung (TWD),	<input type="checkbox"/>
Möglichkeit einer kühlen jedoch frostfreien Regenwasser-Bevorratung mit Überlauf vorzugsweise zur Versickerung (alle Systeme)	<input type="checkbox"/>
Möglichkeit einer frostfreien Unterbringung der Zentrale einer automatischen Bewässerungsanlage mit Nährstoff-Dosieranlage bei wandgebundenen Begrünungssystemen, Möglichkeit zur Abführung von überschüssigem Wasser unterhalb der Begrünungsebene	<input type="checkbox"/>
in der Wand befindliche Abluft- bzw. Abgas- oder Dampf-Auslässe	<input type="checkbox"/>
auf der Außenwand geführte Kabel (Antennen, Telefonfestnetz, Außenbeleuchtungen)	<input type="checkbox"/>

Tab. 23: Einflussfaktoren aus eigenen Fassadenflächen (© Nicole Pfoser 5/2012)

7.1.5 Kriterien zu rechtlichen Gegebenheiten und Sicherheitsbestimmungen (je nach örtlicher Gesetzeslage und Rechtsprechung bzw. Normungen)

Begrünung grenzständiger Wände: Pflanzenstandort und dessen Zugänglichkeit auf öffentlichem Gelände bzw. Privatgelände: Zulassungsvoraussetzungen, Auflagen (z.B. regelmäßige Pflanzenwartung) und Haftungsfragen, Pflegehäufigkeit pro Jahr. Alternative: unbefristetes Wegerecht für Pflege- und Wartungsarbeiten	<input type="checkbox"/>
Rechtsvorbehalt einer späteren Wegnahme der Begrünung	<input type="checkbox"/>
Zugänglichkeit für Rückbau und Erneuerung der Fassadenbegrünung	<input type="checkbox"/>
Klärungen bezüglich der eigenen Begrünung fremder grenzständiger Wandflächen wie z.B. Garagen, Brandwände von Gebäuden, Lagerhallen, Industriebauten, Sichtschutz-Zäune, Grenzmauern, Schuppen usw. gemäß Länder-Nachbarrecht oder privatrechtlicher Vereinbarungen	<input type="checkbox"/>
Zulassung, Ausmaß und Sicherheit von Pflanzenüberhängen über öffentlichen Geh- und Verkehrsflächen	<input type="checkbox"/>
Beschattung benachbarter Gebäudeflächen (z.B. Balkone, Loggien)	<input type="checkbox"/>
Beschattung benachbarter Flächen der Solarenergie-Gewinnung durch das Begrünungsvorhaben	<input type="checkbox"/>
Anleiterbarkeit und Freihaltung des „zweiten Rettungswegs“ (Fensteröffnungen, Fachdächer) des Brand- und Katastrophenschutzes	<input type="checkbox"/>
Problem der Zugänglichkeit zu giftigen Pflanzenbestandteilen bei anzunehmender Gefahr für Kleinkinder (z.B. angrenzende Kindergarten-Freifläche, Spielplätze, Krankenhaus-Freianlagen) gemäß den GUV-Richtlinien	<input type="checkbox"/>
Problemeinschätzung der Aufstiegshilfe (Absturzhöhe) von Klettergerüsten mit Horizontalstäben im allgemeinen und in besonders geschützten Bereichen (Kindergärten, Horte, Grundschulen)	<input type="checkbox"/>
statische Prüfung von lastaufnehmenden Bauteilen wie z.B. der Pflanzen-Tragkonstruktion und der aufnehmenden Unterfassade wegen zusätzlicher Krafteinleitung und Kraftweiterleitung (Eigengewicht, Fruchtlast, Schneelast, Eislust, Windlast)	<input type="checkbox"/>
Prüfung der Brandlast (Trockenmasse der Begrünung)	<input type="checkbox"/>
Prüfung der Brandüberschlag-Gefahr in Grenzbereichen	<input type="checkbox"/>
Prüfung des Einbindungserfordernisses von Hilfs- und Versorgungsbauteilen in die Gebäude-Blitzschutzanlage	<input type="checkbox"/>
Einhaltung verbindlicher Wärmeschutzverordnungen durch wärmebrückenreduzierte Montagetechniken im Bereich der Gebäude-Dämmungsebene	<input type="checkbox"/>
Berücksichtigung bei der Eingriffs- und Ausgleichsberechnung im Zuge eines Baugenehmigungsverfahrens	<input type="checkbox"/>
ggf. Aufnahme der energetischen Wirkung einer ganzjährigen Fassadenbegrünung in der Berechnung zum Gebäude-Energiepass	<input type="checkbox"/>

Tab. 24: Rechtliche Gegebenheiten und Sicherheitsbestimmungen (© Nicole Pfoser 5/2012)

7.1.6 Empfehlung von Handlungsschritten zu Planung/Realisierung (siehe auch Kapitel 2.9)

Entscheidung der Begrünungstechnik wie z.B. Direktbegrünung, Begrünung mit eigener Wuchshilfe als bodengebundene Fassadenbegrünung oder Systemwahl aus den wandgebundenen Begrünungstechniken bzw. einer Mischform	<input type="checkbox"/>
bei Neubau oder Sanierung: Klärung/Nutzung des Substitutions-Potenzials von wandgebundenen Techniken: Einsparung der kostenintensiven Sichtfassaden im Deckungsbereich von Begrünung, besonders bei großflächigen Begrünungen	<input type="checkbox"/>
Pflanzenwahl entsprechend der System-Entscheidung, der pflanzenart-spezifischen Wuchsmerkmale und Schadenspotenziale, der ökologischen Kriterien, der gestalterischen Kriterien (Textur, Farben, Sommer-/Winterbild) sowie der angestrebten Dauer bis zur Vollaussprägung des Bewuchses (zB. „sofort“ bei entsprechender Vorkultivierungs-Möglichkeit)	<input type="checkbox"/>
Klärung der pflanzenartspezifischen Benachbarungsfähigkeit bei Kombination verschiedener Pflanzen (Pflanzengesellschaften)	<input type="checkbox"/>
Festlegung der Pflanzabstände nach artspezifischen Kriterien	<input type="checkbox"/>
Pflanzenart- und systemspezifische Gestaltung der bodengebundenen Fassadenbegrünung, Gliederung, ggf. Steuerung der Wuchsform, Festlegung erforderlicher Wuchsbegrenzungen	<input type="checkbox"/>
Einholung der statisch relevanten Tragwerks-Berechnungen für die Kräfteeinleitung und Kräfteweiterleitung sowie ggf. für das Klettergerüst oder für das wandgebundene System und seine Tragkonstruktion	<input type="checkbox"/>
Gestaltung des Klettergerüsts, unter Umständen als klappbare Abschnitte bei absehbarem Renovierungserfordernis der Gebäudefassade. Dimensionierung des Klettergerüsts anhand von Exposition, Größe und Bauweise, der pflanzenartspezifischen Anforderungen und dem Maximalgewicht der örtlich möglichen Pflanzenwahl	<input type="checkbox"/>
alternativ: Gestaltung des fassadengebundenen Wuchsbehälter-Systems unter Berücksichtigung des angestrebten architektonischen Gesamtbildes bzw. bei Bestandsbauten der angestrebten Fassadengliederung	<input type="checkbox"/>
bei wandgebundenen Lösungen: Klärung der Lage und Zugänglichkeit der zentralen Bewässerungstechnik und der Nährstoff-Versorgung	<input type="checkbox"/>
Einholung der behördlichen Genehmigung der Tragwerksberechnung und der behördlichen bzw. privatrechtlichen Genehmigungen zur Nutzung des eigenen bzw. des fremden Grundstücks gemäß der örtlichen Rechtslage	<input type="checkbox"/>
interdisziplinäre Ausführungsplanung, Leistungsbeschreibung und pflanzengerechte Terminplanung	<input type="checkbox"/>
Einholung von Angeboten der Gartenbaufirmen bzw. der Systemlieferanten oder der erforderlichen Einzelfirmen. In der Leistungs-Beschreibung Aufforderung zu einer gemeinsamen Ortsbesichtigung vor Angebotsabgabe. Vertragsgrundlage (z.B. VOB) erwähnen und exakt einhalten, Gewährleistungsfrist gem. VOB/B §13 festlegen. Klärung von Rückfragen zur Leistungsbeschreibung allen Anbietern zur Verfügung stellen.	<input type="checkbox"/>

Tab. 25: Empfehlungen von Handlungsschritten zu Planung/Realisierung (© Nicole Pfoser 5/2012)

Angebots-Auswertung/Leistungs- und Kostenvergleich	<input type="text"/>
Nachverhandlung zu Leistungen, Kosten, Gewährleistungsdauer und -Umfang soweit erforderlich und zulässig. Schriftliche Auftragserteilung mit verbindlicher Terminvereinbarung. Falls vereinbart Anzahlung auf den Materialwert	<input type="text"/>
örtliche Vorbereitung der zu begrünenden Wände/Fassaden und des Vorfelds. Baustelleneinrichtung und -Sicherung, Antrag auf Gehsteigsperrung und -Umleitung durch ausführende Firma. Fotografische Beweissicherung des Standes	<input type="text"/>
örtliche Ausführung, Bauüberwachung, Versorgung des lagernden Pflanzenmaterials mit Wasser und Nährstoffen. Erstversorgung der Neupflanzung	<input type="text"/>
Abnahme des Bepflanzungs-Systems zusammen mit Vertreter der ausführenden Firmen, ggf. Funktionsprüfung der Versorgungssysteme. Protokollerstellung, Festhalten des Gewährleistungsbeginns und -Endes sowie etwaiger Abnahme-Vorbehalte. Fotografische Beweissicherung, Unterschriften. Übergabe der Herstellerdaten, der Pflanzenliste, der Pflegeanleitung(en) und ggf. der Gewährleistungsbürgschaft. Bei Mangelfreiheit Teilzahlung gemäß Vertrag	<input type="text"/>
Abschluss eines Wartungsvertrages (vom Tag der Abnahme bis mindestens über die vereinbarte Gewährleistungsdauer) mit der ausführenden Firma bzw. den Firmen	<input type="text"/>
Nachabnahme nach Ablauf der Anwuchszeit, ggf. Verlangen der Nachbesserung, bei Mangelfreiheit Teilzahlung gemäß Vertrag	<input type="text"/>
Zwischenbegehung und Kontrolle aller Pflanzungen und Versorgungssysteme etwa nach der Hälfte der Gewährleistungsdauer, ggf. Reklamation und Verlangen der Nachbesserung	<input type="text"/>
Begehung und Kontrolle rechtzeitig vor dem Ablauf der Mängel-Verjährungsfrist mit den ausführenden Firmen, Protokollierung, fotografische Beweissicherung, Unterschriften. Bei Mangelfreiheit Restzahlung gemäß Vertrag und Rückgabe von Gewährleistungsbürgschaften an die ausführenden Firmen	<input type="text"/>

7.2 Förderungen und Forderungen

Förderungen

Verankerung in der Bauleitplanung:

Über den Bebauungsplan (B-Plan) können von Städten und Kommunen Gebäudebegrünungen gefordert werden. Dies ist bereits seit langer Zeit ein wirksames Mittel, um Dach- und Fassadenbegrünungen im städtischen Raum zu sichern und Versiegelungsgrade zu minimieren [36, S.19].

Über das Baugesetzbuch (BauGB) können §9 (1) Nr. 25 Gebäudebegrünungen im Einzelfall oder nach §31 (2) als Ausgleichsmaßnahme festgesetzt werden [78]. Gibt es eine Festsetzung von Gebäudebegrünung innerhalb eines Bebauungsplangebietes, so ist der Bauherr verpflichtet, dies umzusetzen [36].

Eingriffs-Ausgleichsregelung:

Wenn eine Bauleitplanung eine erhebliche Beeinträchtigung des Landschaftsbildes oder Naturhaushaltes nach sich zieht, kommt die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung zur Anwendung. Diese fußt auf dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sowie §1 (5) BauGB.

Nach §1 (5) BauGB muss in Bauleitplänen eine „nachhaltige städtebauliche Entwicklung“ gewährleistet werden. Dies bedeutet, die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen für künftige Generationen in Einklang zu bringen, um eine „menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen“. [205] Um die Auswirkungen auf den Naturhaushalt durch Baumaßnahmen zu verringern, können Kommunen und Städte sogenannte Ausgleichsmaßnahmen fordern. Bei Stadtplanungen, die z. B. einen hohen Versiegelungsgrad eines Gebiets mit sich bringen, kann über den Bebauungsplan die Umsetzung von Fassaden- und Dachbegrünungen als

Ausgleich festgesetzt werden.

Die Stadt Mainz schreibt z. B. über eine Dachbegrünungssatzung für Innen- und Neustadt unter bestimmten Maßgaben eine Dachbegrünung vor. Die Satzung hat den rechtlichen Charakter eines Bebauungsplans. Wenn durch genehmigungspflichtige Maßnahmen Dachflächen neu geschaffen oder wesentlich verändert werden, kommt die Satzung zur Wirkung. Flachdächer und flachgeneigte Dächer (bis zu 20°), die zusammenhängend größer als 20 m² sind, sind demnach (mindestens extensiv) zu begrünen. Wenn die flachen oder flachgeneigten Dächer Dachbegrünungen nicht zulassen, ist ersatzweise eine Begrünung in Form begrünter horizontaler Rankgerüste und/oder eine Fassadenbegrünung umzusetzen. Vor der Begrünungspflicht haben Maßnahmen zur Nutzung von Sonnenenergie und Dachöffnungen Vorrang.[206]

Weiterhin können städtebauliche Verträge Gebäudebegrünung verpflichtend fordern.

Die Forderungen auf städtischer Ebene sind wichtige Instrumente, um Gebäudebegrünung im Stadtraum zu verankern und damit die Vorteile für das Stadtklima zu nutzen. Hier sind die Städte aufgefordert, Gebäudebegrünung neben energetischen Maßnahmen vermehrt in ihren Masterplänen zu berücksichtigen, und damit ein Mitdenken von Begrünung von Anfang der Gebäudeplanung an zu forcieren. Weitere Instrumente sind hierfür in Tabelle 26, S. 203 aufgeführt.

Direkte Förderungen

Subventionen:

Man kann in eine direkte und eine indirekte Förderung unterscheiden.

Unter einer direkten Förderung versteht man Fördermittel (Subventionen), welche von Städten oder Gemeinden für Gebäudebegrünungen zur Verfügung gestellt werden. Die Förderungen und Förderbedingungen sind jedoch sehr verschieden. Die kommunalen Verwaltungsbehörden (Bauamt, Grünflächenamt, Grünordnungsamt, Amt für Umweltschutz) können hier Auskunft geben. Zudem stellt die Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB) auf ihrer Homepage eine Übersicht zu direkten Zuschüssen, getrennt nach Dach- und Fassadenbegrünungen, einzelner Städte und Kommunen bereit.
(-> www.fbb.de/dachbegruenung/foerderung/)

Konkrete Beispiele zu Forderungen und Förderungen von Gebäudebegrünung können dem Kapitel 8.2 für ausgewählte Städte entnommen werden.

Indirekte Förderungen

Niederschlagswassergebühr:

Indirekt Förderungen können über die Senkung der Niederschlagswassergebühren durch begrünte Dächer erfolgen. Die Niederschlagswassergebühr wird im Falle der sogenannten „gesplitteten Abwassergebühr“ für das Einleiten von Regenwasser in die Kanalisation separat erhoben. Durch das Rückhalten des Niederschlags bei Starkregenereignissen kann die Kanalisation entlastet werden. Über die Verringerung der versiegelten Flächen und das teilweise Rückhalten des Niederschlags leisten Dachbegrünungen hier einen wichtigen Beitrag für die Regenwasserbewirtschaftung. Dies wird durch Städte und Kommunen finanziell honoriert. Nach dem Verursacherprinzip werden die Kosten für das Einleiten des Regenwassers gemindert.

(siehe auch Kap. 4.7)

Die Stadt München beispielsweise erhebt derzeit eine Niederschlagswassergebühr von 1,30€/m². „Bei begrünten Dächern ab 10 cm Aufbaudicke und bis zu 15 Grad Dachneigung ist eine Reduzierung von bis zu 70 % der Niederschlagswassergebühren für diese Flächen möglich.“ [179x]

Weitere Rahmenbedingungen werden in Kapitel 5.1 dargestellt.

Förderung der KfW-Bankengruppe:

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet ein umfangreiches Programm zur Förderung von energieeffizienten Neubauten und Sanierungen sowie Maßnahmen der regenerativen Energieerzeugung. Private Bauherren sowie Unternehmen werden über zinsverbilligte Darlehen und Zuschüsse unterstützt.

Im Rahmen der Programme können Dachbegrünungen indirekt mitgefördert werden. In dem Programm „Energieeffizient Sanieren“ werden Einzelmaßnahmen wie z.B. die Dämmung von Dach- oder Wandflächen oder ein energetisches Gesamtkonzept, das den EnEV-Standard übererfüllt (KfW-Effizienzhaus) gefördert. Hier sind alle Maßnahmen zur Effizienzsteigerung - unter Erfüllung der von der KfW gestellten Anforderungen - förderfähig. Begrünungssysteme, die den Wärmeschutz verbessern können hier mit berücksichtigt werden. Dies betrifft z.B. Systeme mit einer integrierten Wärmedämmung als Drainagesystem, die einen nachweislichen Wärmeschutz gem. bauaufsichtlicher Zulassung erfüllen [36x]. In dem Programm „Erneuerbare Energien - Standard“ wird die Errichtung von Photovoltaikanlagen gefördert. Darunter ist alles förderfähig, was

zwingend notwendig ist, um die Anlage zu montieren und deren Standsicherheit zu gewährleisten. Begrünungsfirmen bieten Flachdachbegrünungssysteme für aufgeständerte Photovoltaikanlagen als Kompaktsystem an [180x]. Gewöhnlich ist für die statische Sicherung gegen Windlasten bei PV-Aufdachanlagen eine Verankerung auf dem Tragsystem oder eine Beschwerung mit Auflasten, wie Kies oder Betonplatten erforderlich. Das Substrat der Dachbegrünungssysteme kann die Auflast für die Anlagen ersetzen. Aufgrund sich häufig ändernder Fördermöglichkeiten und Randbedingungen, ist immer auf die aktuellen Angaben der

KfW-Bankengruppe zurückzugreifen. (-> www.kfw.de)

In der folgenden Tabelle sind die Förderungen und Forderungen nochmals für die verschiedenen Handlungsebenen Gesamtstadt, Quartier und Gebäude getrennt dargestellt und um weitere Instrumente ergänzt. Die Tabelle wurde ursprünglich für die Nutzung erneuerbarer Energien erstellt und wurde um die Instrumente der Begrünung ergänzt. Sie bietet damit ein ganzheitliches Instrumentarium zur Verankerung energetischer Maßnahmen und Gebäudebegrünung in die Stadt- und Gebäudeplanung.

Tab. 26: Forderungen und Förderungen - Handlungsebenen und verfügbare Instrumenten zur Stärkung von „Energie“ und „Grün“ (Pfoser, N. 2010, nach: Genske, D.D./Jödecke, T./Ruff, A. (2008))

Forderungen und Förderungen - Handlungsebenen und verfügbare Instrumenten zur Stärkung von „Energie“ und „Grün“

		Gesamtstadt (Umland)	Quartiere	Grundstücke/Gebäude
Politik und Verwaltung		<ul style="list-style-type: none"> • Integrierte Stadtentwicklungspläne • Naturschutz, Klimaschutz- und Energiekonzepte • Politische Beschlüsse (z.B. Selbstverpflichtung im Begrünungsbereich) • Einführung von Zertifizierungssystemen (z.B. DGNB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Energie- und Begrünungskonzepten für Insellösungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Neubau • Gebäudesanierung • Energetische Sanierung
		Initiierung von Pilotprojekten mit Vorbildcharakter		
		Information / Öffentlichkeitsarbeit / Netzwerkbildung relevanter Akteure / Bürgerbeteiligung		
Planung und Recht	formell	<ul style="list-style-type: none"> • Fachprogramme bzw. -pläne auf Bundes- und Landesebene • Flächennutzungspläne • Landschaftspläne • Regionalpläne (Vorranggebiete) • Satzungen zum Anschluss- und Benutzerzwang 	<ul style="list-style-type: none"> • Städtebauliche Verträge • Bebauungspläne • Grünordnungspläne • Städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen • Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen • Gestaltungssatzungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökologische Gebäudestandards • Objekt-/Vorhabensplan auf der Genehmigungsebene • Ausführungsplanung zur Projektrealisierung • Privatrechtliche Verträge • Denkmalschutz (Gesetze der Länder)
	informell	<ul style="list-style-type: none"> • Zukunftswerkstätten • Masterpläne • Flächenmanagement/Flächenpools 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektbezogener Planungs- und Diskussionsprozess in Kooperation mit den relevanten Akteuren (Planungswerkstätten) • Quartiersmanagement • Modelle zur Stärkung der Quartiere 	<ul style="list-style-type: none"> • Projektbezogener Planungs- und Diskussionsprozess in Kooperation mit den relevanten Akteuren
Finanzierung und Wertschöpfung		Kommunale Förderprogramme, Landesprogramme, Städtebauförderung, nationale Klimaschutzinitiative, nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, KfW-Förderprogramme, Innovative Anreize (unentgeltliche Förderung), Stützung Pionierstatus, EU-Programme		

7.3 Nachhaltigkeitszertifikate DGNB, BNB, BREEAM, LEED

Um die Planungsqualität hinsichtlich der Nachhaltigkeit von Gebäuden zu bewerten und zu sichern, bieten Zertifizierungssysteme Werkzeuge und Auszeichnungsmöglichkeiten. Der Einfluss von Gebäudebegrünung ist in den Nachhaltigkeitszertifikaten meist nicht explizit benannt. Dennoch kann die Gebäudebegrünung in den verschiedenen Kategorien zu einer verbesserten Nachhaltigkeitsbewertung beitragen. Im Folgenden werden die drei gängigsten Zertifizierungssysteme vorgestellt und der Einfluss der Gebäudebegrünung betrachtet.

DGNB

Das Nachhaltigkeitszertifikat der Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) wurde ab 2007 entwickelt. Es wird als erstes Zertifizierungssystem der zweiten Generation bezeichnet, da es Aspekte (z.B. den Lebenszyklus) berücksichtigt, die in anderen Systemen (BREEAM, LEED) nicht enthalten sind. Bei der Bewertung von Gebäuden werden sechs Themenfelder (Hauptkriteriengruppen) in die Betrachtung einbezogen: Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, soziokulturelle und technische Qualität, Prozessqualität sowie Standortqualität. Die Bewertung findet in den drei Zertifizierungsstufen Bronze (Gesamterfüllungsgrad > 50 %), Silber (> 65 %) und Gold (> 80 %) statt. [183x;] (-> www.dgnb.de)

In dem Bewertungssystem der DGNB kann Gebäudebegrünung einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit eines Gebäudes leisten. Die vorteilhaften Eigenschaften der Begrünung, wie die Verbesserung der Aufenthaltsqualität, die Reduktion des Abwasseraufkommens, die Reduktion versiegelter

Flächen, die positive Wirkung auf die Lebensdauer, besitzen in vielen Bereichen des Bewertungssystems einen positiven Einfluss. In Tabelle 27, S. 205 sind die Kategorien, in denen Gebäudebegrünung eine Auswirkung auf die Bewertung besitzen kann, dargestellt.

BNB

Das BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude) des BMVBS wurde 2010 gemeinsam mit dem neuen Leitfaden Nachhaltiges Bauen eingeführt und ist für alle Bundesbaumaßnahmen in Deutschland verbindlich. Es beschränkt sich vorerst auf nationale Verwaltungs- und Bürogebäude (Neubau), da die Bewertungsgrundlagen und -methoden in der Regel auf Grundlage der derzeit gültigen deutschen Gesetze, Richtlinien und Verordnungen sowie nationalen Normen und Leitfäden für den Nichtwohnungsbau entwickelt wurden. Da das System gemeinsam mit der DGNB entwickelt wurde, lehnt es sich an deren Aufbau an. [183x] (-> www.nachhaltigesbauen.de)

BREEAM

Europaweit hat weiterhin noch Großbritannien eine Vorreiterstellung durch deren Zertifizierungssystem BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method). Die Zertifizierungskriterien sind denen der DGNB sehr ähnlich, da das Zertifizierungssystem der DGNB auf BREEAM aufbaut. Die Bewertung findet hier in fünf Zertifizierungsstufen statt: Bestand (Gesamterfüllungsgrad > 30 %), Gut (> 45 %), Sehr gut (> 55 %), Exzellent (> 70 %) und Herausragend (> 85 %). [183x]

In diesem Zertifizierungssystem kann die Gebäudebegrünung u.a. über



Abb. 196: Themenfelder im Zertifizierungssystem der DGNB (© Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.)

die Bewertung der Standortökologie (Erhöhung der ökologischen Wertigkeit; Langfristiger Einfluss auf die Biodiversität) sowie den Bereich der Umweltverschmutzung (Minderung der Überschwemmungsgefahr) Einfluss nehmen. [36x, S.32]

LEED

In den USA hat sich auf Grundlage von BREEAM das LEED System (Leadership in Energy and Environmental Design) vom USGBC (U.S. Green Building Council) entwickelt. Die Nachhaltigkeit von Gebäuden wird dabei in sieben Kategorien bewertet: Nachhaltige Baugelände, effiziente Wassernutzung, Energie und Atmosphäre, Materialien und Ressourcen, Komfort und Innenraumklima,

regionale Schwerpunkte, Innovationen. LEED hat sich in den USA als Zertifizierungssystem etabliert, wird aber zunehmend international angewandt und in nationale Systeme umgesetzt. [183x] Die Bewertung wird in folgende Stufen unterschieden: Zertifiziert, Silber, Gold und Platin.

Die Gebäudebegrünung kann sich in dem Bereich „Nachhaltiges Baugelände“, in der Kategorie der Grundstücksentwicklung durch Schutz und Wiederherstellung von Biotopen, Maximierung der Freiflächen, Reduktion des Abwasseraufkommens sowie Reduktion des Wärmeinseleffektes auf die Bewertung positiv auswirken. [36x, S.32]

Tab. 27: Darstellung der Berücksichtigung von Gebäudebegrünung im Bewertungssystem der DGNB (FGee, TU Darmstadt, nach: [181] Kruschina, D. (2011))

Berücksichtigung der Gebäudebegrünung am Beispiel des Bewertungssystems der DGNB

Themenfeld Steckbriefnr. / Kategorie	Inhalt	Gebäudebegrünungsbezug
ökologische Qualität		
1-5,10,11 Ökobilanz	• Bewertung von u.a. Umweltpotenzialen und Primärenergiebedarf	• Verwendung von z.T. Recyclingmaterialien. Längere Lebensdauer von Dachbegrünungssystemen im Vergleich zu anderen Dachbelägen (z.B. Bitumendächer) • Geringe Instandhaltung wirkt sich positiv auf die Ökobilanz aus
14 Trinkwasserverbrauch und Abwasseraufkommen	• Ziel: Reduktion des Trinkwasserbedarfs und Abwasseraufkommens	• Positive Bewertung einer geringen Ableitung von Regenwasser in die Kanalisation. (bei Dachbegrünung)
15 Flächeninanspruchnahme	• Ziel: Reduktion von Verkehrs- und Siedlungsfläche	• Gründächer werden als Ausgleichsmaßnahmen für versiegelte Flächen anerkannt.
ökonomische Qualität		
16 Lebenszykluskosten	• Ziel: geringe Lebenszykluskosten	• Investitionskosten von Gründächern sind i.d.R. höher im Vergleich zu konventionellen Systemen • ggf. Vorteile bei Nutzungskosten und Instandhaltungsarbeiten (extensive Begrünung ohne künstliche Bewässerung) • ggf. geringere Austauschzyklen
soziokulturelle und funktionale Qualität		
24 Gebäudebezogene Außenraumqualität	• quantitative und qualitative Bewertung der Nutzung der Außenraumflächen (Dach, Balkone, Loggien, Atrien) • Qualitative Bewertung über: Gestaltungskonzept, Bepflanzung, Ausrichtung, soziokulturelle Nutzung, Verbesserung des Mikroklimas, Ausstattung	• positive Bewertung von Gründächern und Fassadenbegrünung: - Geltung als gestaltete Außenraumflächen - positiver Beitrag zum Mikroklima

08

Beispielprojekte

8. Beispielprojekte



8.1 Hochbauprojekte

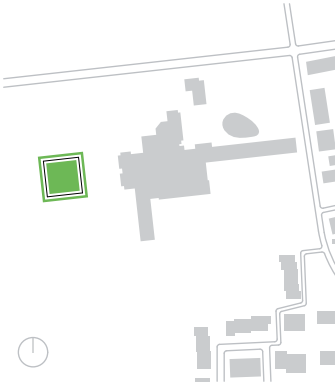
Dieses Kapitel führt die im Leitfaden beschriebenen Einzelsysteme des energiesparenden Bauens und der Gebäudebegrünung in angewandten Beispielen zusammen. Dabei wurde der Schwerpunkt auf besonders gelungene typprägende Realisationen hinsichtlich der Synergien-Vielfalt aus Begrünungsanwendungen und energetischen Einsparungseffekten gelegt. Ein wichtiges Kriterium stellte zugleich die konstruktive Umsetzung und ihre Übereinstimmung mit den Innen- und Außenraumqualitäten dar.

Ergänzend zu den zahlreichen im Leitfaden gezeigten vorbildlichen Projekten werden anhand der nachfolgenden Beispiele die bauliche Integration von Gebäudebegrünung und nachhaltiger Gebäudekonzeption bis zu ihren konstruktiven Lösungen dargestellt. Das Zusammenspiel von Architektur, Energie und Botanik eröffnet neue Zukunftsmöglichkeiten für ein nachhaltiges Bauen. Es geht dabei darum, die Komponenten des Naturelements, der Ressourcenschonung und der Lebens-

qualität zu einer zukunftsweisenden Architekturform zu vereinen.

Anhand der Projektbeispiele lassen sich konkrete Lösungswege nachvollziehen. Der Einfluss des jeweiligen Systems auf das gesamte Erscheinungsbild des Gebäudes wird dabei deutlich. Die Aufgabenstellungen und deren Lösungen in der Praxis können nachvollzogen werden. Sie können die eigene Arbeit inspirieren und zugleich für Bauherrn und Planer eine nützliche Entscheidungshilfe bieten.

Beispielprojekte



Standort Frankfurt am Main/Deutschland
Bauherr Philosophisch-Theologische Hochschule Sankt Georgen e. V
Architekt Kissler + Effgen Architekten BDA
Landschaftsarchitekt Bierbaum Aichele Landschaftsarchitekten
Begrünung August Fichter GmbH, Edelstahlseilnetz Carl Stahl GmbH
Größe BGF 3540 m ²
Fertigstellung 2004
Bausumme 6.2 Mio. EUR
Art der Fassadenbegrünung Bodengebundenen System
Art der Dachbegrünung extensiv
Winterhärtezone Z7b: -14,9 bis -12,3 °C
Energetische Synergie saisonale Verschattung, sommerlicher Kühlungseffekt, winterlicher Eintrag solarer Wärme, Regenwasserrückhalt
Energetische Maßnahmen BHKW, Konditionierung der Zuluft über Erdkanal

8.1.1 Hörsaal- und Institutsgebäude, PTH St. Georgen

Das neue Hörsaalgebäude der PTH (Philosophisch- Theologische Hochschule) St. Georgen, wurde als Ersatzbau für nicht mehr zu renovierende Bauten aus den 50 er Jahren benötigt. Der Entwurf von Kissler + Effgen Architekten wurde bewusst an einer Schnittstelle zwischen dem Mitte des 19. Jh. in Anlehnung an englische Landschaftsgärten geschaffenen Park und dem bestehenden Gebäudekomplex positioniert.

Verschattung und Atmosphäre

Das Konzept macht den Bezug von Innen- und Außenraum zum Thema, wobei ein als Rankhilfe dienendes Stahlnetz eine Zwischenzone von Gebäude und Park schafft. Es dient dabei nicht nur als Absturzsicherung für die umlaufenden Austritte, sondern auch der Verschattung der dahinter liegenden Fenster. Das im Sommer dichte Blattwerk der bodengebundenen Begrünung bietet neben energetischen und klimatischen Vorteilen auch atmosphärische Qualität für die Benutzer der Balkone. Bis die jeweils an den Gebäudeecken

wachsenden Pflanzen das Gebäude gänzlich umschließen wird es voraussichtlich noch zwei Jahre dauern.

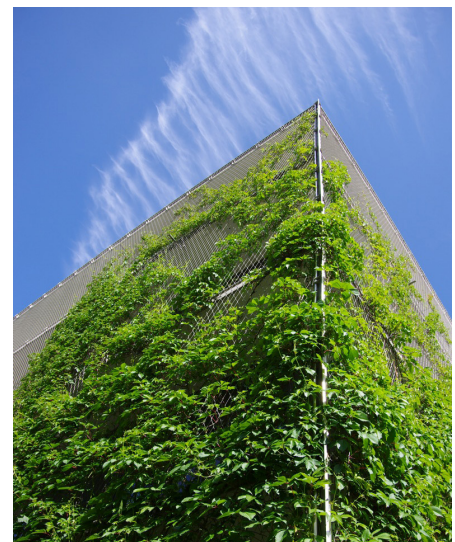
Lowtech statt Hightech

Um auf eine technische Lösung bei der Entrauchung zu verzichten, erhalten die mit den Treppenkernen verbundenen Balkone als Fluchtweg eine zusätzliche Nutzung.

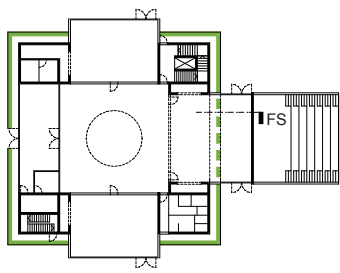
Im Inneren sind die massiven Ecken mit Archiven, Treppenhäusern und Neben- nutzungen belegt, während sich die Hauptnutzungen in der Mitte konzentrieren. Ein Atrium bildet den zentralen Kommunikationsraum und ermöglicht neben besserer Belichtung auch eine gezielte Fortführung der erwärmten Luft, während von unten über einen Erdkanal vorkonditionierte Frischluft zugeführt wird. Ergänzend zur Fassadenbegrünung verfügt das Gebäude über eine extensive Dachbegrünung, die das Bild des grünen Würfels vervollständigt. [187]



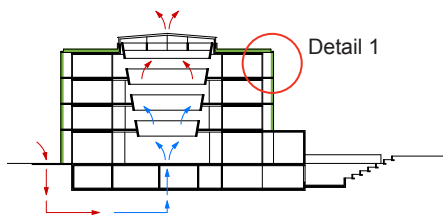
198



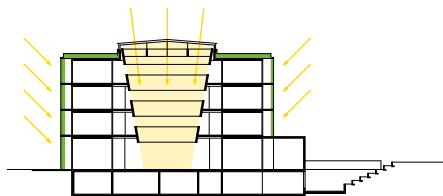
199



Grundriss EG - Begrünung, o. M. 200



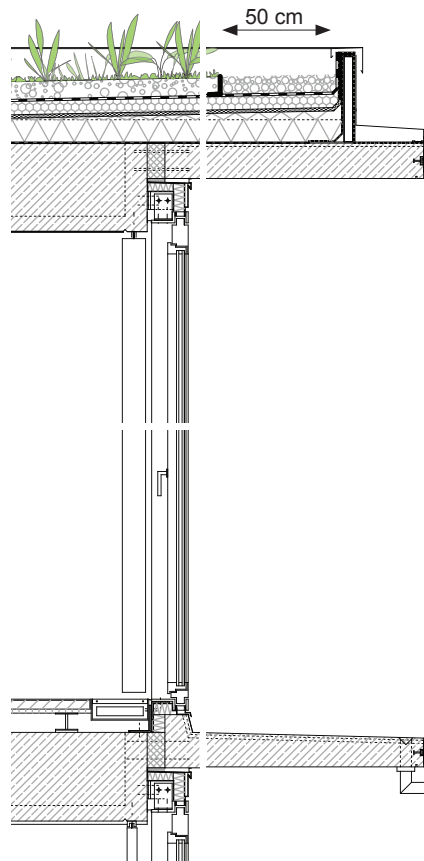
Schnitt - Zuluftkonditionierung, o. M. 201



Schnitt - Natürliche Verschattung, Tageslichtführung, o. M. 202



204



Detail - Schnitt Fassade/Dach M 1:33 203

Dachaufbau

- Begrünung extensiv
- 80 mm Substrat
- Wurzelschutz
- 60 mm druckfeste Dämmung
- Dichtungsbahn dreilagig
- 100 mm Gefälledämmung
- Dampfsperre
- 400 mm Stahlbetondecke

Fassadenaufbau

- Begrünung selbstklimmend
- Ranknetz Edelstahl
- Stahlbetonumgänge
- Isolierverglasung

Abb. 198: PTH St. Georgen (Foto: Nicole Pfoser 2013)

Abb. 199: Eckbereich der Begrünung (Foto: Nicole Pfoser 2013)

Abb. 200: Grundriss EG - Begrünung (FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen Architekten BDA)

Abb. 201: Schnitt - Zuluftkonditionierung (FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen Architekten BDA)

Abb. 202: Schnitt - Natürliche Verschattung, Tageslichtführung (FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen Architekten BDA)

Abb. 203: Detail - Schnitt Fassade/Dach (FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen Architekten BDA)

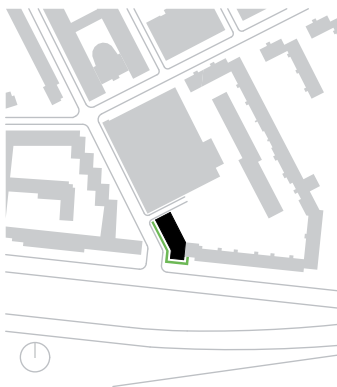
Abb. 204: Laubengang mit sichtbarem Verschattungsanteil auf der Wand (Foto: Nicole Pfoser 2013)

Abb. 205: Ranknetz, Glasfläche mit Verschattung und Durchblick (Foto: Nicole Pfoser 2013)



205

Beispielprojekte



Standort

Wien/Österreich
Stadt Wien
Magistratsabteilung 48

Begrünungsfirma

System Grünwand
Kooperation: Tech Metall GmbH
und Dachgrün GmbH & CoKG

Monitoring

Universität für Bodenkultur Wien

Größe

BGF 4675 m²

Fertigstellung

2010

Bausumme

500 EUR pro m² Fassadenfläche

Art der Fassadenbegrünung

Wandgebundenes System:
lineare Pflanzbehälter mit
integrierter Bewässerung

Winterhärtezone

Z7b: -14,9 bis -12,3 °C

Energetische Synergie

Regenwasserrückhalt,
sommerlicher Kühlungseffekt,
Verringerung des Windangriffs
und der Oberflächen-Auskühlung
der Gebäudeaußenwand

8.1.2 Zentrale der Magistratsabteilung 48

Die Sanierung eines ungedämmten Ziegelbaus aus den 60er Jahren führte in Wien zu einer in vielerlei Hinsicht gelungenen Lösung. Das Gebäude der Magistratsabteilung 48 ist Pilotprojekt eines Begrünungssystems, das durch den großen Sanierungsbedarf von Nachkriegsbauten ein erhebliches Potenzial aufweist. Die Aufwertung der Fassade hat mit ihrer vollflächigen Begrünung großen Anklang bei den Nutzern und Anwohnern gefunden. Die Stadt konnte zugleich die Energiekosten senken; für die Universität für Bodenkultur Wien bietet sich gleichzeitig ein interessantes Forschungsobjekt.

Einfaches System mit hoher Wirksamkeit

Die vorgehängte Fassadenkonstruktion aus Pflanzrinnen mit integrierter Bewässerung führt seit der Vollaussprägung ihrer Bepflanzung zu einem ansprechenden Fassadenbild, und gleichzeitig zu einer energetischen Aufwertung. Der Systemaufbau der fassadengebundenen Begrünung besteht aus einem Rinnensystem aus nichtrostendem Stahl und

wechselt seine Bepflanzung je nach Vegetationsperiode. In dem unkomplizierten Gesamtaufbau liegt die Stärke des Systems, sie kann Vorbild für unzählige Lochfensterfassaden der Nachkriegsarchitektur sein. Die Pflanzenauswahl ergibt eine pflegeleichte, möglichst selbsterhaltende Mischung aus Kräutern und Gräsern, deren Wuchshöhen von 15 cm bis 60 cm variieren.

Forschung am gebauten Projekt

Neben Temperatur, Luft- und Substratfeuchte werden Aufbau von Biomasse, Strahlungsbilanzen und Wärmedurchfluss (Abb. 207) gemessen. Erste Ergebnisse zeigen eine Absenkung der Oberflächentemperatur im Vergleich zur alten Putzfassade von bis zu 15 °C sowie eine Reduktion der äquivalenten Kühlleistung von 135 kW im Sommer und eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um 50 % im Winter. Der Wasserverbrauch der automatischen Tröpfchenbewässerung liegt bei bis zu 1800 l/Tag. Bedarfsgerechte Steuersysteme helfen, den Verbrauch zu senken. [188]



206



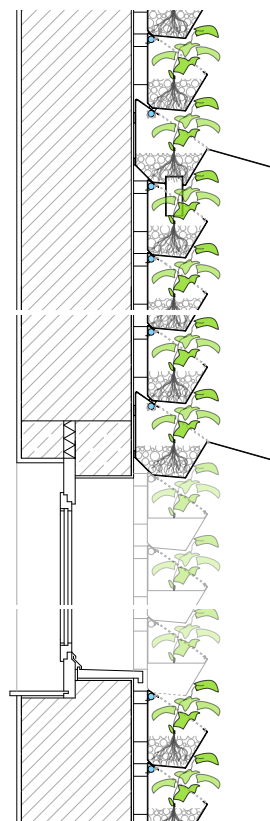
Oberflächentemperatur - Grünfassade (Sommer)

207



Oberflächentemperatur - Nachbargebäude (Sommer)

208



209 Detail - Fassadenschnitt
M 1:33

Fassadenaufbau

- 260 mm Lineare Pflanzenbehälter teilweise mit Brandschürze Edelstahl Materialstärke 1,5 mm Tropfschlauch PE Ø 19 mm
- 60 mm Hinterlüftung
- 480 mm Mauerwerk, einschalig, massiv



210



211

Abb. 206: Fassadenausschnitt (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 207: Thermografieaufnahme des MA 48 im Rahmen des Monitorings der IBLB, Wien (IBLB)

Abb. 208: Thermografieaufnahme der benachbarten Gebäudeaußenwand im Rahmen des Monitorings der IBLB, Wien (IBLB)

Abb. 209: Detail: Fassadenschnitt (FGee/FGe+f, nach Tech Metall Erzeugungs- Handel und Montage GmbH)

Abb. 210: Gesamtansicht MA 48 (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Abb. 211: Begrünungsdetail (Foto: Nicole Pfoser 2012)

Beispielprojekte



8.1.3 Smart ist Grün - IBA 2013 Hamburg

Standort	Hamburg/Deutschland
Bauherr	Behrendt Wohnungsbau KG (GmbH & Co.)
Architekt	zillerplus Architekten und Stadtplaner
Landschaftsarchitekt	Burger Landschaftsarchitekten
Begrünung	Optigrün International AG, Edelstahlseilnetz Carl Stahl GmbH
Größe	BGF 1990 m ²
Fertigstellung	2013
Bausumme	4.4 Mio. EUR
Art der Fassadenbegrünung	Wandgebundenes System in linearen Pflanzbehältnissen
Art der Dachbegrünung	extensiv
Winterhärtezone	Z8a: -12,2 bis -9,5 °C
Energetische Synergie	Verschattung, Kühlungseffekt, winterlicher solarer Wärmegewinn
Energetische Maßnahmen	Solarthermie, Photovoltaik, Lüftungs-Wärmerückgewinnung, effiziente Dämmung, PCM

Das Projekt „smart is green“, von zillerplus Architekten, ist eines der „smart material houses“, die als Teil der „Bauausstellung“ im Rahmen der IBA Hamburg 2013 errichtet wurden. Das Wohngebäude sollte dabei freistehend auf maximal 1000 m² Grundstücksfläche realisiert werden, einen innovativen Materialeinsatz und große Nutzungsflexibilität ermöglichen.

Der fünfgeschossige Entwurf des Münchner Büros mit insgesamt 14 Wohnungen überzeugt mit einem durchdachten Energiekonzept, welches einen nachhaltigen Gebäudebetrieb ermöglicht. Das Projekt wurde als Effizienzhaus Plus mit DENA Gütesiegel ausgezeichnet.

Durchdachtes Energiekonzept

Auffallend sind die Aluminiumpaneele der Fassaden, die im Süden Pflanztröge mit Rankelementen aufnehmen. In ihnen wachsen Kletterhortensien, die durch eine automatisch geregelte Bewässerung versorgt werden. Die Pflanzen dienen der Verschattung der Balkone und der Privatheit der Bewohner.

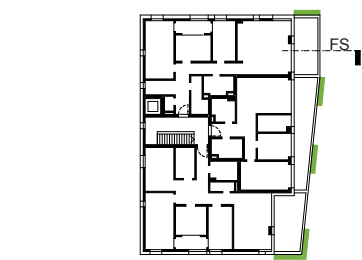
Im Bereich der Ost-, West- und Nordfassade lassen sich Module wahlweise gegen Begrünungselemente oder Photovoltaik-Elemente austauschen. In die Balkonbrüstungen der Südfassade sind Photovoltaik-Paneele integriert, im Bereich der Attika sowie auf dem Dach befinden sich Solarthermieanlagen. Diese können einen Großteil des Heizwärme- und Warmwasserbedarfs abdecken. Darüber hinaus besitzt das Haus PCM-Vorhänge, welche die Wärme der Sonneneinstrahlung speichern können. Der Anschluss an das Wilhelmsburger Nahwärmenetz ist in diesem Zusammenspiel eine konsequente Ergänzung zur Energieerzeugung am Gebäude. Das dezentrale Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung ermöglicht den Verzicht auf Fensterlüftung in den zur Straße gelegenen Fassaden. Die Luft wird dabei über das Dach angesaugt. Ihre Temperatur wird durch die extensive Dachbegrünung anhaltend und wirtschaftlich vorgekühlt. [189]



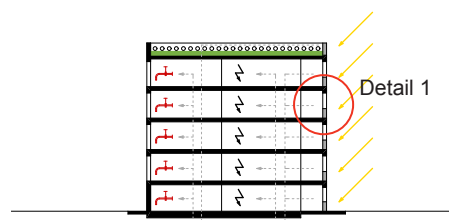
212



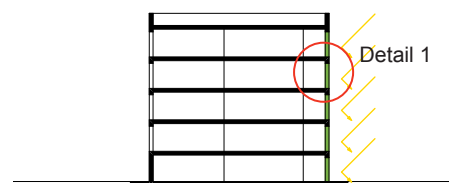
213



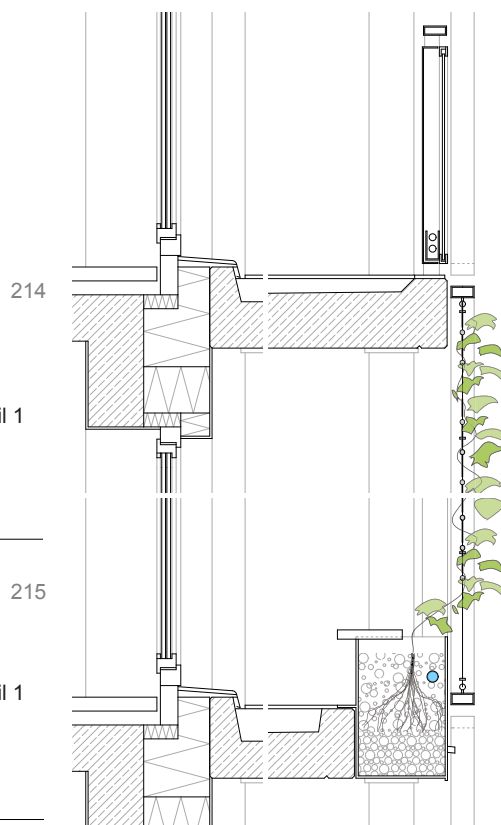
Grundriss OG - Begrünung, o. M.



Schnitt - Energiegewinnung, o. M.



Schnitt - Verschattung, o. M.



214

215

216 Detail - Fassadenschnitt M 1:33

217

Fassadenaufbau

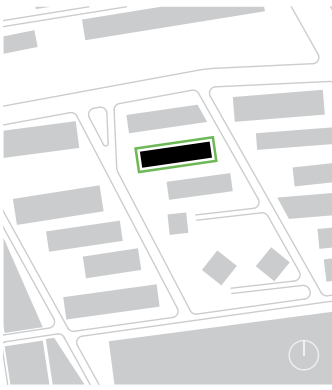
- Gerüstkletterpflanzen
- Ranknetz Edelstahl
- 540 mm Lineare Pflanzenbehälter, Stahl (8mm)
- Alternativ: 110 mm Photovoltaikelement in Brüstung integriert
- Stahlbeton-Umgänge
- Wärmedämmung
- Isolierverglasung



218

- Abb. 212: Smart ist Grün (Foto: © zillerplus Architekten und Stadtplaner 2013)
- Abb. 213: Loggienfassade (Foto: Nathalie Jenner 2013)
- Abb. 214: Grundriss OG - Begrünung (FGee/FGe+f, nach: zillerplus Architekten und Stadtplaner)
- Abb. 215: Schnitt - Energiekonzept (FGee/FGe+f, nach: zillerplus Architekten und Stadtplaner)
- Abb. 216: Schnitt - Verschattung (FGee/FGe+f, nach: zillerplus Architekten und Stadtplaner)
- Abb. 217: Detail - Fassadenschnitt (FGee/FGe+f, nach: zillerplus Architekten und Stadtplaner)
- Abb. 218: Fassadenausschnitt (Foto: Nathalie Jenner 2013)

Beispielprojekte



Standort

Istanbul/Türkei

Bauherr

Tekfen Real Estate Development Co.

Architekt

Molestina Architekten
Swanke Hayden Connell Architects

Landschaftsarchitekt

Lal Gardens & Yesil Vadi
FSWLA Landschaftsarchitekten

Begrünungsfirma

Yesil Vadi

Größe

BGF 9900 m²

Fertigstellung

2011

Bausumme

200 EUR pro m² Fassadenfläche

Art der Fassadenbegrünung

Wandgebundenes System in linearen Pflanzbehältern

Winterhärtezone

Z8: -12,3 bis -6,7 °C

Energetische Synergie

Verschattung, Kühlungseffekt, Regenwasser-Speicherung/-Nutzung

Energetische Maßnahmen

Natürliches Lüftungskonzept über Pflanzen, effiziente Dämmung

8.1.4 Tekfen Levent Ofis

Beim „Levent Green Office Building“ (LGOB) von Molestina Architekten und Swanke Hayden Connell Architects handelt es sich um ein elfgeschossiges Bürogebäude in Istanbul, das als erstes Gebäude der Türkei mit LEED Gold ausgezeichnet wurde und im Jahr 2011 weitere Auszeichnungen erhielt. Neben dem vom Kunden gewünschten Alleinstellungsmerkmal ist die ganzjährige Begrünung des „Levent Green Office Building“ ein integraler Bestandteil des Energiekonzepts.

Mehrschichtige Fassade

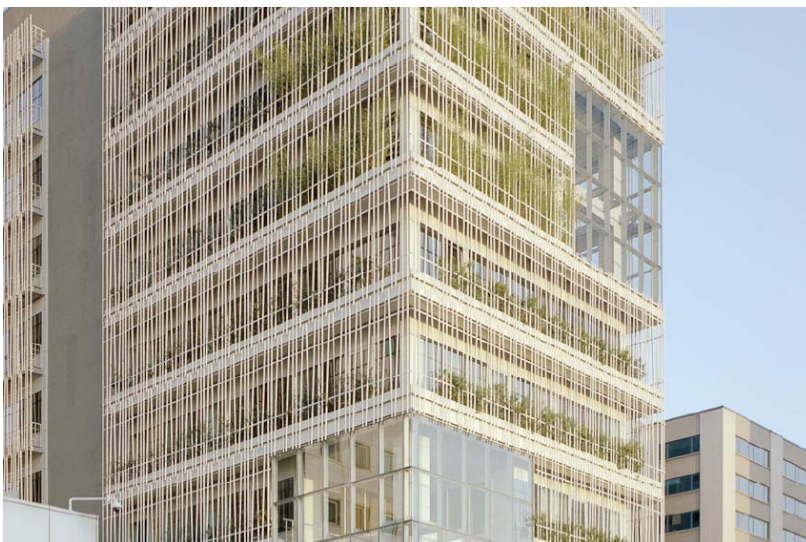
Der dreischichtige Aufbau der Hülle besteht aus der Glasfassade, auf Abstand vorgehängten umlaufenden Pflanzbehältern und vorgehängten Elementen aus unregelmäßig angebrachten Aluminiumprofilen. Die Pflanzen bilden eine Pufferzone, die im Winter Wärmeverluste reduziert und das Gebäude vor Wind schützt. Ein 60 cm breiter Wartungsgang erleichtert die Pflege der Pflanzen und die Reinigung der Glasfassade. Im Sommer sorgen die Pflanzen

über ihre Verdunstung für eine Vorkühlung der gebäudenahen Luftschicht und spenden mit ihren unterschiedlichen Wuchshöhen zusätzlichen Schatten für die dahinter liegenden Büroräume. Die Bepflanzung reagiert dabei auf die jeweiligen Bedingungen der unterschiedlichen Himmelsrichtungen der Fassade. Eine automatisch geregelte Bewässerung versorgt die Pflanzen mit gespeichertem Regenwasser.

Neben den energetischen Vorteilen leisten die verschiedenen Layer der Fassade, besonders die Begrünung, zusätzlich einen atmosphärischen Beitrag zur Innenraumqualität des Gebäudes.

Loggien zur Vortemperierung

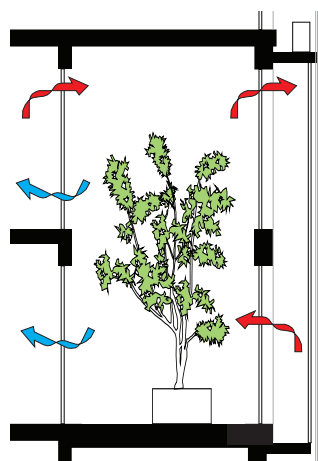
Zweigeschossige mit Bäumen bepflanzte Loggien auf allen Stockwerken werden im Sommer als Außenräume und im Winter als unbeheizte Innenräume, Gewächshäusern gleich, zur Luftvortemperierung und zur Verbesserung der Frischluftqualität genutzt. [190]



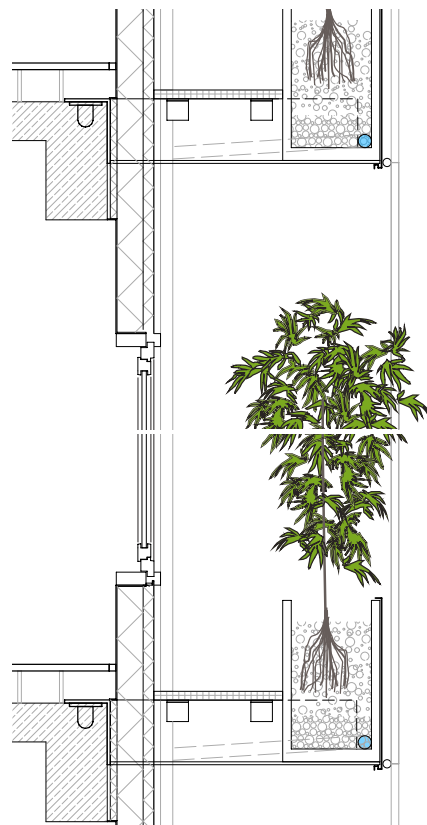
219



220

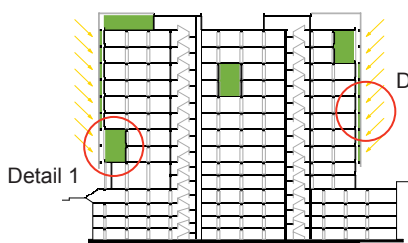


Schnitt - Loggien, Lüftungskonzept mit Pflanzenkühlung (Sommer), o. M. 221



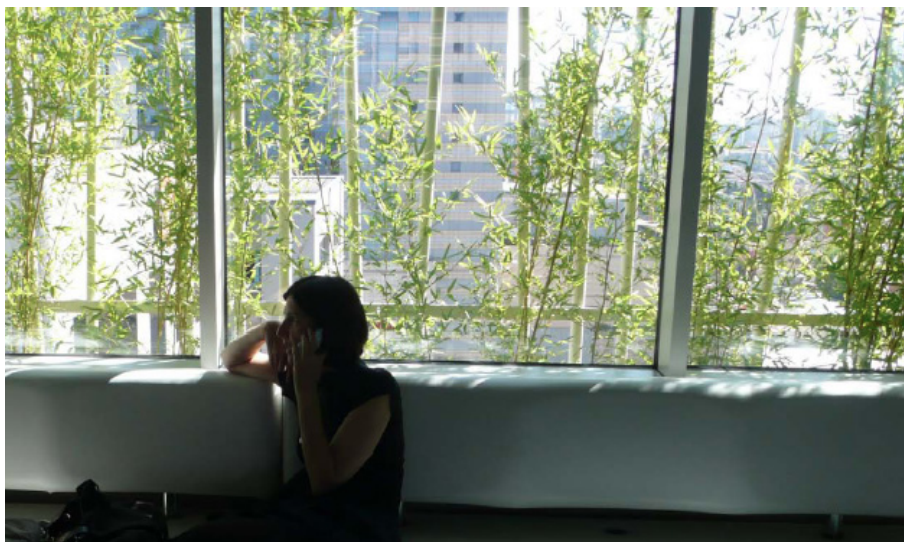
Fassadenaufbau

- 450 mm lineares Pflanzbehältnis mit integrierter Regenwasserzuführung/ Drainage
- 600 mm Gitterrost-Umgang auf Kragkonsolen
- 2 mm Aluminiumverkleidung
- 170 mm Wärmedämmschichten



Schnitt - Verschattung, Zuluft-Vorkonditionierung, o. M. 222

Detail - Fassadenschnitt M 1:33 223



224

Abb. 219: Tekfen Levent Ofis (Foto: Molestina Architekten)

Abb. 220: Mehrschichtige Fassade (Foto: Molestina Architekten)

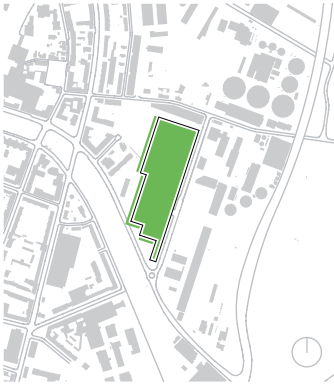
Abb. 221: Schnitt - Loggien, Lüftungskonzept mit Pflanzenkühlung (FGee/FGe+f, nach Molestina Architekten)

Abb. 222: Schnitt- Verschattung, Zuluft-Vorkonditionierung (FGee/FGe+f, nach Molestina Architekten)

Abb. 223: Detail - Fassadenschnitt (FGee/FGe+f, nach Molestina Architekten)

Abb. 224: Innenraumatmosphäre (Foto: Molestina Architekten)

Beispielprojekte



8.1.5 Stüchi Shopping, Einkaufszentrum

Standort

Basel/Schweiz

Bauherr

Credit Swiss AG

Architekt

Diener & Diener Architekten

Landschaftsarchitekten

Fahmi und Breitenfeld

Landschaftsarchitekten BSLA

Begrünungsfirma

Forster Baugrün AG,

Edelstahlseilnetz Jakob AG

Größe

BGF 98000 m²

Fertigstellung

2009

Bausumme

260 Mio. CHF

Art der Fassadenbegrünung

Bodengebundene Begrünung und wandgebundene Begrünung (Regalsystem - lineare Pflanzenbehälter)

Art der Dachbegrünung

extensiv/intensiv

Winterhärtezone

Z7b: -14,9 bis -12,3 °C

Energetische Synergie

saisonale Verschattung
Kühlungseffekt
winterlicher Eintrag solarer Wärme
Regenwasserrückhalt

Das Einkaufszentrum „Stüchi“, in Basel, ist einer der wenigen begrünten Vertreter seines Typs. Neben der repräsentativen wandgebundenen Begrünung der Südfassade durch Pflanzenbehälter wurde die Westfassade mit einer bodengebundenen Begrünung versehen. Nord- und Ostfassade zeigen einen eher industriellen Charakter. Diener & Diener Architekten reagieren damit auf die Lage zwischen Industrie- und Wohngebiet.

Vielfalt in Dach...

Als Ausgleichsmaßnahme für den Neubau forderte die Stadt Basel eine Dachbegrünung mit unterschiedlichen Substrathöhen, welche felderartig auf einer Fläche von ca. 29.100 m² realisiert wurde. 5.800 m² dieser Fläche wurden als Intensivbegrünung ausgeführt. Die Dachbegrünung zählt zu einer der Größten ihrer Art in der Schweiz.

In energetischer Hinsicht unterstützt die Dachbegrünung mit ihren geringeren sommerlichen Oberflächentemperaturen die Gebäudekühlung.

...und Fassade

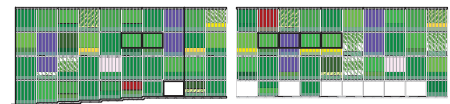
Die Pflanzbehälter der Südfassade stehen auf Deckenauskragungen, zeigen die Geschossigkeit des Gebäudes und liefern mit ihren Bepflanzungen ein im Jahresverlauf wechselndes Farbenspiel. Sie ranken an rautenförmig überlagerten Stahlseilen der Westfassade vom Dach abwärts und vom Boden aufwärts aufeinander zu.

Die bodengebundene Begrünung unterhalb der Fluchttreppen stellt eine eigene Pflanzenebene dar. Die repräsentativen Pflanzungen der Südfassade bedürfen einer wöchentlichen Pflege, sie werden automatisch bewässert.

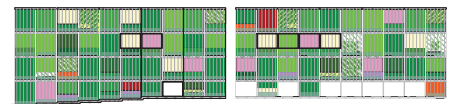
Die Verschattung von Fensterflächen der Südfassade trägt zu einer natürlichen Sommerkühlung der Innenräume bei. [222; 223; 224]



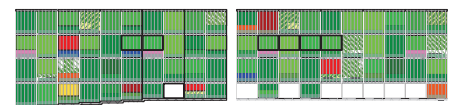
225



Blütenkalender - April

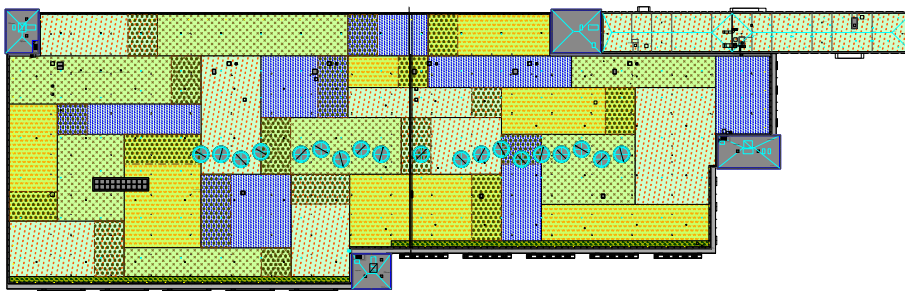


Blütenkalender - Juli





Blütenkalender - Oktober

226



Dachbegrünung Variationen, o. M.

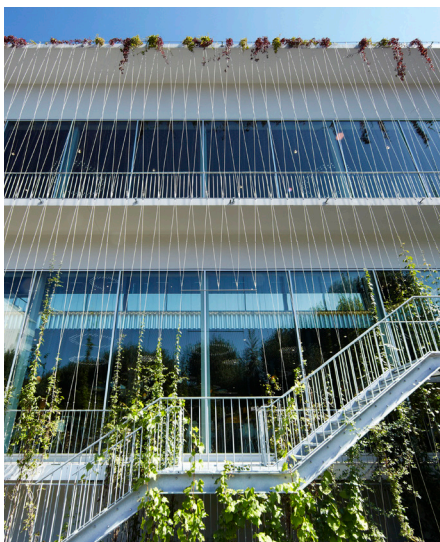
227

-  Vegetation A
Substrathöhe 8-9 cm
-  Vegetation B
Substrathöhe 13 cm
-  Vegetation C
Substrathöhe 17 cm
-  Vegetation D
Substrathöhe 21 cm
-  Kletterpflanzen, hängend,
Rankhilfe Seilsystem
Edelstahl



228

Abb. 225: "Blumenregal" Stücki Shopping, Einkaufszentrum, Ansicht Hochbergerstraße (Foto: © Jakob Rope Systems)



229

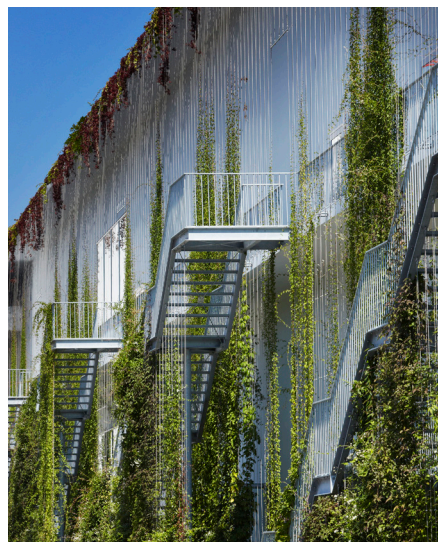
Abb. 226: Blütenkalender (Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten BSLA)

Abb. 227: Dachbegrünung Variationen (Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten BSLA)

Abb. 228: Dachbegrünung (Foto: © Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten BSLA)

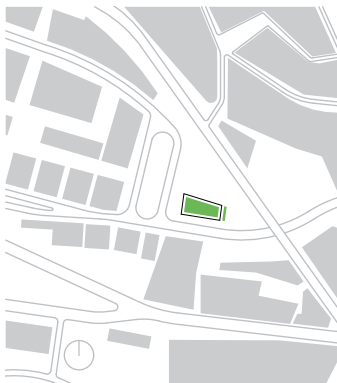
Abb. 229: Westfassade Kletterpflanzen an Edelstahl-Seilsystem (Foto: © Jakob Rope Systems)

Abb. 230: Westfassade Kletterpflanzen an Edelstahl-Seilsystem, Fluchtbalkone/Fluchttreppen (Foto: © Jakob Rope Systems)



230

Beispielprojekte



Standort

Lausanne/Schweiz

Bauherr

Méto Lausanne Ouchy sa
Transports Laannois
City of Lausanne

Architekt

Bernard Tschumi Architects
M+V, Merlini & Ventura Architectes

Landschaftsarchitekt

Jean-Jacques Borgeaud

Begrünungsfirma

Canevaflor

Größe

BGF 420 m²

Fertigstellung

2008

Bausumme

10 Mio. EUR

Art der Fassadenbegrünung

Wandgebundenes System

Art der Dachbegrünung

extensiv

Winterhärtezone

Z8a: -12,2 bis -9,5 C°

Energetische Synergie

Kühlungseffekt

Regenwasser-Rückhalt

8.1.6 M2 Metro Station Lausanne-Flon

Die 2008 fertiggestellte Metrostation Lausanne-Flon ist ein signifikantes Beispiel für die Wirkung von Gebäudebegrünung im öffentlichen Raum. Aus der erhöhten Perspektive einer Fußgängerbrücke und einer Hochstraße tritt das Dach der relativ niedrigen Metrostation dominant in Erscheinung.

Die Fassadenbegrünung markiert in Kombination mit der hinabführenden Rampe deutlich den östlichen Eingang und bietet ein optisches Signal für alle Benutzer des Platzes.

Verbindung von Dach und Fassade

Die ineinander übergehende Verbindung von Dach- und Fassadenbegrünung stellt eine gestalterisch einzigartige Lösung dar. Sie zeigt zugleich eine innovative Technik der Gebäudebegrünung.

Die als Faltung konzipierte Metrostation Flon bestimmt durch die Art ihrer Ausführung auf gelungene Weise das vielgestaltige Umfeld neu. Ein modulares fassadengebundenes Begrünungssystem ermöglicht diese Lösung, an welche die formal gleiche Dachbegrünung bis auf

Trennblechstärke herangeführt wird. Durch die homogene Pflanzenbedeckung von Fassade und Dach entsteht das Bild eines fließenden Übergangs beider Flächen.

Den unteren Abschluss der Begrünung bildet die gläserne Eingangsfassade. Über ihr ist eine Rinne zur Aufnahme von überschüssigem Wasser der künstlichen Bewässerung (Vertikalbegrünung) angeordnet.

Platzgestaltung

Mit der in den Boden eingelassenen begrüneten Rampe werden die unterirdischen Bereiche des Gebäudes mit Tageslicht und einem Ausblick ins Grüne versorgt.

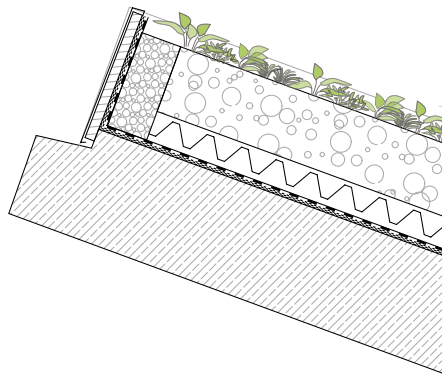
Die begrünete Gebäudefront weist auf die Tieflage des rückwärtigen Zugangs hin. [191; 192]



231

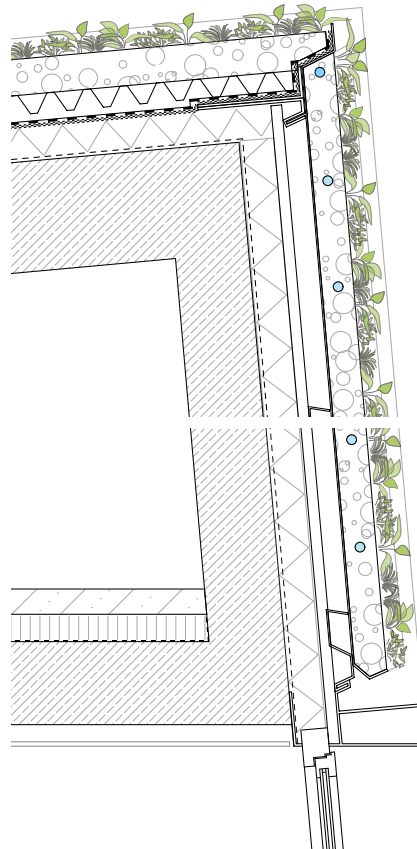


232



Detail 1 - Schnitt Vordach, Aufbau ungedämmt M 1:33

233

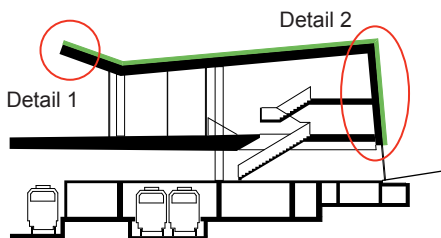


Dachaufbau

- 150 mm Begrünung extensiv
- 80 mm Substrat
- 80 mm Drainage
- Wurzelschutz
- Dichtungsbahn
- 140 mm druckfeste Dämmung
- Dampfsperre
- 450 mm Stahlbetondecke

Fassadenaufbau

- 140 mm Modulares Begrünungssystem, vorkultiviert, künstlich bewässert, wandgebunden an Tragkonstruktion
- 140 mm druckfeste Dämmung
- Dampfsperre
- 300 mm Stahlbetonwand
- Entwässerungsrinne
- Zugang Tiefgeschoss



Schnitt, o.M.

235

Detail 2 - Schnitt Dach/Fassade, Aufbau gedämmt M 1:33

234



236

Abb. 231: M2 Metro Flon, Lage (Foto: © Peter Mauss)

Abb. 232: M2 Metro Flon Dach- und Fassadenbegrünung (Foto: © Peter Mauss)

Abb. 233: Detail 1 - Schnitt Vordach (FGee/FGe+f, nach: Bernard Tschumi und Merlini & Ventura)

Abb. 234: Detail 2 - Schnitt Dach/Fassade (FGee/FGe+f, nach: Bernard Tschumi und Merlini & Ventura)

Abb. 235: Schnitt (FGee/FGe+f, nach: Bernard Tschumi und Merlini & Ventura)

Abb. 236: M2 Metro Flon, Modulare Fassadenbegrünung, Zugang Tiefgeschoss (Foto: © Peter Mauss)

Beispielprojekte



8.1.7 Solon SE Corporate Headquarter

Standort Berlin-Adlershof/Deutschland
Bauherr Solon Energy GmbH
Architekt Schulte-Frohlinde Architekten
Landschaftsarchitekt hoch ^C Landschaftsarchitektur
Begrünungsfirma ZinCo GmbH, (Substrat: Zeobon GmbH)
Größe BGF 32.747 m ²
Fertigstellung 2009
Bausumme 47 Mio. EUR
Art der Dachbegrünung extensiv/intensiv
Winterhärtezone Z7b: -14,9 bis -12,3 °C
Energetische Synergie Regenwasser-Rückhalt, sommerlicher Kühlungseffekt, Erhöhung des Dämmeffekts, Ausgleich der Temperatur- amplitude auf dem Dach
Energetische Maßnahmen Photovoltaik, BHKW, Prozess- wärmenutzung über Bauteil- aktivierung, Verschattung, Wasserkühlung, Effiziente Dämmung, Grauwassernutzung

Die Konzernzentrale der Solon SE in Berlin von Schulte-Frohlinde Architekten fällt auf den ersten Blick durch ihre markante Formensprache und eine umfangreiche begrünte Dachfläche auf. Eine sehr konsequente Entscheidung, die aufgrund ihrer Begehrbarkeit gleichzeitig zu einer Erweiterung der Freiflächen des Solarenergieunternehmens führt. Das Gebäude zeichnet sich darüber hinaus mit einer synergetischen Kombination aus unterschiedlichen Energiegewinnungssystemen und Energiesparmaßnahmen aus.

Vielschichtiges Energiekonzept

Das Gebäude wird über eine Bauteilaktivierung geheizt, wozu die Prozesswärme der Produktion genutzt wird. Zusätzlich dient eine PV-Anlage zur Stromversorgung von portablen E-Cars (Rollkoffer mit Batterie), die es den Mitarbeitern erlauben, an jedem Platz im Gebäude und auf dem begrünten Dach zu arbeiten. Die Solarpaneele werden im Randbereich des Daches gleichzeitig zur Verschattung eingesetzt.

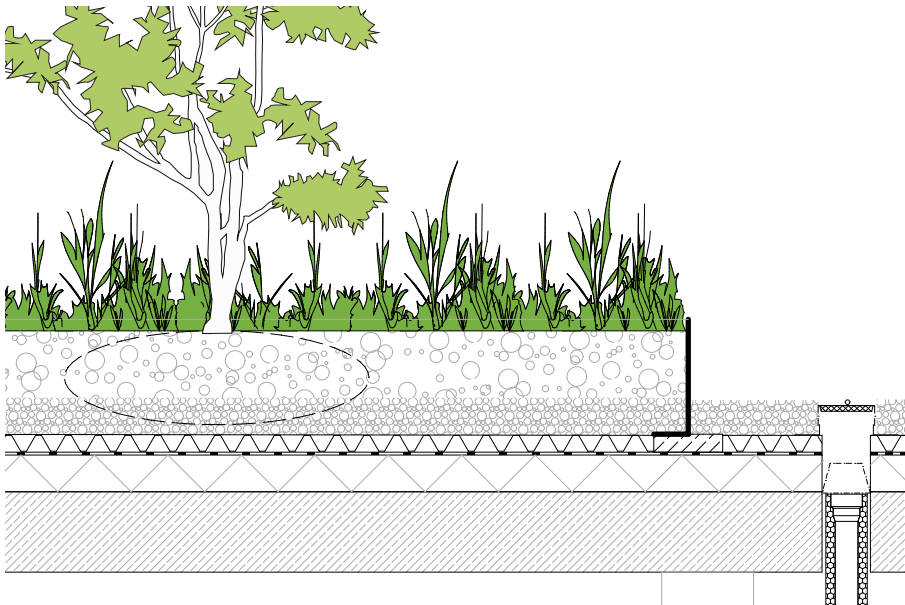
Nutzung von Regenwasser

Die Substratstärke von 16 cm ermöglicht einen Regenwasserrückhalt von 70 % der anfallenden Niederschläge auf der Dachfläche. Überschüssige Niederschläge werden zur Bewässerung der Außenanlagen genutzt, dienen als Grauwasser im Gebäude zur Toilettenspülung bzw. zur Füllung eines Wasserbeckens, welches durch adiabate Kühlung Energiekosten senkt.

Spezieller Dachaufbau

Die ca. 3000 m² große Rasenfläche des Headquarters begrünt ein Umkehrdach, das durch die Herstellung mit WU-Beton zwar höhere Kosten verursachte, jedoch nachträglich ein aufwändiges Abdichten von Durchdringungen ersparte. Die durchschnittlichen 12° Neigung erforderten Schubschwellen und Bleche, die dem Begrünungsaufbau Halt geben und für eine gleichmäßige Wasserverteilung sorgen. [193;194]



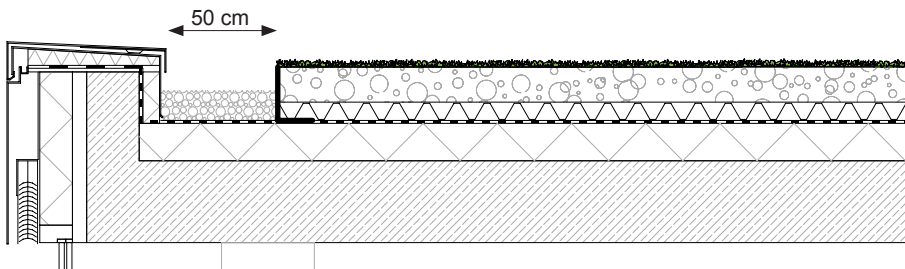


Detail 1 - Dachaufbau - Intensivbegrünung (Hochbeet), M 1:33

238

Dachaufbau

- Begrünung intensiv: Stauden, Gehölze
- 450 mm Substrat
- Alternativ: Begrünung intensiv: Rasen
- 150 mm Substrat
- Alternativ: Randbereich Kies-schüttung (100 mm)
- Filtervlies
- 75 mm Drainage
- Wurzelschutz
- 160 mm Dämmung
- 350 mm WU Beton



Detail 2 - Dachaufbau - Intensivbegrünung (Rasen), M 1:33

239



240

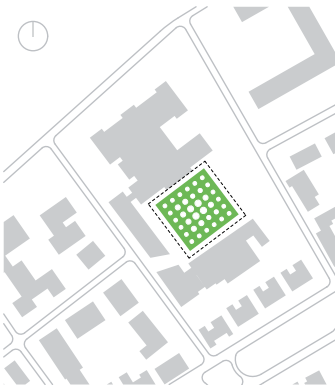
Abb. 237: Dachlandschaft Solon SE (Foto: Myrzik und Jarisch)

Abb. 238: Detail 1 - Dachaufbau - Intensivbegrünung (Hochbeet) (FGee/FGe+f, nach hoch^C Landschaftsarchitektur)

Abb. 239: Detail 2 - Dachaufbau - Intensivbegrünung (Rasen) (FGee/FGe+f, nach hoch^C Landschaftsarchitektur)

Abb. 240: Dachbegrünung, Photovoltaik-Module, Wasserbecken (Foto: © Silke Reents)

Beispielprojekte



8.1.8 Erweiterungsbau Städel Museum

Standort	Frankfurt am Main/Deutschland
Bauherr	Städel Museum
Architekt	Schneider+Schumacher
Landschaftsarchitekten	Keller & Keller
Begrünungsfirma	August Fichter GmbH (Substrat: Zeobon GmbH, Bewässerungsanlage: Stock Beregnung GmbH)
Größe	BGF 4151 m ²
Fertigstellung	2012
Bausumme	34 Mio. EUR
Art der Dachbegrünung	Intensiv
Winterhärtezone	Z7b: -14,9 bis -12,3 °C
Energetische Synergie	Regenwasser-Rückhalt, sommerlicher Kühlungseffekt, Erhöhung des Dämmeffekts, Ausgleich der Temperaturamplitude auf dem Dach
Energetische Maßnahmen	Tageslichtnutzung, Verschattung, Erdsonden (Wärme- und Kühlenergie), Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Der 2012 eröffnete Erweiterungsbau des Städel-Museums in Frankfurt am Main von Schneider+Schumacher Architekten zeigt eine unterirdisch angeordnete Ausstellungshalle mit einer begrünten, zugänglichen Dachfläche auf Fußgängerniveau. Die im Raster angeordneten kreisrunden Glasausschnitte versorgen das Erweiterungsvolumen der neu entstandenen Ausstellungsfläche von 2.600 m² mit funktionsgerechtem Himmelslicht.

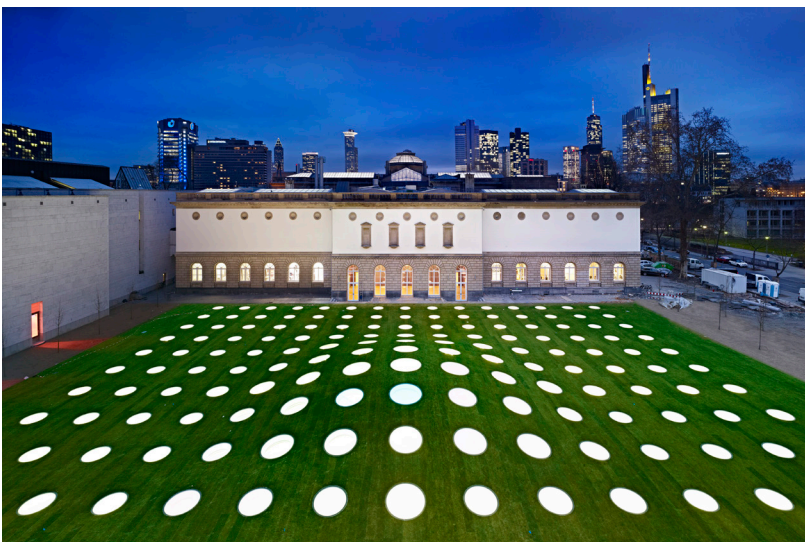
Unterirdisches Museum und grüner Hof

Der Kerngedanke des Entwurfs besteht darin, der öffentlichen Umgebung des Städel-Museums eine großzügige begrünte Freifläche hinzuzufügen, anstatt ihr mit einem weiteren Gebäude einen städtischen Platz zu nehmen. Der kalkulierte Kontrast zwischen Orthogonalität und Naturanwendung wird im Zentrum allein durch die plastische Aufwölbung des darunter liegenden Zentralraumes belebt. Der Gründachaufbau oberhalb der Dachabdichtung und Dämmung besteht

aus einer speziell auf die Nutzung abgestimmten Substratzusammensetzung und einer homogenen Rollrasen-Abdeckung. Die Wasserversorgung wird durch eine Grundwasserzisterne und eine integrierte Bewässerungsautomatik über ein Wurzelvlies sichergestellt. Eine zusätzliche Beregnungsanlage bewässert die Fläche segmentweise von oben.

Energetische Maßnahmen

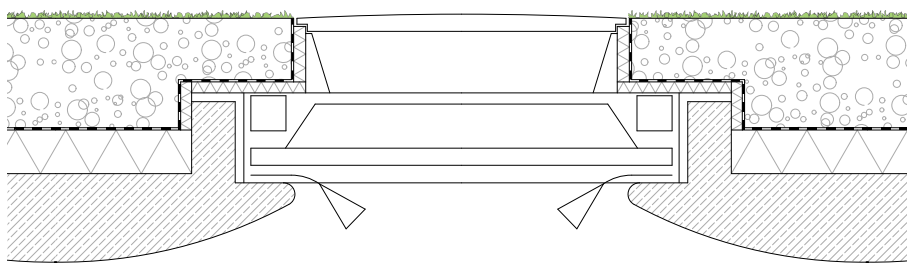
Energetisch wird der Bau über 36 Erdsonden von 82 m Tiefe über eine Wärmepumpe im Sommer mit Kühlung und im Winter mit Wärme versorgt. Die Wärmeverteilung erfolgt über die Fußbodenheizung, die Kälteverteilung sowie die Be- und Entfeuchtung über die Lüftungsanlage und die aktivierte Betondecke. Die hocheffiziente Wärmerückgewinnung ermöglicht in Verbindung mit der großen inneren Speichermasse ein optimales Raumklima mit minimalem Energieaufwand. Das Projekt erweist sich mit einer Schadstoff-Emission von nahezu Null als eine beispielhaft nachhaltige Lösung. [195; 196]



241



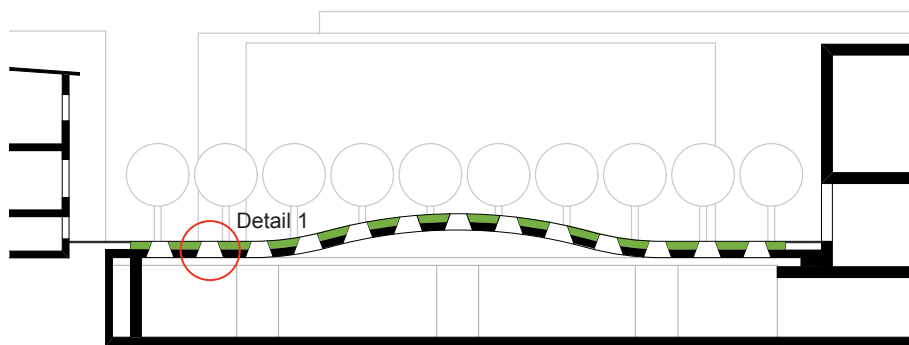
242



Deckenaufbau

- Fertigrasen
- 500 mm Substrat
- Dachabdichtung
- 200 mm Wärmedämmung
- 400 mm Stahlbeton

Detail 1 - Schnitt Dachaufbau, Tageslichtführung mit integrierter Verschattung M 1:33 245



Schnitt - Erweiterungsbau Städel Museum, o. M.

246

Abb. 241: Begrünte Freifläche/
Dach Städel - Außenansicht des
Erweiterungsbaus (Foto: Norbert
Miguletz, © Städel Museum,
Frankfurt am Main)



243



244

Abb. 242: Bauabschnitt 1
(© Keller & Keller Landschafts-
architekten)

Abb. 243: Bauabschnitt 2
(© Keller & Keller Landschafts-
architekten)

Abb. 244: Bauabschnitt 3
(© Keller & Keller Landschafts-
architekten)

Abb. 245: Detail 1 - Schnitt
Dachaufbau, Tageslichtführung mit
integrierter Verschattung (FGee/
FGe+f, nach: Keller & Keller
Landschaftsarchitekten)

Abb. 246: Schnitt -
Erweiterungsbau Städel Museum
(FGee/FGe+f, nach: Keller & Keller
Landschaftsarchitekten)

8.2 Städtebauliche Projekte

Im Kapitel „Gebäudebegrünung – Wirkung im Stadtraum“ wurden die Grundzüge städtischer Klimaphänomene vorgestellt und der Einfluss von Begrünungsmaßnahmen auf klimatische Probleme im verdichteten Stadtraum erläutert.

Städte sehen sich zunehmend mit Feinstaub-Diskussionen, Hitzewellen und Hochwasserereignissen konfrontiert. Sie suchen Konzepte und Lösungen, um solchen zum großen Teil anthropogen verursachten Entwicklungen entgegenzuwirken. Die Wiedererlangung einer besseren Steuerbarkeit durch die Rückbesinnung auf natürliche Wirkungsabläufe ist die Herausforderung unserer Zeit.

Als wichtiger Schritt wird die Bedeutung von Begrünungsmaßnahmen zunehmend erkannt und künftigen Stadtentwicklungen zugrunde gelegt.

Investoren sowie öffentlichen und privaten Bauherren soll aufgezeigt werden, welche Verbesserungen in

anderen Städten bereits erfolgreich durchgeführt wurden, wie diese gesetzlich verankert sind und welcher Mehrwert geschaffen wurde.

Besonders wichtig ist dabei die Bürgerinformation: Ausstellungen, Anleitungen, Bürgerforen und gezielte Förderprogramme motivieren und veranschaulichen die städtischen Zielsetzungen.

Dieses Kapitel versucht von großen öffentlichen Projekten bis hin zur Förderung kleiner, privater Maßnahmen ein breites Spektrum abzudecken. Die ausgewählten Beispielstädte beziehen dabei in besonderer Weise Begrünung in die Lösungsstrategien urbaner Problemstellungen ein.

8.2.1 Wien

Das intensive Engagement der Stadt Wien im Bereich der Gebäudebegrünung ist beispielhaft: nicht nur direkte finanzielle Fördermaßnahmen von Dach- und Fassadenbegrünungen und die kostenlose Ausgabe von 20.000 Kletterpflanzen im Jahr 2010, sondern auch die intensive Bürgerinformation und eine kontinuierliche Lehr- und Forschungstätigkeit.

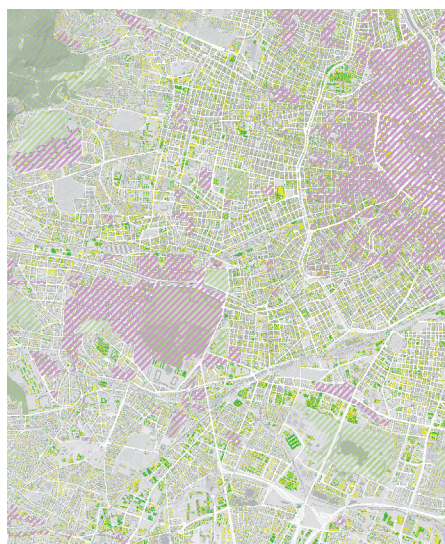
Forschung

Umfassende Potenzialanalysen zur Fassadenbegrünung in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur Wien und ein Gründachpotenzialkataster spiegeln den Stellenwert der Begrünung für die Stadt wider. Zudem gibt es Forschungsarbeiten, die sich z. B. mit Vor- und Nachteilen von Dachbegrünung gegenüber einer konventionellen Bauweise widmen, sowie zwei aktuelle Leitfäden zum Thema Gebäudebegrünung. Eine Besonderheit bieten Lehrveranstaltungen zum Thema „Ökologisch Planen und Bauen“ und „Rahmenbedingungen für Bauwerksbegrünung“ in Zusammenarbeit mit der TU Wien,

sowie die Unterstützung von Messungen und externen Forschungsarbeiten. Die Stadt leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Erforschung und Weiterentwicklung bestehender Begrünungssysteme.

Information und Förderung

Bezüglich des Informationsangebots an die Bürger ist die Stadt Wien mit ihren Maßnahmen und Veröffentlichungen vorbildlich. Ein „Behördenguide für Fassadenbegrünung“ soll die nötigen Schritte für die Beantragung von Fördermitteln und die Realisierung von Begrünungen erleichtern. Eine Umweltberatung wird in Zukunft aufgrund der Vielzahl von Anfragen als Anlaufpunkt für interessierte Bürger zur Verfügung stehen. Eine Tatsache, die zeigt, dass viele Bürger ein großes Interesse an privaten Begrünungsmaßnahmen haben. Städten bietet dieser Dialog ein großes Potenzial, um private Investitionen zu fördern. Die Stadt unterstützt auch viele Pilotprojekte an öffentlichen Gebäuden, wie Volksschulen, oder Amtsgebäuden. [197]



247



248

Abb. 247: Gründachpotenzialkataster: Stadt Wien - data.wien.gv.at, © ViennaGIS

Abb. 248: Solarpotenzialkataster, Stadt Wien - data.wien.gv.at, © wien.at: Magistrat der Stadt Wien

8.2.2 Mailand

In Mailand wird die Weltausstellung Expo 2015 stattfinden. Grund genug für das einstige Industriezentrum, sein Erscheinungsbild grundlegend zu überarbeiten und sich künftig als „Grüne Stadt“ zu präsentieren. Ein ehrgeiziges und zugleich notwendiges Ziel, da Mailand in diesem Bereich einerseits Nachholbedarf, andererseits mit seinen umfangreichen Konversionsflächen großes Potenzial bietet.

„Raggi Verdi“

Grundlage für die Umsetzung bildet der Masterplan „Raggi verdi“ – „Grüne Strahlen“, der eine Vernetzung und Ergänzung bestehender Grün- und Freiflächen in acht Strahlen vorsieht, die sich

von der Innenstadt zum Grüngürtel der Peripherie ziehen. Entstehen soll nach den Plänen des Landschaftsarchitekten Andreas Kipar ein Fuß- und Radwegnetz, das die fußläufige Erschließung der einst autodominierten Stadt wieder ermöglicht und dem wenig ausgeprägten Bewusstsein der Mailänder für bestehende Grünräume entgegenwirkt. Rechtlich wurde der Masterplan als Grundlage für die Freiraumplanung im Flächennutzungsplan der Stadt verankert, vier ständige Mitarbeiter sorgen für die Umsetzung.

Parallel zur Steigerung der Attraktivität möchte die Stadt auch klimatischen Problemen begegnen. Neben der Wärmeinselproblematik und der nötigen

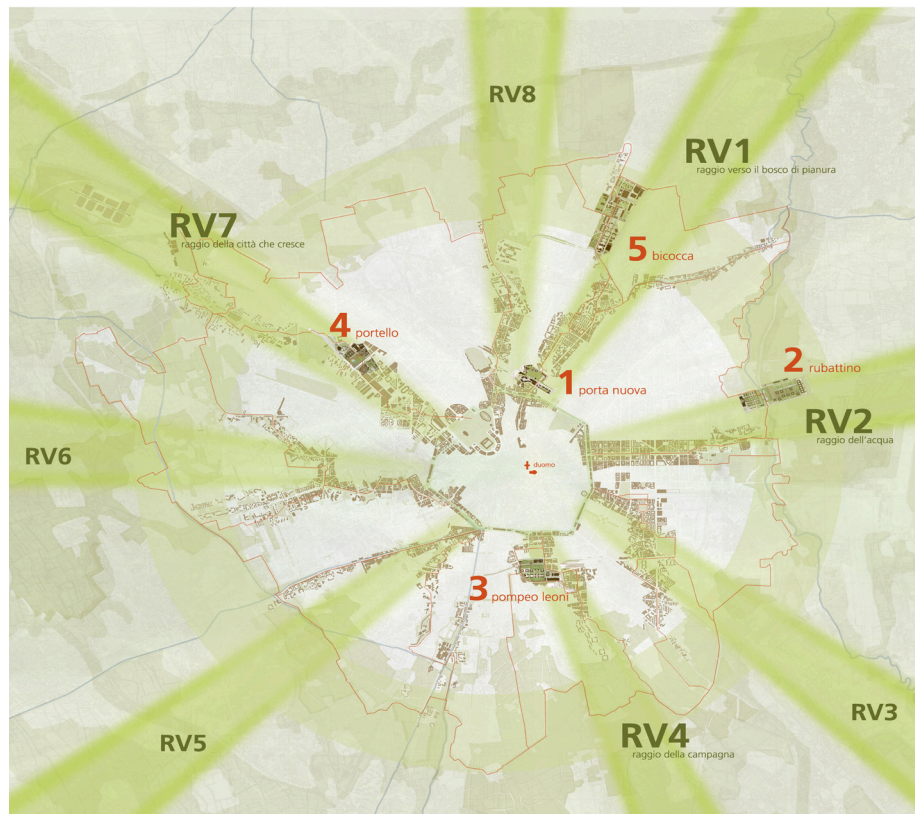


Abb. 249: Raggi Verdi - Grüne Visionen für Mailand (LAND MILANO)

Konversionsprojekte:

1. Porta Nuova: Hines
2. Rubattino: Ex-Maserati
3. Pompeo Leoni: Ex-Fiat OM
4. Portello: Ex-Alfa-Romeo
5. Bicocca: Ex-Pirelli

Entsiegelung ist auch die Verbesserung der Durchlüftung bestimmter Stadtteile ein erklärtes Ziel. Die Strahlen bieten hierzu als zusammenhängende Kaltluftschneisen gute Möglichkeiten. Eine deutliche Stärkung der Grünräume im Stadtgebiet würde die lufthygienischen Bedingungen Mailands verbessern.

Maßnahmen

Die großen Flächen der ehemaligen Industriearale werden bereits seit Jahren stückweise umgestaltet, wobei besonderer Wert auf die Entstehung von Parkanlagen und Grünflächen gelegt wird. Einzelprojekte, wie die begrünten Hochhäuser „Bosco verticale“, die auf Terrassen über 1000 Bäumen in Pflan-

zenbehältern Platz bieten sollen, dienen als Leuchtturmprojekte und helfen, den Imagewandel Mailands zu einer grünen Stadt zu beschleunigen. Andere Maßnahmen wie die ungewöhnliche Honorarforderung des berühmten Dirigenten Claudio Abbado, der für seine Rückkehr an die Mailänder Scala die Pflanzung von 90.000 Bäumen forderte, drohen an Finanzierungsproblemen und mangelndem Willen der Stadtverwaltung zu scheitern.

Dennoch sind die umfassenden Pläne zur Erhöhung von Attraktivität und Verbesserung des Stadtklimas bemerkenswert und können als vorbildhaft für andere Städte betrachtet werden. [198]



Abb. 250: Bosco Verticale
(Foto: © barreca & la varra)

8.2.3 London

Die Stadt London gibt in ihrem Strategiekonzept („The London Plan“) das ehrgeizige Ziel aus, die weltweit führende Stadt in Sachen Umweltpolitik und Nachhaltigkeit zu werden. Neben einem Klimaanpassungskonzept hat die Stadt auch einen Leitfaden zum Thema Gebäudebegrünung herausgegeben.

Strategie

Bei ihrer Strategie zum Umgang mit dem Klimawandel will London verstärkt auf Gebäudebegrünung setzen. Dies geht unter anderem aus der 2008 von der Stadt veröffentlichten Broschüre „Living Roofs and Walls“ hervor. Demnach rechnet man mit einem zunehmenden Überflutungsrisiko, einer sich verschärfenden Überhitzungsproblematik und größeren Dürregefahr. Die Stadt ließ in diesem Zusammenhang auch eine Potenzialanalyse durchführen, die

überschlägige Energieeinsparungen über Flächenberechnungen ermittelt. Neben den Vorzügen der Begrünung setzt sich der Leitfaden auch mit Risiken und Hemmnissen auseinander. Unter anderem werden fehlende Standards, Unterhaltskosten und mangelnde Planungsgrundlagen bei der Stadtplanung als Risiko betrachtet.

Empfehlungen

Die abschließenden Empfehlungen sehen vor, alle Gebäude ab einer gewissen Grundfläche zu begrünen. Sollte eine Begrünung nicht möglich sein, muss der Bauherr einen entsprechenden Nachweis erbringen. Desweiteren sollen 70 % der städtischen Dachflächen begrünt sein und 25 % den Bewohnern zugänglich gemacht werden. Zudem sind Mindestsubstrathöhen vorgesehen, um einen gewissen Wasserrückhalt zu gewährleisten. [199]

8.2.4 Andere Städte

Frankfurt

Die Stadt Frankfurt ließ durch Prof. Katschner von der Universität Kassel klimatische Simulationen und Messungen durchführen. Den gewonnenen Erkenntnissen folgend wurde das Stadtgebiet in fünf Belastungszonen unterteilt. Anschließend wurden Maßnahmen zur Verbesserung der klimatischen Situation für das komplette Stadtgebiet definiert (mit einem Parzellenraster von 10x10 m). Konkret werden Hinweise geliefert wie: „Parzelle X sollte zu 50 % entsiegelt werden“ oder „Parzelle Y sollte nicht höher als 20 m bebaut werden, um Luftleitbahnen frei zu halten“. Leider nehmen die Maßnahmen bislang keinen verbindlichen Einfluss auf die Planung und haben lediglich Empfehlungscharakter. Mit der Bewerbung als „Europäische Grüne Hauptstadt“ 2014 wollte man neuen Schub in die nachhaltige Stadtplanung bringen und auf die bereits vorhandenen Grünräume aufmerksam machen. Der Titel ging schlussendlich nach Kopenhagen. [117]

Stuttgart

Als eine der ersten deutschen Städte förderte Stuttgart bereits seit den 80er Jahren private Dachbegrünungen. 65.000 m² neue private Gründächer sind seitdem entstanden. Im gleichen Zeitraum schuf die Stadt auf öffentlichen Gebäuden selbst ca. 130.000 m² begrünte Dachflächen. Die extensive Begrünung von flachen und flach geneigten Dächern ist über Bebauungspläne vorgeschrieben. Die Förderung erfolgt zum Teil über direkte Finanzmittel, zum Teil über Reduzierung der Abwassergebühren. Begrünungsmaßnahmen werden ebenfalls im „KLIMAKS“, dem Klimaanpassungskonzept der Stadt Stuttgart behandelt. Das Dokument aus dem September

2012 nennt und bewertet viele Probleme und Strategien und ist im Internet zu finden. Dort werden beispielsweise klimatische Simulationen für größere Bauvorhaben gefordert, oder die Ausstattung von Haltestellen mit begrünten Dächern oder Photovoltaik-Anlagen zur Kühlung angedacht. Städten, die ein Klimakonzept entwickeln oder anpassen möchten ist die Lektüre des Konzepts sehr zu empfehlen. [200]

Paris

In den Regelwerken der Pariser Stadtplanung, dem PLU (Plan Local d'Urbanisme) und dem PADD (Plan d'Aménagement du Développement Durable) wurde das Ziel verankert, den Anteil begrünter Flächen zu erhöhen und dabei verstärkt auf Dach- und Fassadenbegrünung zu setzen. Dazu wurde das Stadtgebiet in zwei Kategorien unterteilt:

1. Bereiche, in denen das vorhandene Grün aufgewertet werden soll.
 2. Bereiche, in denen dringend erhöhte Pflanzenbestände benötigt werden.
- Ziel der Planung ist, dass mindestens 20 % der Grundstücksfläche begrünt sein muss. Ist dies nicht möglich, muss Ausgleich in Form von Fassaden- oder Dachbegrünungen geleistet werden. Die Stadt will mit diesen Maßnahmen neben lufthygienischen Verbesserungen vor allem eine Verringerung der städtischen Wärmeinseln erreichen. [201]

Basel

Flachdächer müssen im Kanton Basel Stadt begrünt werden. Dabei ist ein regional angepasstes Substrat zu verwenden, um lokale Arten zu schützen. Der Schutz regionaler Pflanzenarten spielt dabei in der ganzen Schweiz eine größere Rolle als in Deutschland. Zusätzlich

muss die Substratstärke variieren, bzw. müssen kleine Hügel geschaffen werden, um Tieren besseren Lebensraum zu bieten. Direkte finanzielle Fördermittel für Dachbegrünungen setzte der Kanton Basel Stadt gezielt in den Jahren 1995/96 und 2005/06 ein, um den Anteil von Gründächern in der Stadt zu erhöhen. Desweiteren werden Dachbegrünungen als Ausgleichsmaßnahme bei Neubauten vorgeschrieben. [202]

Düsseldorf

Die Stadt Düsseldorf fördert die Begrünung von Dächern indirekt über die Reduzierung der Abwasserkosten um 50 % für begrünte Flächen. Dies ist eine der gängigsten Maßnahmen zur Verbreitung von Dachbegrünungen. Zudem werden Dachbegrünungen in Kombination mit Dämmsystemen gefördert. Fassadenbegrünungen werden von der Stadt mit bis zu 2.500 € unterstützt, eine im deutschen Vergleich recht hohe Fördersumme. Aus klimatischen Gründen

ist eine verpflichtende Umweltverträglichkeitsprüfung bei Neubauten mit besonderem Augenmerk auf den Erhalt von Freiflächen vorgeschrieben. Über Luftbildauswertungen fand im Jahr 2008 eine Kartierung der Gründächer statt. [203]

Berlin

Die Stadt hat unter anderem einen BFF (Biotopflächenfaktor) eingeführt, der Oberflächen und Begrünungsmaßnahmen klassifiziert und über einen bestimmten Faktor mit der Grundstücksfläche in Bezug setzt. Neubauprojekte müssen demnach einen bestimmten BFF erfüllen (Wohnbauten z. B. 0,6). Dieser Faktor soll z. B. helfen, Lufthygiene und Wasserhaushalt der Stadt positiv zu beeinflussen. Außerdem verfügt Berlin über ein umfassendes GIS System, das eine Datenauswertung und Problemerkennung aus klimaspezifischer Sicht erleichtert. Es ist online verfügbar. [204]



251



252

Abb. 251: Paris - Städtebauliches Regelwerk zur Freiraumgestaltung und Bepflanzung. Plan: Ausweisung von Grünbereichen (FGee/ FGe+f, nach www.paris.fr - Plan local d'urbanisme (P.L.U), Sectorisation végétale de la zone Urbaine Générale)

- Bereiche zur Aufwertung des Grünbestands
- Bereiche zur Schaffung neuer Grünflächen

Abb. 252: Musée du Quai Branly, Paris (Foto: Nicole Pfoser 2011)

09

Anhang

9. Anhang

9.1 Glossar

Mittlere Strahlungstemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur ist als die einheitliche Temperatur einer schwarz strahlenden Umschließungsfläche definiert, die zum gleichen Strahlungsenergiegewinn eines Menschen führt, wie die aktuellen, unter Freilandbedingungen vorherrschenden kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse (VDI, 1998).

VDI, 1998: Methoden zur human-bio-meteorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I: Klima. VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2.

Park Cool Island (PCI)

Die Park Cool Island ergibt sich aus Messungen der Differenz von Lufttemperaturmessungen innerhalb des untersuchten Parks und einer anliegenden bebauten Umgebung. Die PCI definiert eine kühlere Parkfläche im Vergleich zur bebauten Umgebung.

Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

Die PET wird definiert als „diejenige Lufttemperatur, bei der in einem typischen Innenraum die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist wie bei den Bedingungen im Freien“ (VDI 3787, Blatt 2). In die Berechnung des PET gehen die Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Windgeschwindigkeit und der Dampfdruck ein.

Oberflächenstrahlungstemperatur (TO)

Die Oberflächenstrahlungstemperatur bestimmt die aus der langwelligen Ausstrahlung eines Schwarzkörpers bestimmte Temperatur, ohne Kenntnis des materialspezifischen langwelligen Emissionsgrades.

Universal Thermal Climate Index (UTCI)

Der UTCI definiert für jede Kombination von Lufttemperatur, Wind, mittlerer Strahlungstemperatur und Wasserdampfdruck die Lufttemperatur, bei der die dynamische Reizantwort des Organismus, die physiologische Belastung, derjenigen unter den aktuell betrachteten Bedingungen gleicht. Die Referenzumgebung wurde mit einer relativen Feuchte von $RH = 50\%$ (bis zu einem maximalen Wasserdampfdruck von $e = 20$ hPa), Windstille und mittlerer Strahlungstemperatur gleich Lufttemperatur definiert. Diese dynamischen physiologischen Reaktionen sind multidimensional (Kerntemperatur, Schweißrate, Hautfeuchte etc. zu unterschiedlichen Expositionszeiten). Als eindimensionale Darstellung wurde deshalb der UTCI als Belastungsindex über eine Hauptkomponenten-Analyse berechnet. Der thermische Stress kann damit über eine 10-stufige Skala von „extremer Hitzestress“ bis „extremer Kältestress“ bewertet werden (Definition nach Jendritzky et al. 2010).

9.2 Abkürzungsverzeichnis

BNB

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude

BREEAM

Building Research Establishment's Environmental Assessment Method

DGNB

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.

EFH

Einfamilienhaus

EnEV

Energieeinsparverordnung

FBB

Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.

FFA

Fensterflächenanteil

FLL

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLK

Flachkollektor

KfW

Kreditanstalt für Wiederaufbau

LCC

Life Cycle Cost Analysis (Lebenszykluskostenanalyse)

LCA

Life Cycle Analysis (Lebenszyklusanalyse)

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

MFH

Mehrfamilienhaus

o. M.

ohne Maßstab

PV

Photovoltaik

TWD

Transparente Wärmedämmung

UK

Unterkonstruktion

VRK

Vakuumröhrenkollektor

VHF

Vorgehängte, hinterlüftete Fassade

WLG

Wärmeleitgruppe

WDVS

Wärmedämmverbundsystem

WRG

Wärmerückgewinnung

9.3 Literatur- und Internetverzeichnis

- [1] Althaus, C. (1987): Fassadenbegrünung. Ein Beitrag zu Risiken, Schäden und präventiver Schadensverhütung. Berlin-Hannover
- [2] Althaus, C./Kiermeier, P./Schuppler, E. (1991): MBW Ministerium für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (1991): Empfehlungen zur Fassadenbegrünung an öffentlichen Bauwerken. Düsseldorf
- [3] Appl, R./Mann, G. (2012): Gründächer und Dachgärten. In: Köhler, M. (Hrsg.): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung – Konstruktion – Ausführung. Köln
- [4] Bartfelder, F./Köhler M. (1987): Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen, PhD Technische Universität Berlin. Berlin 1987
- [5] Baumann, R. (1980): Pflanzliche Verschattungselemente an der Gebäudeoberfläche als Maßnahme zur Reduzierung der Strahlungsbelastung unter sommerlichen Bedingungen. Kassel, S. 75 ff.
- [6] BBSR (Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung), Hrsg. (2012): Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Status quo Projektion 2030. BBSR-Analysen Kompakt 09/2012, S. 4
- [7] BKI Baukosteninformationszentrum, Hrsg. (2012): BKI Baukosten 2012. Statistische Kennwerte für Positionen, Teil 3
- [8] Blanc, P. (2008): Les murs végétaux de la nature à la ville. Neuilly-sur-Seine
- [9] Bott, P. (2012): BOTT Begrünungssysteme GmbH. Produktkatalog 4
- [10] Dietz, A. (2003): „Possmann Gründach - Erfahrungen und Ergebnisse“, Kelterei Possmann KG. Frankfurt, S. 3
- [11] Dörries, J./Zens, U. (2003): Multifunktionale Dachvegetation, In: Garten und Landschaft Jg. 113, Nr.10, S. 22 ff.
- [12] Enzi, V. (2010): Fassadenbegrünungen - Innovation und Chancen. Wien, S. 18
- [13] Erell, E./Pearlmutter, D./Williamson, T. (2011): Urban Microclimate – Designing the Spaces between Buildings. London, S. 92
- [14] Fischer, H. (2008): Lehrbuch der Bauphysik: Schall Feuchte Brand Klima. Wiesbaden
- [15] Fischer, U. (2002): Optimierung von TWD-Speichersystemen unter Beachtung der Bauschadensfreiheit. Natürliche Begrünung als sommerlicher Überhitzungsschutz, Schlussbericht zum BMWi-Projekt 0335004 V/2. Cottbus, S. 27 ff.
- [16] FLL (2000): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen – Fassadenbegrünungsrichtlinie. Bonn
- [17] FLL (2008): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinie. Bonn
- [18] Fritze, B./Engelberg, M.v. (2010): Das Deutsche Haus, Katalog. TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiete Entwerfen und Hochbaukonstruktion/Fachgebiet Kunstgeschichte.
- [19] Getter, K. L./Rowe, D. B. (2006): The role of extensive green roofs in sustainable development, In: HortSciences Nr.41(5), S. 1271-1285
- [20] Getter, K. L./Rowe, D. B./Robertson, GP./Cregg, B. M./Andersen, J. A. (2009): Carbon sequestration potential of extensive green roofs. In: Environmental Science and Technology, Nr. 43(19), S. 7564-7570
- [21] Golbs, E. (2013): Konzepte zur Wärmebereitstellung mit Laub und kommunalem Grünschnitt, In: Stadt+Grün 01/2013. Berlin, S. 45-49
- [22] Green Roofs, Hrsg. (2008): Introduction to Green Walls. Technology, Benefits & Design; unter: www.greenscreen.com/Resources/download_it/IntroductionGreenWalls.pdf [15.3.2009]
- [23] Hegger, M. et al. (2007): Energie Atlas, Nachhaltige Architektur. München
- [24] Hegger, M. et al. (2009): Forschungsprojekt energy:shell, Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle, Solar Decathlon 2007. Stuttgart
- [25] Hegger, M. et al. (2010): BMVBS (Hrsg.): energetisches sanieren gestalten. Leitfaden Baubestand nachhaltig weiterentwickeln, Technische Universität Darmstadt. FG Entwerfen und Energieeffizientes Bauen. Berlin

- [26] Hegger, M./Hartwig, J./Keller, M. (2012): Wärmen und Kühlen. Basel
- [27] Brunner, R. et al. (2009): Das Klima als Entwurfsmittel. Luzern
- [28] Kaiser, M. (2008): Kühlen mit Regenwasser. In: AEE - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – Dachverband (Hrsg.): Erneuerbare Energie, Zeitschrift für eine nachhaltige Energie-zukunft 2008-2, Sommerkomfort im Büro- und Verwaltungsbau.
- [29] Kaltenbach, F. (2008): Lebende Wände, vertikale Gärten - vom Blumentopf zur Systemfassade, In: Detail. Zeitschrift für Architektur + Baudetail 12/2008, S. 1455
- [30] Kappis, C. et al. (2007): Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterpotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen. Berlin
- [31] Kiermeier, P. (2005): Lorenz von Ehren (Hrsg.): Pflanzenkatalog und Selektion. 3. Auflage. Hamburg
- [32] Rath, J./Kiessl, K./Gertis K. (1988): Bauforschungsbericht. Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko. Stuttgart, S. 19, 27, 32, 34
- [33] KÖHLER, M. (1989): Ökologische Untersuchungen an extensiven Dachbegrünungen – Sonderdruck aus „Verhandlungen Gesellschaft für Ökologie“, Band XVIII. Essen 1989, S. 251
- [34] Köhler, M. (1993): Fassaden- und Dachbegrünung. Stuttgart, S. 38, 49, 53
- [35] Köhler, M. (2008): Historie und positive Wirkung von Fassadenbegrünungen, In: Tagungsmappe 1. FBB-Fassadenbegrünungssymposium 2008 in Remscheid, S. 14 ff.
- [36] Köhler, M. (2012): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung – Konstruktion – Ausführung. Köln
- [37] Köhler, M./Ottel, M. (2012): Fassadenbegrünung, In: Köhler, M. (Hrsg.): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung – Konstruktion – Ausführung. Köln
- [38] KOLB, W. (1987): Abflussverhältnisse extensiv begrünter Flachdächer, In: Zeitschrift für Vegetationstechnik 3/1987, S. 111-115
- [39] Krawina, J./Loidl, H. (1990): Vertikale Begrünung von Bauwerken. Kriterien und Lösungsprinzipien für stadtklimatisch effektive, standortgerechte und architektonisch vertretbare Bepflanzungen von Fassaden im Stadtgebiet. Wien
- [40] Krupka, B. (1992): Dachbegrünung, Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken. Stuttgart
- [41] Krusche, P./Althaus, C./Gabriel, I. (1982): Ökologisches Bauen. Gütersloh
- [42] Kuttler, W. (1997): Städtische Klimamodifikationen, Fortdruck aus VDI Berichte Nr. 1330, S. 87-88 [www.uni-due.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/66_st__dtische_klimamodifikation.pdf]
- [43] Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Paderborn
- [44] Kuttler, W. (2010 a): Urbanes Klima. Teil 1, In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. Umweltmeteorologie 70(2010) Nr. 7/8, S. 329-331, S. 334-335
- [45] Kuttler, W. (2010 b): Urbanes Klima. Teil 2, In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. Umweltmeteorologie 70(2010) Nr. 9
- [46] Kuttler, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2. In: Environmental Science and Technology [<http://www.enveurope.com/content/pdf/2190-4715-23-21.pdf>]
- [47] Kutscher, R. (1996): Der Rote Haubarg. Baudenkmal und Museum in der Landschaft Eiderstedt. Husum
- [48] Lange, O. L./Bertsch, A. (1965): Fotosynthese der Wüstenflechte *Ramalina maciformis* nach Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum, In: Naturw. 52, S. 215-235
- [49] Liesecke, H. J. (1988): Untersuchungen zur Wasserrückhaltung extensiv begrünter Flachdächer – Zeitschrift für Vegetationstechnik 2/1988, S. 56-66
- [50] Ludwig, K. (1994): Kletterpflanzen. Auswahl, Planung, Pflege. München

- [51] Marek, R. (2007): Praxis der Wärmeübertragung - Grundlagen, Anwendungen, Übungsaufgaben. München
- [52] Margolis, L./Robinson, A. (2007): Living Systems. Innovative Materialien und Technologien für die Landschaftsarchitektur. Basel, S. 16-17, 30-33, 150-151
- [53] N.N. (2002): Fassadenbegrünung. Pflanzen an Fassaden sind Wetterschutz und Klimaanlage für das Gebäude selbst, In: Modernisierungsmarkt Jg.: 25, Nr.6, S. 26
- [54] Oke, T. R. (1988): Street design and urban canopy layer climate, In: Energy and Buildings 11, S. 103-113
- [55] Ottelé, M. (2011): The Green Building Envelope. Dissertation Universität Delft 2011, Delft
- [56] Pfeifer, G./Tersluisen, A./Nasrollahi, K. (2012): Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.): Untersuchungen zum energetischen Verhalten natürlich klimatisierter Gebäude zur Katalogisierung von passiven Systemen und zur Erstellung einer Arbeitshilfe - untersucht an den Beispielen Energieraum/Speichermasse und Luftkollektor/Speichermasse. Darmstadt, unveröffentlicht
- [57] Pfoser, N. (2009): Fassade und Pflanze – Potentiale einer neuen Fassadengestaltung, In: Tagungsmappe 2. FBB-Fassadenbegrünungssymposium 2009 in Frankfurt am Main, S.10-16
- [58] Pfoser, N. (2010 a): Architekturmedium Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, In: Stadt+Grün 03/2010, S. 54-59
- [59] Pfoser, N. (2010 b): Frische Luft durch Grün. Fassadenbegrünung und Living-Wall-Systeme, In: Garten+Landschaft 04/23, S. 23-27
- [60] Pfoser, N. (2010 c): Gestaltungspotential Fassadenbegrünung. Optimierung architektonischer und stadtplanerischer Entscheidungen, In: Bauwerksbegrünung. Jahrbuch 2010. Stuttgart, S. 76-80
- [61] Pfoser, N. (2010 d): Fassadenbegrünung – die Notwendigkeit einer neuen Systematik, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [14.03.2011]
- [62] Pfoser, N. (2011 a): Systematik der Fassadenbegrünung, In: Tagungsmappe FLL-Forum am 09.02.2011. Bonn
- [63] Pfoser, Nicole (2011 b): Erweiterte „Systematik“ der Fassadenbegrünung – Eigenschaften und Unterschiede von boden- und fassadengebundenen Begrünungssystemen, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [20.09.2011]
- [64] Pfoser, N. (2011 c): Fassadenbegrünung. Erweiterte Systematik, In: Bauwerksbegrünung. Jahrbuch 2011. Stuttgart, S. 97-103
- [65] Pfoser, N. (2012 a): Gebäudebegrünung als konzeptionelle Architektur-Integration, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [14.03.2012]
- [66] Pfoser, N. (2012 b): Anwendungshilfe für eine zielsichere Pflanzenwahl zur Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [13.09.2012]
- [67] Pfoser, N. (2012 c): Fassadenbegrünung als möglicher Einsparungsfaktor. Realisierungs- und Erhaltungskosten im Systemvergleich, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [21.10.2012]
- [68] Pfoser, N. (2012 d): Schadensvermeidung bei der Anbringung von Fassadenbegrünung, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [26.12.2012]
- [69] Pistohl, W. (2009): Handbuch der Gebäudetechnik: Heizung / Lüftung / Beleuchtung / Energiesparen, Band 2, 7. Auflage, Köln
- [70] Bambach, G. (2012): Feuchtigkeit in Grünen Wänden messen und steuern, In: Tagungsband 5. FBB-Symposium Fassadenbegrünung am 24.10.2012. Frankfurt
- [71] Schmidt, M. (2008): Gebäudebegrünung und Verdunstung. Garten+Landschaft. Eco Value 1/2008, S. 15-18
- [72] Schilli, H. (1953): Das Schwarzwaldhaus. Stuttgart
- [73] Schlößer, S. (2003): Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung. Meinungsbild Kölner Bürger - eine Bevölkerungsbefragung, PhD Universität Köln
- [74] Schowalter, M. (2004): Studien 2003. Ökologische Stadtanierung. Hamburg, S.21

- [75] Schröder, T. (2003): Physikinstitut in Berlin. Baumeister B2/2003, S. 66-71
- [76] Schröder, F.-G. (2009): Automatisierte, biologische, senkrechte, städtische Fassadenbegrünung mit dekorativen funktionellen Parametern; Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt im Rahmen von PRO INNO II; Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Dresden
- [77] Schulte, A. (2012): Living Walls erobern die Städte. Funktion und System der neuen „Fassadengärten“, In: Neue Landschaft Jg. 57, Nr. 5, S.54
- [78] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, (Hrsg.) (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung, Berlin; unter: www.gebaeudekuehlung.de/SenStadt_Regenwasser_dt_gross.pdf [24.08.2012]
- [79] Steward, I. D./Oke, T. R. (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, in: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> [26.08.2012]
- [80] Stifter, R. (1988): „Dachgärten - Grüne Insel in der Stadt“. Stuttgart
- [81] Sukopp, H./Wittig, R. (1993): Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Stuttgart, S.125 ff.
- [82] Taraba, S.: Kletterpflanzen; unter: <http://www.fassadengruen.de/uw/kletterpflanzen/kletterpflanzen.htm> [23.07.2012]
- [83] Thoennessen, M. (2002): Elementdynamik in fassadenbegrünendem wilden Wein. Kölner Geographische Arbeiten Heft 78. Köln
- [84] Türk, R. (1980): Laboruntersuchungen über den CO₂-Gaswechsel von Flechten aus den mittleren Ostalpen. Salzburg, S. 227
- [85] Voss, K./Musall, E. (2011): Nullenergiegebäude, Klimaneutrales Wohnen und Arbeiten im internationalen Vergleich. München
- [86] Weller, B. et al. (2009): Photovoltaik. Der Leitfaden zur Planung gebäudeintegrierter Photovoltaik. Detail Praxis. München
- [87] Züricher, C./Frank, T. (2004): Bauphysik. Leitfaden für Planung und Praxis. Zürich
- [88] Armson, D./Stringer, P./Ennos, a. R. (2012): The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area, In: Urban Forestry & Urban Greening, 11(3), pp.245–255; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866712000611> [08.03. 2013].
- [89] Bongardt, B. (2005): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. Universität Duisburg-Essen.
- [90] Bowler, D.E. et al. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence, In: Landscape and Urban Planning, 97(3), pp.147–155; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204610001234> [05.03.2013].
- [91] Brenneisen, S./Kuhn, N. (2009): Ökologisches Ausgleichspotential von Extensiven Dachbegrünungen, Bedeutung des Ersatz- Ökotops für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung, In: Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie 41
- [92] Bröde, Peter et al. (2012): Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI), In: International journal of biometeorology, 56(3), pp.481–94 unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21626294> [14.03.2013].
- [93] Bruse, M. & Fleer, H. (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, In: Environmental Modelling & Software, 13, pp.373–384.
- [94] Buccolieri, R. et al. (2009): Aerodynamic effects of trees on pollutant concentration in street canyons, In: Science of the Total Environment, 407(19), pp.5247–5256.
- [95] Cavanagh, J.-A.E./Zawar-Reza, P./Wilson, J.G. (2009): Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanised native forest patch, In: Urban Forestry & Urban Greening, 8(1), pp.21–30; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866708000563> [08.03.2013]
- [96] Christen, A./Vogt, R. (2004): Energy and radiation balance of a central European city, In: International Journal of Climatology, 24(11), pp.1395–1421
- [97] Clough, W.S. (1975): The deposition of particles on moss and grass surfaces, In: Atmospheric Environment, 9, pp.1113–1119

- [98] Cohen, P./Potchter, O./Matzarakis, A. (2012): Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort, In: *Building and Environment*, 51, pp.285–295; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004100> [05.03.2013]
- [99] DeNardo, J.C. et al. (2005): Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs, In: *Transactions of the ASAE*, 48(4), pp.1491–1496; unter: <http://cat.inist.fr/?aModele=a ficheN&csid=17067472> [17.03.2013]
- [100] Deutscher Wetterdienst (2011): Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse, Offenbach. Selbstverlag Deutscher Wetterdienst.
- [101] Erell, E./Pearlmutter, D./Williamson, T. (2011): *Urban microclimate, designing the spaces between buildings*. London
- [102] Escobedo, F.J./ Nowak, D.J. (2009): Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest, In: *Landscape and urban planning*, 90(3), pp.102–110.
- [103] Fowler, D. et al. (2004): Measuring aerosol and heavy metal deposition on urban woodland and grass using inventories of 210Pb and metal concentrations in soil, In: *Water, Air, and Soil Pollution*, 4, pp.483–499.
- [104] Frahm, J.-P. (2009): Schadstofffilterung auf dem Dach mit Moosen, In: *Tagungsband 7. Internationales FBB-Gründachsymposium in Ditzingen 2009*, pp. 28–31
- [105] Georgi, J.N. & Dimitriou, D. (2010): The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece, In: *Building and Environment*, 45(6), pp.1401–1414; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309003564> [06.03.2013].
- [106] Goldbach, A. (2012): Turbulenter Energieaustausch über unterschiedlichen Flächennutzungsstrukturen in der Stadt Oberhausen. *Essener Ökologische Schriften*, Band 32, p.245.
- [107] Grunwald, L. (2012): Untersuchung von Oberflächenstrahlungs- und Lufttemperaturen im urbanen Raum mittels Infrarotthermographie. TU Braunschweig.
- [108] Gulyás, Á./Unger, J./Matzarakis, A. (2006): Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, In: *Building and Environment*, 41(12), pp.1713–1722; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230500274X> [10.03.2013]
- [109] Harlaß, R. (2008): *Verdunstung in bebauten Gebieten*. Universität Dresden
- [110] Heusinger, J. (2013): Untersuchung mikroklimatischer Aspekte von Dachbegrünungen mittels Messung und Modellierung. TU Braunschweig
- [111] Horbert, M. (2000): *Klimatologische Aspekte der Stadt und Landschaftsplanung*, TU Berlin
- [112] Huang, L. et al. (2008): A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China, In: *Building and Environment*, 43(1), pp.7–17; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306004446> [27.02.2013].
- [113] Hupfer, P. & Kuttler, W. (2005): *Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. Stuttgart, Leipzig
- [114] Järvi, L./Grimmond, C.S.B./Christen, A. (2011): The Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUEWS), Evaluation in Los Angeles and Vancouver, In: *Journal of Hydrology*, 411, pp.219–237
- [115] Jendritzky, G. et al. (2010): Der Thermische Klimaindex UTCI, Klimastatusbericht 2009. Deutscher Wetterdienst, pp.96–101
- [116] Jim, C.Y. (2011): Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof, In: *Landscape and Ecological Engineering*, 8(2), pp.173–187; unter: <http://link.springer.com/10.1007/s11355-011-0161-4> [30.04.2013]
- [117] Katzschner, L. et al. (2011): Innenraumentwicklung in Frankfurt am Main unter Berücksichtigung stadtklimatischer Effekte. Kassel
- [118] Kjelgren, R./Montague, T. (1998): Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces, In: *Atmospheric Environment*, 32(1), pp.35–41; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231097001775> [02.04.2013]

- [119] Köhler, M. (2008) Green facades - a view back and some visions, In: *Urban Ecosystems*, 11(4), pp.423–436; unter: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11252-008-0063-x> [01.03.2013]
- [120] Köhler, M. (2005): Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin, In: *Urban Habitats*, 4(1), pp.3–26
- [121] Kordowski, K./Weber, S. (2011): Grüne Wiesen und heißer Asphalt - Wie die (Erd-)Oberfläche das lokale Wetter beeinflusst, In: *Praxis Geographie*, 4, pp.32–38
- [121] Kuttler, W., (2009): *Klimatologie*. Braunschweig
- [122] Leuzinger, S./Vogt, R./Körner, C. (2010): Tree surface temperature in an urban environment, In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), pp.56–62; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168192309001993> [10.03.2013]
- [123] Lin, T.-P./Matzarakis, A./Hwang, R.-L. (2010): Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, In: *Building and Environment*, 45(1), pp.213–221; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309001371> [13.03.013]
- [124] Matzarakis, A. (2001): Die Thermische Komponente des Stadtklimas, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg.
- [125] Mayer, H. et al. (2009): Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg*, 18, pp.211–219
- [126] Müller, N./Kuttler, W. /Barlag, A.-B. (2013): Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort, In: *Theoretical and Applied Climatology*; unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-0890-4> [21.04.2013].
- [127] MUNLV-NRW (2011): *Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel*, Düsseldorf.
- [128] Ng, E. et al. (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong, In: *Building and Environment*, 47, pp.256–271; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002228> [05.03.2013]
- [129] Oke, T.R. (1987): *Boundary layer climates*. London
- [130] Oke, T.R. (1988): Street design and urban canopy layer climate, In: *Energy and Buildings*, 11, pp.103–113.
- [131] Parlow, E. (2003): The urban heat budget derived from satellite data, In: *Geographica Helvetica*, 58, pp.99–111
- [132] Peng, L.L.H./Jim, C.Y. (2013): Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation, In: *Energies*, 6(2), pp.598–618; unter: <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/2/598/> [28.02.2013].
- [133] Potchter, O./Cohen, P./Bitan, A. (2006): Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel, In: *International Journal of Climatology*, 26, pp.1695–1711
- [134] Pugh, T.A.M. et al. (2012): Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons, In: *Environmental science & technology*, 46(14), pp.7692–9; unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22663154> [02.04.2013]
- [135] Robitu, M. et al. (2006): Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate, In: *Solar Energy*, 80(4), pp.435–447; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X05002574> [08.03.2013]
- [136] Rosenzweig, C. et al. (2006): Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. A report to the New York State Energy Research and Development Authority.
- [137] Setälä, H. et al. (2012): Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*; unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23274234> [08.03.2013].
- [138] Shashuabar, L. et al. (2010): Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv , Israel, In: *International Journal of Climatology*, 30, pp.44–57
- [139] Smith, K./Roebber, P.J. (2011): Green Roof Mitigation Potential for a Proxy Future Climate Scenario in Chicago, Illinois, In: *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(3), pp.507–522

- [140] Soriano, C. et al. (2001): Comparison of urban and rural wind speeds, In: Rotach, M./Fisher, B./Pieringer, M. (Editors): *Meteorology Applied to Urban Air Pollution Problems (COST Action 715)*. Zürich, pp. 41–50
- [141] Speak, A.F. et al. (2013): Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage, In: *Urban Climate*; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212095513000023> [07.03.2013]
- [142] Spronken-Smith, R.A./Oke, T.R. (1998): The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates, In: *International journal of remote Sensing*, 19(11), pp.2085–2104
- [143] Sukopp, H./Wittig, R. (1998) *Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis*. Stuttgart
- [144] Taha, H./Akbari, H./Rosenfeld, A. (1991): Heat island and oasis effects of vegetative canopies. Micro meteorological field measurements, In: *Theoretical and Applied Climatology*, 44, pp.123–138
- [145] Takebayashi, H./Moriyama, M. (2007): Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, In: *Building and Environment*, 42(8), pp.2971–2979; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306001752> [24.02.2013]
- [146] Upmanis, H./Eliasson, I./Lindqvist, S. (1998): The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, In: *International Journal of Climatology*, 18, pp.681–700
- [147] Weber, S. (2004): *Energiebilanz und Kaltluftdynamik einer urbanen Luftleitbahn*. Essener Ökologische Schriften, 21, p.203
- [148] Weber, S./Kordowski, K./Kuttler, W. (2013): Variability of particle number concentration and particle size dynamics in an urban street canyon under different meteorological conditions, In: *Science of the Total Environment*, 449, pp.102–114
- [149] Weber, S./Kuttler, W. (2003): Analyse der nächtlichen Kaltluftdynamik und -qualität einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn, In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 63, pp.381–386
- [150] Weber, S./Kuttler, W./Weber, K. (2006): Flow characteristics and particle mass and number concentration variability within a busy urban street canyon, In: *Atmospheric Environment*, 40(39), pp.7565–7578
- [151] Weng, Q./Lu, D./Schubring, J. (2004): Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies, In: *Remote Sensing of Environment*, 89(4), pp.467–483; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425703003390> [03.03.2013]
- [152] Wong, N.H. et al. (2010 b): Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: *Building and Environment*, 45(3), pp.663–672; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230900198X> [08.03.2013]
- [153] Yang, J./Yu, Q./Gong, P. (2008): Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago, In: *Atmospheric Environment*, 42(31), pp.7266–7273; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231008006262> [08.03.2013]
- [154] Yilmaz, S. et al. (2007): Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey, In: *Building and Environment*, 42(4), pp.1604–1612; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000333> [08.03.2013]
- [155] Zhang, Y.-K./Schilling, K.E. (2006): Effects of land cover on water table, soil moisture, evapotranspiration, and groundwater recharge: A Field observation and analysis, In: *Journal of Hydrology*, 319(1-4), pp.328–338; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169405003690> [10.03.2013].
- [156] Scharf, B./Pitha, U./Trimmel, H. (2012): *Thermal performance of green roofs*. World Green Roof Congress, Copenhagen, Sept. 2012
- [157] Köhler, M./Malorny, W. (2009): *Wärmeschutz durch extensive Gründächer*, In: *Venzmer, H.: Europäischer Sanierungskalender 2009*, S.195–212
- [158] Fa. Vaillant, Planungsabteilung (2013): *Aussage zu Temperaturmessungen an Flachkollektoren bezogen auf den Zeitpunkt der Stillstandstemperatur*. Gesprächsnotiz basierend auf einem Telefonat, geführt vom Verfasser, am 14.06.13
- [159] Hegger, M. et al. (2007): *Energie Atlas. Nachhaltige Architektur*. München, S.119, Grafik B 4.36
- [160] Hegger, M. et al. (2007): *Energie Atlas. Nachhaltige Architektur*. München, S.119, Grafik B 4.34

- [161] Wölf, K. (2011): Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Versuchsanlage liefert den Beweis, In: ZinCo GmbH (Hrsg.): Pressebericht vom 24.03.2011; unter: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/zinco-gmbh/Dachbegrueung-erhoeht-Ertraege-der-Photovoltaik/boxid/413805> [13.05.2013]
- [162] Herfort, S./Tschukowa, S./Ibanez, A. (2013): Die Wahrheit zur CO₂-Bindung durch begrünte Dächer. Aktuelle Untersuchungsergebnisse und Diskussion, In: 11. Internationales FBB-Gründachsymposium 2013 in Ditzingen, Feb. 2013
- [163] Schenk, D. (2013): Vision für die Dachbegrünung des 21. Jahrhunderts, In: Zukunftskonzepte der Dachnutzung. Tagungsband Internationaler Gründach-Kongress 2013 in Hamburg, 13. – 15. Mai 2013
- [164] BBSR (2011): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB); unter: www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html [20.03.2013]
- [165] Hämmerle, F. (2010): Die Wirtschaftlichkeit von Gründächern aus Sicht des Bauherrn. Eine Kosten-Nutzen-Analyse; unter: www.efb-green-roof.eu/verband/fachbei/fa01.html [22.08.2013]
- [166] Deutscher Dachgärtner Verband e.V. (2013): Fragen und Antworten; unter: www.dachgaertnerverband.de/faq/index.php [15.05.2013]
- [167] Schmidt, M. (2009): Rainwater Harvesting for Mitigating Local and Global Warming. Fifth Urban Research Symposium 2009: „Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda“. Marseille, Frankreich, 28. bis 30. Juni 2009, In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung, Berlin, 2010; unter: <http://www.gebaeudekuehlung.de>
- [168] Hegger, M. et al., (2012): UrbanReNet. Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum. Schlussbericht, Anlage II
- [169] N.N. (2012): Researchers at the UPC develop a biological concrete for constructing “living” façades with lichens, mosses and other microorganisms; unter: <http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies> [16.01.2013]
- [170] ZinCo GmbH: Floratherm, Produktdatenblatt; unter: www.zinco.de/planungsportal/produktdatenblaetter/ZinCo_PDB_Floratherm_WD65H_WD120H.pdf [15.03.2013]
- [171] Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties, In: IFLA - International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition, 2012
- [172] Hager, H. (1911): Einfluß des Efeus auf Bauwerke, In: Die Gartenkunst 8 (4). S. 70-74, 85-87
- [173] Loudon, J.C. (1806): A treatise on forming, improving, and managing country residences; and on the choice of situations appropriate to every class of purchasers. London
- [174] Nussbaum, C. (1898): Die Ausbildung der Aussenflächen freistehender Gebäudewände, In: Deutsche Bauzeitung 3, S. 131-134, 142-146
- [175] Flügge, C. (1879): Das Wohnungsklima zur Zeit des Hochsommers. Beiträge zur Hygiene. Leipzig
- [176] Krünitz (1785): Oekonomische Encyclopädie oder allgemeines System der Staats- Stadt- Haus u. Landwirtschaft, in alphabetischer Ordnung.
- [177] Loudon, J.C. (1825): Encyclopädie des Gartenwesens, enthaltend die Theorie und Praxis des Gemüsebaues und der Blumenzucht, Baumzucht und der Landschaftsgärtnerei mit Inbegriff der neusten Entdeckungen und Verbesserungen. 2. Band. London
- [178] COLT, ARUP, SSC (2013): Produkte in Anwendung. Case History, BIQ Hamburg Elbinsel. Produktblatt, 04.2013
- [179] Stadtverwaltung München (Hrsg.): Häufig gestellte Fragen zum Sparen der Niederschlagswassergebühr; unter: www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/mse/Kundenservice/Gebuehren_sparen/faq_sparen_nieder_gebuehr.html#8 [12.06.2013]
- [180] ZinCo GmbH: Produktfamilie Solarzubehör; unter: www.zinco.de/planungsportal/produkte/produktfamilie.php?pf_id=18; [06.2013]
- [181] Kruschina, D. (2011): Nachhaltige Außenraumgestaltung durch Dachbegrünung. Präsentation der DGNB, 07.02.2011

- [182] Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potentiale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., Technische Universität Darmstadt
- [183] ina Planungsgesellschaft mbH, TU Darmstadt (Hrsg.) (2012): Zertifikatslehrgang. Vom Passiv- zum Plus-Energie-Haus im Neubau; unter: www.energieberater-ausbildung.de/lehrgaenge/zertifikatslehrgang-vom-passiv-zum-plus-energiehaus-im-neubau.html [13.06.2013]
- [184] Bürgerservice Darmstadt: Niederschlagswassergebühr; unter: [www.darmstadt.de/rathaus/buergerservice/?tx_civserv_pi1\[community_id\]=6411000&tx_civserv_pi1\[mode\]=service&tx_civserv_pi1\[id\]=15&cHash=b84297f109](http://www.darmstadt.de/rathaus/buergerservice/?tx_civserv_pi1[community_id]=6411000&tx_civserv_pi1[mode]=service&tx_civserv_pi1[id]=15&cHash=b84297f109) [27.05.2013]
- [185] BKI Kostenplanung (2013): Baukosten Positionen. Statistische Kostenkennwerte. Stuttgart
- [186] Stewart, I.D./ Oke, T.R. (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, In: Bulletin of the American Meteorological Society, 93, 1879-1900; unter: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> [15.03.2013]
- [187] Kissler + Effgen (2003): Hörsaal- und Institutsgebäude der philosophisch-theologischen Hochschule Sankt Georgen e.V., Symbiose von Natur und Gebautem; unter: <http://www.sankt-georgen.de/campus/nhg1.html> [20.05.2013]
- [188] Enzi, V./Scharf, B. (2012): Das Haus im „Grünen Pelz“. BÜROGEBÄUDE der MA 48, Einsiedlergasse 2, 1050 Wien, In: Fachzeitschrift für Architekten 04.2012, Wien, S. 28
- [189] Ziller, M. (2013): Smart ist Grün. Case study house im Rahmen der IBA Hamburg. Medieninformation; unter: http://www.zillerplus.de/wordpress/wp-content/uploads/Pressemappe_Smart_ist_Gruen_zillerplus_web.pdf [18.06.2013]
- [190] Competitionline Verlags GmbH Hrsg. (2012): Levent Green Office Building, Projekt-ID 5-48258, In: <http://www.competitionline.com/de/projekte/48258> [04.06.2013]
- [191] Bernard Tschumi Architects (2008): M2 Metro Station Lausanne; unter: <http://www.tschumi.com/projects/59/> [12.06.2013]
- [192] Van Uffelen, C. (2011): Facade Greenery. Contemporary Landscaping. Salenstein, S. 12-15
- [193] Appl, R. (2010): Arbeiten und entspannen auf schräge Art. Nutzbare Dachlandschaft einer Firma in Berlin Adlershof, In: Dach + Grün 2/2010, S. 22-25
- [194] Appl, R. (2012): Arbeiten und entspannen auf einem Schrägdach, In: Deutsches Ingenieursblatt 12/2012, S. 70-71
- [195] Schneider + Schumacher (2012): Erweiterung des Städel-Museums in Frankfurt a.M., In: Detail 4/2012, S. 30-35
- [196] Apovnik, A./Scheuermann, A. (2012): Pressinformation Städel Museum. Die Architektur der Städel-Erweiterung. Frankfurt, S. 1-5
- [197] Quelle 196: Stadt Wien (o. J.): Leistungen zum Thema Bauwerksbegrünung der MA 22. Tätigkeitsbericht 2009-2014, S. 1-3
- [198] Feinreiss, K./Commerell H.-J. (2009): RAGGI VERDI green visions for Milan 2015. LAND MILANO - Andreas Kipar, Giovanni Sala + Partner. Ausstellungskatalog AedesLand. Berlin
- [199] Greater london Authority, Hrsg. (2008): Living Roofs and Walls. Technical Report: Supporting London Plan Policy. London
- [200] Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie in Verbindung mit der Abteilung kommunikation, Hrsg. (2013): Klimawandel - Anpassungskonzept Stuttgart KLIMAKS, In: Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 1/2013. Stuttgart
- [201] Stadt Paris, Hrsg. (2006): Règlement du PLU. Zone urbaine generale. Caractère de la zone urbaine générale (UG). Paris, S. 75-77
- [202] Dachbegrünung - ökologisch optimiert und naturnah; unter: <http://www.naturdach.ch/planung/objektplanung/ausschreibungsvorgaben> [15.03.2013]
- [203] Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (2012): Ergebnisse der bundesweiten Umfrage von FBB und NABU 2012; unter: <http://www.fbb.de/dachbegrueenung/foerderung> [10.05.2013]
- [204] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.): Grüne Innenstadt - BBF-Biotopflächenfaktor. Ziele und Inhalte; unter: <http://stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/de/ziele.shtml> [10.04.2013]

- [205] Bundesministerium der Justiz, (Hrsg.) (2013): BauGB-Einzelnorm; unter: www.gesetze-im-internet.de/bbaug/_1.html [19.07.2013]
- [206] Umweltamt, Landeshauptstadt Mainz (Hrsg.): Dachbegrünungssatzung für die Neustadt; unter: <http://www.mainz.de/WGAPublisher/online/html/default/ddug-7fs9le.de.html> [20.07.13]
- [207] Ansel, W. et al. (2011): Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen. Nutzen - Fördermöglichkeiten - Praxisbeispiele. Kommunale Förderinstrumente. Nürtingen
- [208] DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH (2013): Dämmung Information für Verbraucher. Preise für Dämmmaterial; unter: www.daemmen-und-sanieren.de [05.08.13]
- [209] Hegger, M./Jenner, N./Gallner, S. (2011): Leitfaden zur Integration von Würth-Solar-Photovoltaik-elementen (CIS) in die Gebäudehülle im Zuge energetischer Sanierungen und zukunftsweisender Neubauten. Technische Universität Darmstadt, unveröffentlicht
- [210] ina Planungsgesellschaft mbH, TU Darmstadt (Hrsg.) (2012): Zertifikatslehrgang. Wohngebäude im Bestand, unter: www.energieberater-ausbildung.de/lehrgaenge/zertifikatslehrgang-wohngebäude-im-bestand.html [15.11.12]
- [211] BMVBS (Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development) (Hrsg.) (2012): smart energy-efficient building design. Germany + India 2011-2011. Infinite Opportunities. Berlin
- [212] Pisthol, W. (2009): Handbuch der Gebäudetechnik 2. Heizung/Lüftung/Beleuchtung/Energiesparen. Planungsgrundlagen und Beispiele. München
- [213] Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. (Hrsg.) (2000): Transparente Wärmedämmung. Eigenschaften und Funktionen. Informationsmappe 2. Version 2.0; unter: <http://umweltwand.de/twd/service/infos/info2.pdf> [07.12.2012]
- [214] Energiesparhaus.at: Dämmung; Transparente Wärmedämmung; unter: www.energiesparhaus.at/gebäudehülle/twd.htm [10.12.2012]
- [215] Pfeifer, G. et al. (2012): Untersuchungen zum energetischen Verhalten natürlich klimatisierter Gebäude, untersucht an den Beispielen Energieraum/Speichermasse und Luftkollektor/Speichermasse (bezogen auf die gemäßigte Klimazone); unter: www.guenterpfeifer.de/content/luftkollektor.html [12.12.12]
- [216] Schädler, M.: Luft-Solar-Haus.modern wohnen. energiesparend heizen; unter: <http://www.luft-solar-haus.de/energiesparend.html> [12.12.12]
- [217] Weber, M. (2011): Positive Wirkungen begrünter Dächer - Zusammenstellung positiver Fakten aus aller Welt. Diplomarbeit im Studiengang Landschaftsarchitektur. FH Erfurt, 2011
- [218] Rowe, D.B. (2010): Green roofs as a means of pollution abatement, In: Environmental Pollution 159 (8-9), S. 2100-2110
- [219] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (2013): CO2-Emissionsfaktoren. gem. GEMIS 4.8; unter: <http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/> [28.08.13]
- [220] Schmidt, M. (2003): Energy saving strategies through the greening of buildings. The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin- Adlershof, Germany. Proceedings World Energy and Climate Event, Rio de Janeiro, Brasilien, pp. 481-487; unter: <http://www.gebaeudekuehlung.de/Rio2003.pdf> [30.08.2013]
- [221] Milošovičová, J. (2010): Master's Thesis in Urban Design. Climate-Sensitive Urban Design in Moderate Climate Zone: Responding to Future Heat Waves. Case Study Berlin – Heidestrasse/ Europacity, 2010
- [222] Diener & Diener (2010): Einkaufszentrum »Stücki«, In: Archithese - Swiss Performance 10 1/2010, S. 70-75
- [223] Diener & Diener (2010): Städtisches neben der grünen Wiese. Einkaufszentrum Stücki, Basel/ CH, In: DBZ Deutsche Bauzeitschrift 4/2010, S. 26-33
- [224] Diener & Diener (2011): Stücki-Einkaufszentrum in Basel, In: Detail - »Konzept« Shopping 3/2011, S. 232 ff.
- [225] Hansen, R./Stahl, F. (1997): Die Stauden und ihre Lebensbereiche in Gärten und Grünanlagen. Stuttgart
- [226] Brandhorst, S./Siemens, M. (2012): Besondere Begrünungsformen an Wänden, Fassaden und Konstruktionen. Mooswände: Aufbau und Funktionsweise, In: Tagungsmappe 5. FBB-Fassadenbegrünungssymposium 2012 in Frankfurt am Main, S. 40-42

- [227] Hesse, T.A. (2005): Bioindikator „Flechte“, Literaturstudie. München, S. 27
- [228] Frahm, J.P. (2008): Feinstaubreduktion an Straßenrändern durch Moosmatten, In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Fachtagung Luftqualität an Straßen 5.-6. März 2008. Bergisch Gladbach, S. 47
- [229] Weber, M. (2011): Positive Wirkungen begrünter Dächer - Zusammenstellung von positiven Fakten aus aller Welt. Diplomarbeit Fachhochschule Erfurt, S. 46 - 48
- [230] MANN, G. (o.J.): Nutzen begrünter Dächer - eine Frage des Blickwinkels; unter: <http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/Nutzen%20Grunddach.pdf> [20.07.2013]
- [231] Kunstmann, H./Dietrich, F. (2009): Messtechnische Bestimmung der Schalldämmung einer Lärmschutzwand von Typ „COMPACTA“ der Firma Helix-Pflanzensysteme GmbH - Gutachten. Leipzig; unter: http://www.helix-pflanzensysteme.de/media/block_downloads/309/schallmessung-laermschutzwand-compacta.pdf [20.07.2013]
- [232] Oesterreicher, T. (2009): Transmission und Absorption von Schall in dichter Vegetation. Bachelor-Arbeit. Hochschule für Technik Stuttgart. Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart
- [233] Van Renterghem, T./Botteldoorn, D. (2008): Numerical evaluation of sound propagating over green roofs, In: *Journal of Sound and Vibration* 317 (3-5), S. 781-799
- [234] Van Renterghem, T./Botteldoorn, D. (2009): Reducing the acoustical facade load from road traffic with green roofs, In: *Building and Environment* 44 (5), S. 1081-1087
- [235] Feldmann, J./Möser, M./Volz, R. (o.J.): Umweltbelastung durch Verkehrsgläusche sowie Aspekte der Schallausbreitung und Schallabsorption in Straßenschluchten; unter: http://www.advacoustics.de/volz_laermsenken.pdf [20.07.2013]
- [236] Buchta, E./Hirsch, K.-W./Buchta, C. (1984): Lärmindernde Wirkung von Bewuchs in Straßenschluchten und Höfen. Bonn
- [237] Wong, N.H. et al. (2010 a): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: *Building and Environment*, 45(2), pp.411-420; unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001632> [02.05.2011]
- [238] Zimmermann, P. (1987): Dachbegrünung. Eine ökologische Untersuchung auf Kiesdach, extensiv und intensiv begrünten Dächern, In: *Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg* (62). Karlsruhe, S. 545-547
- [239] Mann, G. (1996): Faunistische Untersuchungen von drei Dachbegrünungen in Linz. Dachbegrünungen als ökologische Ausgleichsflächen, In: *Öko-L Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz* 18/3. Linz, S. 5 ff.
- [240] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abt. Klima- und Umweltberatung (2012): Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Jahressummen 2012. Hamburg
- [241] Jocher, T. (2010): Raumpilot. Grundlagen. Stuttgart, S. 144
- [242] Heinze, W./Schreiber, D. (1984): Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft* 75, 11-56
- [243] FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2002): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn 2002
- [244] Lagström, J. (2004): Do Extensive Green Roofs Reduce Noise? Malmö, S. 30; unter: <http://greenroofmalmo.files.wordpress.com/2012/02/010-reduce-noise1.pdf> [20.7.2013]
- [245] BOTT Begrünungssysteme GmbH, Hrsg. (2013): Produktkatalog 5, S. 71 ff.
- [246] Connelly, M./Hodgson, M. (2008): Thermal and Acoustical Performance of Green Roofs. Sound Transmission Loss of Green Roofs. Baltimore, S. 8; unter: http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/2008_grhc_connolly_hodgson.pdf [20.7.2013]
- [247] Genske, D.D./Jödecke, T./Ruff, A. (2008): Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Bonn

[248] Brandwein, T. (2012): Kletterpflanzen Übersicht; unter: biotekt.de/kletterpflanzen/uebersicht [09.08.2012]

[249] Gartenakademie - Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: Einjährige Kletterpflanzen - bunte Himmelsstürmer; unter: www.lwg.bayern.de/gartenakademie/infoschriften/gartengestaltung_ziergarten/12894/ [23.07.2012]

[250] Gottlob, D. (1985): Die Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltamt. Berlin, In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung 32, S. 96

[251] Köhler, M. (2010): Living Walls - die neue Dimension der Fassadenbegrünung, In: Neue Landschaft 11/2010

[252] Köthner, K.B. (2010): Pflanzen Fassadengebundene Begrünung. Fassadenbegrünungspflanzen für Pflanzkörbe; unter: <http://www.fbb.de/fassadenbegruenung/pflanzenlisten/> [19.09.2012]

[253] Staudengärtnerei Gaissmayer (o. J.): Stauden-Sortimente, unter: http://www.gaissmayer.de/index/seiten/stauden/stauden_aller_ueber_stauden.htm/ [19.09.2012]

[254] Stauden-Stade (o. J.): Stauden-Index, unter: <http://www.stauden-stade.de/>[19.09.2012]

[255] Kühn, N. (2011): Neue Staudenverwendung. Stuttgart

[256] Roth, L./Daunderer, M./Kormann, K. (1984): Giftpflanzen Pflanzengifte. Vorkommen - Wirkung - Therapie. Landsberg

[257] Ellenberg, H./Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart (Zeigerwertliste mit Erläuterungen)

9.4 Abbildungsverzeichnis

Allen, die durch Überlassung ihrer Bildvorlagen, durch Erteilung der Reproduktionserlaubnis und durch Auskünfte am Zustandekommen des Leitfadens mitgewirkt haben, sagen die Autoren herzlichen Dank.

Die überwiegende Anzahl der Zeichnungen für diesen Leitfaden sind Eigenanfertigungen. Abbildungen und Piktogramme ohne Bezeichnung stammen von den Autoren. Bei den abgebildeten Schnitten zu Wand- und Dachaufbauten handelt es sich um schematische Darstellungen ohne Anspruch auf konstruktive Vollständigkeit.

Hinweis: Die in diesem Leitfaden gezeigten Projektfotos sind nicht frei von Rechten Dritter.

Abb. 1, S. 11:
Wirkpotenziale der Gebäudebegrünung auf den Stadtraum, das Grundstück und das Gebäude.
TU Darmstadt, FGee, FGe+f, Darmstadt 2012

Abb. 2, S. 14:
Die "Haut" der Stadt - ungeschützt, überhitzt und ohne Regenwasser-Rückhalt
Nicole Pfoser 2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 3, S. 15:
Die "Haut" der Stadt - durch Begrünung beschattet, Regenwasser-Bindung
Nicole Pfoser 2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 4, S. 16:
Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima
© Nicole Pfoser 11/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 5, S. 17:
Einfluss der Dachbegrünung auf das Mikroklima
© Nicole Pfoser 12/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 6, S. 18:
Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima
© Nicole Pfoser 11/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 7, S. 19:
Einfluss der Dachbegrünung auf das Mikroklima
© Nicole Pfoser 12/2012

Abb. 8, S. 21:
Entscheidungskriterien zur Bauwerksberünung
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 9, S. 22:
rechte Seite: Anwendungskriterien "Stadtraum"
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 10, S. 24:
rechte Seite: Anwendungskriterien "Gebäude"
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 11, S. 26:
rechte Seite: Gestaltungskriterien "Pflanze"/Kletterpflanzen
© Nicole Pfoser 09/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 12, S. 28:
rechte Seite: Gestaltungskriterien "Pflanze"/Moose, Stauden, Gehölze
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 13, S. 30:
rechte Seite: Lebensbereich-Kriterien von Pflanzengesellschaften
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt
Grundlage: Heinze, W./Schreiber, D. (1984): Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft 75, 11-56;
Deutscher Wetterdienst (DWD), Abt. Klima- und Umweltberatung (2012): Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Jahressummen 2012. Hamburg;
Jocher, T. (2010): Raumpilot. Grundlagen. Stuttgart, S. 144;
Hansen, R./Stahl, F. (1997): Die Stauden und ihre Lebensbereiche in Gärten und Grünanlagen. Stuttgart;
lexikon.wasser.de [16.08.2013];
http://www.stauden.de/cms/staudenverwendung/standort/standort_naehrstoffe.php [09.10.2012]

Abb. 14, S. 32:

rechte Seite: Versorgungstechnische Kriterien
© Nicole Pfoser 10/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 15, S. 34:

Systematik Bodengebundene Begrünung
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt
Grundlage: FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Bonn, S. 19, Abb. 8

Abb. 16, S. 35:

Systematik Wandgebundene Begrünung
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 17, S. 37:

Systematik Mischformen
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 18, S. 38:

Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken
© Nicole Pfoser 01/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt
Grundlage: FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Bonn, S. 12-18

Abb. 19, S. 39:

Konstruktionskriterien Fassadenbegrünung
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt
Grundlage: Diagramme FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Bonn, S. 19, Abb. 8;
Kaltenbach, F. (2008): Lebende Wände, vertikale Gärten - vom Blumentopf zur Systemfassade, In: Detail. Zeitschrift für Architektur + Baudetail 12/2008, S. 1455

Abb. 20, S. 40:

Ausbildungsformen der Fassadenbegrünung: ① Direktbewuchs mit Selbstklimmern, bodengebunden. ② Leitbarer Bewuchs an separater Wuchskonstruktion, bodengebunden. ③ Pflanzgefäße, horizontale Vegetationsflächen, wandgebunden. ④ Modulares System, vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden. ⑤ Flächige Konstruktion, vertikale Vegetationsflächen, wandgebunden.
© Nicole Pfoser 05/2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 21, S. 42:

Parthenocissus tricuspidata - Dreilappiger Wilder Wein
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 22, S. 42:

Bodengebundene Fassadenbegrünung mit sommergrünem Parthenocissus tricuspidata.
a) Winter, b) Herbst, c) Sommer
Fotos: Nicole Pfoser 2011

Abb. 23, S. 42:

Systeme (Prinzipschnitte). Bodengebundener Direktbewuchs der Fassade mit Selbstklimmern: ① Hedera Helix, immergrün, ② Parthenocissus tricuspidata, sommergrün (Winter).
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 24, S. 44:

Alpine Finanz, Opfikon, Schweiz
Foto: © Jakob AG 2009

Abb. 25, S. 44:

Swiss Re Hauptverwaltung, Unterföhring
Foto: © May Landschaftsbau GmbH & Co 2001

Abb. 26, S. 44:

Laubengang, PTH Frankfurt
Foto: N. Pfoser 2013

Abb. 27, S. 44:

Fassadenbegrünung Prinz Georg Garten Darmstadt
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 28, S. 44:

Systeme (Prinzipschnitte). Leitbarer Bewuchs an separater Wuchskonstruktion, bodengebunden: ① Holzkonstruktion, ② Stäbe, ③ Seile/Netze vor Glasfläche, ④ Seile/Netze vor TWD.
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 29, S. 46:
Flower Tower, Paris
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 30, S. 46:
Ausschnitt Fassade MA48, Wien
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 31, S. 46:
"Blumenregal" Stücki Shopping, Einkaufszentrum
Foto: © Jakob Rope Systems

Abb. 32, S. 46:
Mehrschichtige Fassade, Tekfen Levent Ofis
Foto: Molestina Architekten

Abb. 33, S. 46:
Systeme (Prinzipschnitte). Substrat in Gefäßen
(Einzel- oder Linearbehälter) ① ② ③ ④
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 34, S. 48:
Ausschnitt modulare Fassadenbegrünung
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 35, S. 48:
Modul
Foto: © greenwall.fr

Abb. 36, S. 48:
Monochrome Bepflanzung
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 37, S. 48:
Direkt begrünte Ziegel
Foto: © geomoss.fr

Abb. 38, S. 48:
Systeme (Prinzipschnitte). Substrat in Elementeinheiten aus Gitterkörben, Metall oder Kunststoff ① ② ③, substrattragende Rinnensysteme ④, direkt begrünte Ziegel/Stein- oder Betonplatten mit Begrünungsfördernder Oberflächenplastizität ⑤ ⑥, nährstoffhaltige Mattensysteme ⑦ ⑧
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 39, S. 49:
Typische Feuchtwerte und Saugspannung (hPa) Substrat/Substratersatz
Nicole Pfoser 2012, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt
Grundlage: Bambach, G. (2012): Feuchtigkeit in Grünen Wänden messen und steuern, In: Tagungsband 5. FBB-Symposium Fassadenbegrünung am 24.10.2012. Frankfurt

Abb. 40, S. 50:
Begrünte Textil-Systeme Patrick Blanc: a) Musée Quai Branly, b) BHV Homme, Paris
Fotos: Nicole Pfoser 2011

Abb. 41, S. 50:
Begrüntes Textil-Substrat-System
Foto: © Vertiko GmbH

Abb. 42, S. 50:
Begrünte Metallfassade, Kengo Kuma & Ass., Green Cast, Odawara-shi
Foto: © Daici Ano

Abb. 43, S. 50:
Fassadenausschnitt
Harmonia 57, São Paulo
Foto: © Triptyque Architecture - Nelson Kon

Abb. 44, S. 50:
Systeme (Prinzipschnitte). Textil-System Direktmontage ①, Textil-Systeme ②, Textil-Substrat-Systeme ③, Metallblech-Systeme ④, Direktbegrünung auf Nährstofftragender Wandschale ⑤
© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 45, S. 52: Fassade Institut für Physik, Humboldt-Universität, Berlin-Adlershof
Foto: N. Pfoser 2009

Abb. 46, S. 52:
Ex Ducati, Rimini
Foto: © Mario Cucinella Architects Srl

Abb. 47, S. 52:
MFO Park Zürich-Oerlikon
Foto: © Jakob AG

Abb. 48, S. 52:
"Platanenkubus" Nagold
Foto: © ludwig.schönle

Abb. 49, S. 52:

Systeme (Prinzipschnitte). Bodengebundene Begrünung in Kombination mit Begrünung in Gefäßen
① ② ③ ④. Ggf. Kletterhilfen erforderlich (Seile, Stäbe, Gitter, Netze)

© Nicole Pfoser 09/2009, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 50, S. 54-55:

Konstruktive und vegetationstechnische Entscheidungsparameter zur Fassadenbegrünung

© Nicole Pfoser 07/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Grundlage Diagramme und Inhalte:

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Bonn, S. 19, Abb. 8;

Kaltenbach, F. (2008): Lebende Wände, vertikale Gärten - vom Blumentopf zur Systemfassade, In: Detail. Zeitschrift für Architektur + Baudetail 12/2008, S. 1455;

Pfoser, N. (2010 a): Architekturmedium Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, In: Stadt+Grün 03/2010, S. 54-59;

Pfoser, N. (2010 d): Fassadenbegrünung – die Notwendigkeit einer neuen Systematik, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [14.03.2011];

Pfoser, Nicole (2011 b): Erweiterte „Systematik“ der Fassadenbegrünung – Eigenschaften und Unterschiede von boden- und fassadengebundenen Begrünungssystemen, In: Biotope City – International Journal for City as Nature. Amsterdam; unter: www.biotope-city.net [20.09.2011];

Pfoser, N. (2011 c): Fassadenbegrünung. Erweiterte Systematik, In: Bauwerksbegrünung. Jahrbuch 2011. Stuttgart, S. 97-103;

Pfoser, N. (2009): Fassade und Pflanze – Potentiale einer neuen Fassadengestaltung, In: Tagungsmappe 2. FBB-Fassadenbegrünungssymposium 2009 in Frankfurt am Main, S. 10-16 und Präsentation (insbesondere Folien 35-36);

Pfoser, N. (2011 a): Systematik der Fassadenbegrünung, In: Tagungsmappe und Präsentation FLL-Forum am 09.02.2011. Bonn

* Angabe der Werte FBB-Projektgruppe Fassadenbegrünung, FLL-Regelwerk-Ausschuss Fassadenbegrünung/Ergänzungen N. Pfoser 1/2013

Abb. 51, S. 56:

Systematik Extensivbegrünung
© Nicole Pfoser 01/2013

Abb. 52, S. 57:

Systematik Intensivbegrünung
© Nicole Pfoser 01/2013

Abb. 53, S. 57:

Systematik Sonderformen der Dachbegrünung
© Nicole Pfoser 01/2013

Abb. 54, S. 59:

linke Seite: Dachkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken: Einschalig ungedämmt ① ② ③ ④, Zweischalig ungedämmt, belüftet ⑤ ⑥; rechte Seite: Einschalig, gedämmt, unbelüftet ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

© Nicole Pfoser 01/2013

Abb. 55, S. 61:

linke Seite: Dachkonstruktionen und geeignete Begrünungstechniken: Einschalig, gedämmt, unbelüftet (Umkehrdach) ①, Einschalig, gedämmt, unbelüftet mit Zusatzdämmung ②, Zweischalig, gedämmt, belüftet ③ ④ ⑤

© Nicole Pfoser 01/2013

Abb. 56, S. 61:

Dachkonstruktionen und geeignete Pflanzenauswahl
© Nicole Pfoser 5/2013

Abb. 57, S. 63:

Spontanbegrünung Stützmauer mit Moosen, Flechten

Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 58, S. 63:

Spontanbegrünung Mauerkrone mit Moosen, Flechten

Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 59, S. 63:

„biological concrete“, Universität Politècnica de Catalunya, Barcelona - Aviation Center, El Prat de Llobregat-Barcelona
Simulation: © ESCOFET

Abb. 60, S. 64:

Extensive Dachbegrünung - Moosmatten, „Kongresshaus Baden-Baden 2012“,
Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH

Abb. 61, S. 64:

Prada, Tokyo, Herzog & de Meuron, 2003
Foto: © Tim Brown Architecture

- Abb. 62, S. 65:
Extensive Dachbegrünung - Sedummatten
Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH
- Abb. 63, S. 65:
Extensive Dachbegrünung - Ev. Gemeindezentrum
Brühl
Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH
- Abb. 64, S. 66:
Extensive Dachbegrünung - University College,
Amsterdam
Foto: © Schadenberg
- Abb. 65, S. 66:
Sedum
Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH
- Abb. 66, S. 67:
Intensive Dachbegrünung Sommerwiese
Foto: © ZinCo GmbH
- Abb. 67, S. 67:
Verwaltungszentrum Konradinerallee, Wiesbaden
Intensivbegrünung einer Tiefgaragendecke
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 68, S. 68:
Urban Farming - Gemüseanbau auf dem Dach
Foto: © ZinCo GmbH
- Abb. 69, S. 68:
Dachterrasse Immeuble Spirit of Future, 7 rue du
Docteur Lancereaux, Paris
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 70, S. 68:
Pflanzgefäße Innenhof Württembergische
Gemeindeversicherung (WGV)
Foto: © Kunder Landschaftsarchitektur
- Abb. 71, S. 69:
Modulare Dachbegrünung - Vorkultivierte
Sedumkisten
Foto: © BOTT Begrünungssysteme GmbH
- Abb. 72, S. 69:
Freecell, Earth Cinch
Foto: © Freecell Architecture LLC
- Abb. 73, S. 70:
Vegetation Retentionsdach Kelterei Possmann
Frankfurt/Main
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 74, S. 70:
Vegetationsmatte Retentionsdach Kelterei Possmann
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 75, S. 70:
Zugang, Oberlicht Retentionsdach Kelterei Possmann
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 76, S. 70:
Wasserzulauf Retentionsdach Kelterei Possmann
Foto: Nicole Pfoser 2012
- Abb. 77, S. 72-73:
Konstruktive und vegetationstechnische Entschei-
dungsparameter zur Dachbegrünung
© Nicole Pfoser 12/2012
Grundlage Diagramme und Inhalte:
FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsent-
wicklung Landschaftsbau e.V.): Richtlinie für die
Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrü-
nungen, Bonn 2002;
Appl, R.; Mann, G. (2012): Gründächer und
Dachgärten, In: Köhler, M. Hrsg (2012): Handbuch
Bauwerksbegrünung, Planung - Konstruktion -
Ausführung, Köln;
Köhler, M. et al. (1993): Fassaden- und Dachbegrü-
nung. Stuttgart;
Krupka, B. (1992): Dachbegrünung, Pflanzen- und
Vegetationsanwendung an Bauwerken. Stuttgart
- Abb. 78, S. 76:
Diagramm Pflanzen- und baubedingte Schäden
© Nicole Pfoser 12/2012.
Grundlage: Schadensvermeidung bei der Anbrin-
gung von Fassadenbegrünung, In: Biotope City –
International Journal for City as Nature. Amster-
dam; unter: www.biotope-city.net [26.12.2012]
- Abb. 79, S. 79:
Diagramm Planungsschritte für eine pflanzenge-
rechte und schadensfreie Gebäudebegrünung
© Nicole Pfoser 12/2012.
Grundlage: Schadensvermeidung bei der Anbrin-
gung von Fassadenbegrünung, In: Biotope City –
International Journal for City as Nature. Amster-
dam; unter: www.biotope-city.net [26.12.2012]
- Abb. 80, S. 82:
20-20-20-Regelung, EU Gebäuderichtlinie.
TU Darmstadt, FGee
- Abb. 81, S. 83:
Die fünf Energiethemen.
Energieberater TU Darmstadt, [www.energieberater-
ausbildung.de/lehrgaenge/zertifikatslehrgang-vom-
passiv-zum-plus-energie-haus-im-neubau.html](http://www.energieberater-
ausbildung.de/lehrgaenge/zertifikatslehrgang-vom-
passiv-zum-plus-energie-haus-im-neubau.html)

Abb. 82, S. 85:

oben Mitte: Apartmenthaus in Innsbruck/A.
Manzl-Ritsch-Sandner Architekten, Foto: Bucca-
diez & Rumpäg, Innsbruck

Abb. 83, S. 86:

oben Mitte: Siedlung de Bomenbuurt, Ulft von
ARX Architekten.
Solarlux, Bissendorf

Abb. 84, S. 87:

oben Mitte: Passivhaus in Liebefeld, Bern.
Halle 58 Architekten GmbH, Prof. Peter Schurch,
Foto: Christine Blaser, Bern

Abb. 85, S. 88:

oben Mitte: Umweltbundesamtes in Dessau
Foto: Nathalie Jenner

Abb. 86, S. 90:

oben Mitte: TWD-Fassade für Profilglas, BERU
Electronics GmbH, Bretten.
wacotech.de

Abb. 87, S. 91:

oben Mitte: Patchworkhaus, Müllheim, Pfeifer
Kuhn Architekten.
Pfeifer Kuhn Architekten, Foto: Fotostudio Ruedi
Walti, Basel

Abb. 88, S.93:

oben links: Haus P, Steinbach im Taunus.
ee concept GmbH, Foto: Eibe Sönnecken, www.
eibefotografie.de

Abb. 89, S. 93:

oben rechts: Solar Decathlon-Sieger 2009, Sur-
PLUShome der TU Darmstadt.
TU Darmstadt, FGee, Foto: Thomas Ott, www.o2t.de

Abb. 90, S. 95:

oben links: Dachintegrierte Solarkollektoren Sport-
halle Markt Großostheim.
Foto: Nicole Pfoser 2003

Abb. 91, S. 95:

oben rechts: Wohn- und Geschäftshaus, Müh-
lebachstrasse in Zürich.
© kämpfen für architektur ag, Zürich, Foto: René
Rötheli, Baden

Abb. 92, S. 96:

links: Mensa, Veranstaltungs- und Sporthalle,
Buchhausen-Vilsen.
EK & P - Architektur, www.architekten-ekp.de,
Foto: Gabriele Beuter-Kijewski

Abb. 93, S. 96:

rechts: Holzfassade mit dezentralen Lüftungsele-
menten des Woodcube-Gebäudes, IBA Hamburg.
Foto: F. Hassemer

Abb. 94, S. 98:

Übersicht effizienzfördernder und Energiegewin-
nender Gebäudehüllsysteme.
TU Darmstadt, FGee

Abb. 95, S. 103:

Schematische Darstellung von traditionellen Ener-
gie- und Begrünungsmaßnahmen in gemäßigten
Klimazonen.
TU Darmstadt, FGee/FGef, nach:
Bild 1-2,4-8 von links: Hegger, M./Hartwig, J./
Keller, M. (2012): Wärmen und Kühlen. Basel, S.26;
Bild 3 von links: Schilli, H. (1953): Das Schwarz-
waldhaus. Stuttgart, S.63 ff.;
Bild 3, 13 von links: Brunner, R. et al. (2009): Das
Klima als Entwurfsfaktor. Luzern, S.48 ff.

Abb. 96, S. 105:

Qualitative Darstellung des Heizwärme- und Kühl-
bedarfs aufgrund sommerlicher, solarer Lasten,
in Überlagerung mit dem Wirkungszeitraum von
Immergrünen Pflanzen.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 97, S. 105:

① Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit
linearen Pflanzelementen; ② Bodengebundene
Fassadenbegrünung; ③ Intensive / extensive Dach-
begrünung mit und ohne Drainage: Darstellung der
Unterstützung des Dämmeffekts.
© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade
und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadenge-
staltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 98, S. 106:

unten rechts: Messungen des Wärmedurchgangs
verschiedener extensiver und intensiver Gründach-
aufbauten im Vergleich zu einem Kies-, Bitumen-,
und Blechdach im Februar 2011.
Scharf, B./Pitha, U./Trimmel, H. (2012): Thermal
performance of green roofs. World Green Roof
Congress, Copenhagen, Sept. 2012

Abb. 99, S. 106:

unten links: Testfeld verschiedener Dachbegrü-
nungen und konventioneller Dachaufbauten des
Forschungsvorhabens GrünStadtKlima in Wien.
Scharf, B./Pitha, U./Trimmel, H. (2012): Thermal
performance of green roofs. World Green Roof
Congress, Copenhagen, Sept. 2012

Abb. 100, S.107:

links: begrünte Fassade des Magistrats der Stadt Wien im August 2011;
rechts: Thermografieaufnahme der IBLB der z.T. verputzten Sockelzone und der Begrünungszone im 1.OG.

Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties, In: IFLA - International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition, 2012

Abb. 101, S. 107:

unten links: Messungen des Wärmedurchgangs an der Fassade des Magistrats der Stadt Wien (MA48) durch die IBLB im März 2011.

Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties, In: IFLA - International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition, 2012

Abb. 102, S. 107:

unten rechts: Wandgebundene lineare Fassadenbegrünung, MA 48
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 103, S. 108:

Öffnungsbereiche und Gebäudebegrünung unter Berücksichtigung solarer Energiegewinne: Konstruktive Begrenzungen von wand- ① und bodengebundenen ② Begrünungen an Fensterleibungen; Einsatz sommergrüner Pflanzen ③.

© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 104, S. 109:

vertikale ① und horizontale ② Sonnenschutzsysteme aus sommergrünen Ranksystemen und deren physikalische Wirkung: Reflexion, Absorption, Transpiration und Transmission.

© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 105, S. 110:

links: „Flower Tower“, Paris.
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 106, S. 110:

rechts: Messergebnisse von Temperatur und relativer Luftfeuchte im August am „Flower Tower“ in Paris. Beispielhafte Darstellung des Kühleffekts durch Verschattung und Verdunstung der Pflanzen.
© Nicole Pfoser 08/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 107, S. 110:

Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie von solarem Wärmeeintrag, Verschattungsbedarf und Wirkungszeitraum sommergrüner Bepflanzung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 108, S. 110:

Mögliche Substitution von Sonnenschutzsystemen durch Gebäudebegrünung.

TU Darmstadt, FGee;

Fotos: 1.Reihe, 1. Bild von links: Plus-Energie-Haus, Solar Decathlon 2007, TU Darmstadt.

TU Darmstadt, FGee;

1.Reihe, 2. Bild von links: Passivhaus in Liebefeld, Bern mit Holzjalousien.

Halle 58 Architekten GmbH, Prof. Peter Schurch, Foto: Christine Blaser, Bern;

1.Reihe, 3. Bild von links: Bibliotheks- und Hörsaalgebäude, Lichtwiese, TU Darmstadt.

Foto: Nathalie Jenner;

1.Reihe, 4. Bild von links: Wohngebäude mit Holz-schiebeläden, HafenCity Hamburg.

Foto: Nathalie Jenner;

1.Reihe, 5. Bild von links: Bedrucktes Glas, Kunstmuseum Stuttgart.

Foto: Nathalie Jenner;

2. Reihe, 1. Bild von links: Überkopf geführte Kletterpflanzen.

Foto: Nicole Pfoser 2011;

Bild 2.Reihe 2. von links: „Flower Tower“, Paris.

Foto: Nicole Pfoser 2011;

2. Reihe, 3. Bild von links: Institutsgebäude für Physik der Humboldt-Universität in Berlin-Adlershof.

Foto: Nicole Pfoser 2009;

2. Reihe, 4. Bild von links: WallPanter®-Fassade.

Mobilane GmbH - Sofort Grünsysteme;

2. Reihe, 5. Bild von links: Innenansicht einer Fassadenbegrünung als außenliegender Sonnenschutz des Hörsaalgebäudes der PTH Frankfurt.

Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 109, S. 111:

Fassadenbegrünung als außenliegender Sonnenschutz des Hörsaalgebäudes der PTH Frankfurt.

Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 110, S. 111:

unten links: Beispiel für eine Ermittlung des Abminderungsfaktors (F_c) für Sonnenschutzsysteme. TU Darmstadt, FGee, nach: Hegger, M. et al.

(2007): Energie Atlas, Nachhaltige Architektur. München, S. 99;

unten rechts: Abminderungsfaktoren für Sonnenschutzsysteme nach DIN 4108 unter Einordnung der Abminderungsbestimmung von Gerüstkletterpflanzen. TU Darmstadt, FGee/FGe+f nach: Baumann, R.

(1980): Pflanzliche Verschattungselemente an der Gebäudeoberfläche als Maßnahme zur Reduzierung der Strahlungsbelastung unter sommerlichen Bedingungen. Kassel, S. 75 ff.

Abb. 111, S. 112:
Energiebilanz im Tagesmittel. Vergleich eines unbegrünt und eines begrünt Daches.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f nach: Schmidt, M. (2003): Energy saving strategies through the greening of buildings. The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin-Adlershof, Germany. Proceedings World Energy and Climate Event, Rio de Janeiro, Brasilien, pp. 481-487. www.rio12.com/rio3

Abb. 112, S. 113:
Rue Alsace 21, Paris.
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 113, S. 113:
Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie von solarem Wärmeeintrag, Kühlbedarf und Wirkungszeitraum sommergrüner Bepflanzung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 114, S. 113:
Beispiel der Kühlwirkung einer wandgebundenen, bewässerten Fassadenbegrünung anhand der Messungen an der Fassade des Musée du Quai Branly, Paris.
© Nicole Pfoser 08/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 115, S.114:
oben links: Fassadenbegrünung als außenliegender Sonnenschutz des Institutsgebäudes für Physik der Humboldt-Universität in Berlin-Adlershof.
Foto: Nicole Pfoser 2009

Abb. 116, S. 114:
oben rechts: Reale Verdunstung einer Fassadenbegrünung aus Pflanzkübeln. Durchschnittlicher Tagesverlauf des Wasserbedarfs einer Anstaubewässerung im Zeitraum von 2 Sommermonaten (mm/Tag sowie Verdunstungsäquivalent in kWh). Schmidt, M. (2010): Durchschnittliche Verdunstung der Fassadenbegrünung. Adlershof Physik 15.07. bis 14.09.2005, In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Berlin, S.36

Abb. 117, S. 114:
Institutsgebäude in Wageningen.
Behnisch Architekten, Foto: Christian Kandzia

Abb. 118, S.116:
Messung an zwei verschiedenen Doppelhaushälften, mit und ohne Gebäudebegrünung, zur Quantifizierung der Kühlwirkung der Pflanze.
© Nicole Pfoser 08/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt;
Bild rechts: Fassade Doppelhaus Ohlystraße, Darmstadt.
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 119, S. 116:
Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen immer- sowie sommergrünen Pflanzen und natürlicher Lüftung bzw. Nachtspülung, deren Funktion i.d.R. in die Sommermonate fällt, in denen ein erhöhter Kühlbedarf besteht.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 120, S. 117:
oben links: Oberflächentemperaturen verschiedener Wandoberflächen mit und ohne Begrünung im Vergleich zu der Umgebungstemperatur im August.
© Nicole Pfoser 08/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 121, S. 117:
oben rechts: Luftfeuchte verschiedener Wandoberflächen mit Begrünung im Bezug zur Umgebungstemperatur im August.
© Nicole Pfoser 08/2011, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 122, S. 117:
Theoretische Betrachtung der Synergie von Gebäudebegrünung und natürlicher Lüftung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 123, S. 118:
① Gerüstkletterpflanze vor TWD auf tragender Massivwand und ② als transluzentes Fassadenelement in einer Pfosten-Riegel-Fassade. Schematische Darstellung der Konstruktion sowie Funktionsprinzipien einer TWD-Fassade in Kombination mit Gebäudebegrünung für den Sommer- sowie Winterfall.
© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 124, S. 119:

Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen TWD und sommergrünen Pflanzen.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 125, S. 119:

Vorderansicht der TWD-Fassade mit Weinlaub am 02.10.2000. Versuchsaufbau Universität Cottbus. Fischer, U. (2002): Optimierung von TWD-Speichersystemen unter Beachtung der Bauschadensfreiheit. Natürliche Begrünung als sommerlicher Überhitzungsschutz, Schlussbericht zum BMWi-Projekt 0335004 V/2. Cottbus, S. 30

Abb. 126, S. 120:

① Luftkollektorfassade (Glas-, Acrylglas-, Polycarbonatplatte, vorgehängt vor massiver Wand); ② mit Gerüstkletterpflanze. Schematische Darstellung der Konstruktion sowie Funktionsprinzipien für den Winter- ① sowie Sommerfall ②.
© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 127, S. 121:

Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen Luftkollektor und sommergrünen Pflanzen in Bezug auf deren verschattende und kühlende Wirkung in den Sommermonaten.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 128, S. 121:

unten links: Patchworkhaus, Müllheim.
Pfeifer Kuhn Architekten, Foto: Fotostudio Ruedi Walti, Basel

Abb. 129, S. 121:

unten rechts: Diagramm zu den Messergebnissen des Monitorings des Patchworkhauses im Fassadenzwischenraum des Luftkollektors im Juni 2012. TU Kaiserslautern, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Hauskybernetik, Jun. Prof. Dr.-Ing. Angèle Tersluisen

Abb. 130, S. 123:

PV-Aufdachanlage mit extensiver Dachbegrünung.
Foto: ZinCo GmbH

Abb. 131, S. 123:

Qualitative Darstellung der saisonalen Synergie zwischen dem Kühlbedarf der Module in den Sommermonaten durch sommer- wie auch immergrüne Gebäudebegrünung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 132, S. 123:

Konstruktive Kombinationsmöglichkeiten von PV und Gebäudebegrünung: ① vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit PV-Panel und wandgebundener Begrünung; ② Pfosten-Riegel-Fassade mit integrierter PV-Scheibe und bodengebundener Begrünung; ③ Flachdach mit aufgeständerter PV-Anlage und extensiver Gebäudebegrünung im Vergleich zu einem konventionellen Dachbelag; ④ Schrägdach mit PV-„Solarziegeln“ in Kombination mit einem extensiven Begrünungssystem, Darstellung der Synergie über den Kühleffekt der Pflanze.
© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 133, S. 124:

Temperaturverlauf einer Oberflächentemperaturmessung im Juni auf einem extensiv begrünten Flachdach im Vergleich zu einem Bitumendach in der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof.
Schmidt, M. (2003): Energy saving strategies through the greening of buildings. The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin-Adlershof, Germany. Proceedings World Energy and Climate Event, Rio de Janeiro, Brasilien, pp. 481-487. www.rio12.com/rio3

Abb. 134, S. 125:

links: Photovoltaik-Aufdachanlage mit Dachbegrünung
Foto: ZinCo GmbH

Abb. 135, S. 125:

rechts: Messanlage auf Versuchsdach der Fa. ZinCo: Im Vordergrund Module 1 und 2 auf einer Bitumenfläche, im Hintergrund das Modul 3 auf der Dachbegrünung.
Foto: ZinCo GmbH, In: Wölfl, K. (2011): Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Versuchsanlage liefert den Beweis, In: ZinCo GmbH (Hrsg.): Pressebericht vom 24.03.2011; unter: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/zinco-gmbh/Dachbegruenung-erhoeht-Ertraeeder-Photovoltaik/boxid/413805> [13.05.2013]

Abb. 136, S. 125:

Temperaturmessung der Versuchsanlage von PV-Modulen auf einem Bitumendach und über Dachbegrünung: im Jahresgang (oben) und im Tagesgang (unten).
ZinCo GmbH, In: Wölfl, K. (2011): Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Versuchsanlage liefert den Beweis, In: ZinCo GmbH (Hrsg.): Pressebericht vom 24.03.2011; unter: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/zinco-gmbh/Dachbegruenung-erhoeht-Ertraeeder-Photovoltaik/boxid/413805> [13.05.2013]

Abb. 137, S. 126:

Theoretische Betrachtung einer Wirkungsgradminderung eines FLK im Sommerfall im Vergleich zu einer extensiven Dachbegrünung (V1) zu einem Bitumendach (V2).

TU Darmstadt, FGee nach: Hegger, M. et al. (2007): Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. München, S.119, Grafik B 4.34

Abb. 138, S. 127:

Flachkollektoren in Kombination mit Gründach, Südorientierung, Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg.

Dr. W. Feist, et al.(2001): Klimaneutrale Passivhaus-Reihenhaussiedlung Hannover-Kronsberg. In: CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18, Hannover; Fotografie: proKlima - Der enercity-Fonds, Hannover

Abb. 139, S. 127:

Qualitative Darstellung der Abminderung der Wärmeerzeugung durch eine erhöhte Temperaturdifferenz (Außenluft/Absorber) in den Sommermonaten.

TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 140, S. 127:

Konstruktive Kombinationsmöglichkeiten von PV und Gebäudebegrünung: ① vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit Flachkollektor und einer wandgebundenen Fassadenbegrünung; ② aufgeständerter Flachkollektor auf einem extensiven Gründach; ③ in Schrägdach integrierter Flachkollektor und Dachbegrünung, unter Darstellung der physikalischen Wirkung.

© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 141, S. 129:

Gründach mit Zuluft und Abluft über Gründach, Nordorientierung, Passivhaussiedlung, Hannover Kronsberg.

Dr. W. Feist, et al.(2001): Klimaneutrale Passivhaus-Reihenhaussiedlung Hannover-Kronsberg. In: CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18, Hannover; Fotografie: proKlima - Der enercity-Fonds, Hannover

Abb. 142, S. 129:

Qualitative Darstellung der Abminderung der Wärmeerzeugung durch eine erhöhte Temperaturdifferenz (Außenluft/Absorber) in den Sommermonaten.

TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 143, S. 129:

Theoretische Betrachtung einer dezentralen kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung mit thermischem Effekt einer vorgelagerten Gebäudebegrünung. TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 144, S. 130:

Systematische Darstellung der verschiedenen Feuchtdach-Typen (Retentionsdächer); Regulierte Wasserführung unter Substrat ①, in Substrat ②, auf Substrat ③.

© Nicole Pfoser 2013, In: Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., TU Darmstadt

Abb. 145, S. 131:

Vegetation Retentionsdach Kelterei Possmann Frankfurt/Main.

Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 146, S. 131:

Multifunktionale Gründachanlage, Fa. Possmann in FFM.

Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 147, S. 133:

links: Fassadenbegrünung, Jahnstraße, Darmstadt: Pflege und Laub kann einen Beitrag zur energetischen Verwertung leisten.

Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 148, S. 133:

rechts: Intensive Dachbegrünung mit Gehölzen, Dachgarten Medina Complex, Eindhoven

Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 149, S. 134:

Laubbrikett und äquivalenter Laubanteil.

RIELA, www.riela.de; NETZ Ingenieurbüro, www.netz-gmbh.eu

Abb. 150, S. 135:

links: Bioreaktorfassade mit Mikroalgenpaneelen des BIQ in Hamburg-Wilhelmsdorf.

Foto: N. Jenner

Abb. 151, S. 135:

rechts: Paneelansicht.

Foto: N. Jenner

Abb. 152, S. 137:

Darstellung des Lebenszyklus eines Gebäudes: über den Rohstoffabbau zur Herstellung, zur Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung.

TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 153, S. 137:

Näherungsweise Betrachtung des Treibhauspotenzials (GWP) eines extensiven Gründaches im Vergleich zu einem Kiesdach, unter Berücksichtigung der C-Speicherfähigkeit der Pflanze [gem. 162].
TU Darmstadt, FGee

Abb. 154, S. 138:

Messungen von Oberflächentemperaturen eines Gründaches im Vergleich zu einem „Bitumendach“ im Juni unter Angabe der Temperaturamplitude im Tag-Nachtgang. Die Messungen fanden in der Ufa-Fabrik in Berlin-Tempelhof statt.
Schmidt, M. (2003): Energy saving strategies through the greening of buildings. The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin-Adlershof, Germany. Proceedings World Energy and Climate Event, Rio de Janeiro, Brasilien, pp. 481-487. www.rio12.com/rio3

Abb. 155, S. 143:

Nebenrechnung zur Kühlkosteneinsparung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach und einem Bitumendach an einem strahlungsreichen Sommertag.
TU Darmstadt, FGee

Abb. 156, S. 144:

Kostenvergleich eines extensiven Gründaches mit einem Kiesdach über den Lebenszyklus von 50 Jahren.
TU Darmstadt FGee/FG e+f

Abb. 157, S. 145:

Kostenvergleich eines extensiven Gründaches mit PV und einem Kiesdach mit PV über den Lebenszyklus von 50 Jahren.
TU Darmstadt FGee/FG e+f

Abb. 158, S. 146:

Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Heizwärme. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 159, S. 147:

Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Kühlung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 160, S. 147:

Maßnahmen zur Bedarfsdeckung von Strom, Frischluft und Wasser im Gebäudebetrieb, sowie die ökobilanziellen Aspekte für die Herstellung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in der Kombination mit Gebäudebegrünung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 161, S. 153:

Kleiner und großer Wasserhaushalt: Die Reduktion der Verdunstung an Land führt zur Verringerung der Niederschläge. Gebäudebegrünung kann zur Steigerung der Verdunstung von sonst versiegelten Flächen beitragen.
TU Darmstadt, FGee und FGee+f, nach: Kravčík, M. et al. (2007): „Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm“. Municipalia. In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Berlin, S.15

Abb. 162, S. 154:

links: Schemazeichnung zum Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 163, S. 154:

rechts: Messungen zum Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen als durchschnittliche Jahressumme vom Jan. 2001 bis Dez. 2004 an der TU Berlin Wilmersdorf.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Schmidt, M. (2010): Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen in Millimeter. In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung, Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Berlin, S.12

Abb. 164, S. 155:

Paris, Musée du Quai Branly. Kombination aus Reflektion (10m hohe Glaswand) und Absorption (flächige wandgebundene Fassadenbegrünung) des Straßenverkehr-Lärms.
Foto: Nicole Pfoser 2011

Abb. 165, S.157:

Palmengarten Frankfurt (Westseite/Miquelallee) Versuchsaufbau mit 3 m hohen begrünten Lärmschutz-Wandelementen verschiedener Hersteller.
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 166, S. 159:

Schmetterlingsweide, Intensive Dachbegrünung.
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 167, S. 159:

Grauschnäpper. Fassadenbegrünung als Bruthabitat
Foto: © Reinhard-Tierfoto, Hans Reinhard

Abb. 168, S. 159:

Insektenweide, Intensive Dachbegrünung.
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 169, S. 161:

Darstellung der Synergien im Gebäudeumfeld in Bezug auf den Umgang mit Oberflächenwasser, der Regenwasserverdunstung, Lärmschutzmaßnahmen und der Biodiversität in der Kombination mit Gebäudebegrünung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 170, S. 165:

Vertikaler Aufbau der Stadtatmosphäre.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kuttler, W., (2009): Klimatologie. Braunschweig

Abb. 171, S. 165:

Ausbildung einer Rotorzirkulation bei Queranströmung einer Straßenschlucht.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach Oke, T.R. (1987): Boundary layer climates. London;
Erell, E./Pearlmutter, D./Williamson, T. (2011): Urban microclimate, designing the spaces between buildings. London

Abb. 172, S. 166:

Thermoisoplethendiagramm der maximalen Wärmeinselintensität zwischen einer städtischen und einer Umlandklimastation am Beispiel Braunschweigs für das Jahr 2012. (Datengrundlage: Stundenwerte, absolut, stündlich, Maxima).
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 173, S. 167:

Messung der Oberflächenstrahlungstemperaturen eines typischen städtischen Bereiches (links, Mitte) sowie die Darstellung der untersuchten Oberflächentypen (rechts). Die Messungen mit Infrarotthermographie wurden in der Zeit vom 22. bis 24. Mai 2012 bzw. vom 22. bis 23. Juni 2012 in Braunschweig aufgenommen.
Grunwald, L. (2012): Untersuchung von Oberflächenstrahlungs- und Lufttemperaturen im urbanen Raum mittels Infrarotthermographie. TU Braunschweig

Abb. 174, S. 167:

Abweichung der Oberflächenstrahlungstemperaturen zur Lufttemperatur: Statistische Auswertung (Mittelwert, Perzentile, Minimum und Maximum) der infrarotthermographischen Messungen der Oberflächenstrahlungstemperatur in Braunschweig im Zeitraum (vgl. Abb. 173).
Grunwald, L. (2012): Untersuchung von Oberflächenstrahlungs- und Lufttemperaturen im urbanen Raum mittels Infrarotthermographie. TU Braunschweig

Abb. 175, S. 169:

Zusammenstellung thermischer Eigenschaften vom Materialien und Oberflächen.
Kordowski, K./Weber, S. (2011): Grüne Wiesen und heißer Asphalt - Wie die (Erd-)Oberfläche das lokale Wetter beeinflusst, In: Praxis Geographie, 4, S. 32-38

Abb. 176, S. 171:

(A) Monatliche Häufigkeitsverteilung von Lufttemperaturklassen der Testreferenzjahre 2010 (momentanes Klima) und 2035 (zukünftiges Klima). (B) Monatliche Häufigkeitsverteilung für die human-bioklimatische Größe UTCI für die Testreferenzjahre 2010 und 2035. Die Abbildungen am rechten Bildrand skizzieren die prozentualen Verschiebungen in den Häufigkeitsklassen von Lufttemperatur und UTCI zwischen den Bezugsjahren 2010 und 2035. Der UTCI wurde mit der Software Bioklima V2.6 berechnet.
Błażejczyk, K., Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences

Abb. 177, S. 172:

Einflussfaktoren auf das Stadtklima - ① Himmelssichtfaktor, ② Anteil versiegelter/bebauter Flächen, ③ Albedo, ④ Wechselwirkung Strahlung/Bebauung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kuttler, W., (2009): Klimatologie. Braunschweig

Abb. 178, S.173:

Exemplarische Beispiele von Stadträumen in Braunschweig mit unterschiedlichen Auswirkungen auf das lokale Mikroklima.
Foto: Jannik Heusinger

Abb. 179, S. 175:

Klimaspezifische Klassifizierung von Stadträumen.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Steward, I. D./Oke, T. R. (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, in: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> [Zugriff: 26.08.2012]

Abb. 180, S. 177:

Bodengebundene Fassadenbegrünung.
Foto: Jannik Heusinger

Abb. 181, S. 178:

Extensivbegrünung-Wohnsiedlung mit Kindergarten
Foto: © Optigrün

Abb. 182, S. 179:

Intensivbegrünung Gartendach
Foto: © Optigrün

Abb. 183, S. 180:
Straßenrandbegrünung.
Foto: Jannik Heusinger

Abb. 184, S. 181:
Parkanlage.
Foto: Jannik Heusinger

Abb. 185, S. 182:
Freifläche am Stadtrand - Nutzung als Pferdekoppel
Foto: Maria Schmidt

Abb. 186, S. 183:
Innerstädtische Waldfläche.
Foto: Jannik Heusinger

Abb. 187, S. 185:
Literaturergebnisse des Zusammenhangs zwischen Begrünungsanteil und Bowen-Verhältnis verschiedener städtischer Untersuchungsgebiete.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie, nach: Goldbach, A. (2012): Turbulenter Energieaustausch über unterschiedlichen Flächennutzungsstrukturen in der Stadt Oberhausen. Essener Ökologische Schriften, Band 32, S. 245.

Abb. 188, S. 185:
Zusammenhang zwischen Begrünungsanteil bzw. Versiegelungsgrad und Bowen-Verhältnis eines städtischen Untersuchungsgebietes unter norddeutschen Klimabedingungen (Testreferenzjahres des Deutschen Wetterdienstes) auf Basis des Energiebilanzmodells SUEWS. (oben) Ergebnisse für den Jahresmittelwert (unten) und für die Sommerperiode Juni bis August.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 189, S. 186:
Modellregion der Innenstadt Braunschweigs. Die derzeitige vorhandene Vegetation ist grün gekennzeichnet (Vegetation Status-quo, SQ). In einem weiteren Szenario wurden Grasflächen und Bäume (orange bzw. rot) hinzugefügt.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 190, S. 187:
Darstellung des Modellgebiets im Status Quo als Vertikalschnitt (a). Darunter Lufttemperaturdifferenzen bezogen auf die niedrigste Lufttemperatur (b), mittlere Strahlungstemperaturen (c) und ermittelte UTCI- Werte für den Status Quo (d) und das Szenario mit zusätzlicher Begrünung (e). Ein „Hot Spot“ wurde auf dem Schlossvorplatz identifiziert (rot umkreist, d). Die Werte beziehen sich

auf einen Horizontalschnitt entlang der x- Achse in 3 m Höhe um 14 Uhr. Die Angaben „Moderat, Hoch, Sehr hoch“ entsprechen den thermischen Belastungsstufen des UTCI.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Abbildung in Anlehnung an Darstellung von Müller, N./Kuttler, W. /Barlag, A.-B. (2013): Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort, In: Theoretical and Applied Climatology; unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-0890-4> [21.04.2013].

Abb. 191, S. 188:
Simulierte Blockrandbebauung ohne (a, Basisszenario) und mit Dach- sowie Fassadenbegrünung (b, Begrünungsszenario).
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 192, S. 189:
oben: Verteilung der Lufttemperaturen um 14 Uhr im Basisszenario in 1,8 m Höhe.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 193, S.189:
mitte: Verteilung der durch Fassaden- und Dachbegrünung hervorgerufenen Lufttemperaturdifferenzen zwischen Begrünungs- und Basisszenario um 14 Uhr in 1,8 m Höhe.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 194, S. 189:
unten: Verteilung der durch Fassaden- und Dachbegrünung hervorgerufenen Lufttemperaturdifferenzen zwischen Begrünungs- und Basisszenario um 0 Uhr in 1,8 m Höhe.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Abb. 195, S. 190:
Panorama vom Dach des Okerhochhauses, Braunschweig. Kontrast von Stadt und Grün.
Foto: Klaus Kordowski

Abb. 196, S. 205:
Themenfelder im Zertifizierungssystem der DGNB.
© Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.

Abb. 197, S. 209:
Europakarte, Verortung Projektbeispiele und Beispielstädte.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f

Abb. 198, S. 210:
PTH St. Georgen
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 199, S. 210:
Eckbereich der Begrünung
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 200, S. 211:
Grundriss EG - Begrünung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen
Architekten BDA

Abb. 201, S. 211:
Schnitt - Zuluftkonditionierung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen
Architekten BDA

Abb. 202, S. 211:
Schnitt - Natürliche Verschattung, Tageslichtführung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen
Architekten BDA

Abb. 203, S. 211:
Detail - Schnitt Fassade/Dach
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kissler + Effgen
Architekten BDA

Abb. 204, S. 211:
Laubengang mit sichtbarem Verschattungsanteil
auf der Wand
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 205, S. 211:
Ranknetz, Glasfläche mit Verschattung und Durchblick
Foto: Nicole Pfoser 2013

Abb. 206, S. 212:
Fassadenausschnitt
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 207, S. 213:
Thermografieaufnahme des MA 48 im Rahmen des
Monitorings der IBLB, Wien (IBLB)

Abb. 208, S. 213:
Thermografieaufnahme der benachbarten Gebäu-
deaußenwand. Monitorings der IBLB, Wien (IBLB)

Abb. 209, S. 213:
Detail - Fassadenschnitt (FGee/FGe+f, nach: Tech
Metall Erzeugungs- Handel und Montage GmbH)

Abb. 210, S. 213:
Gesamtansicht MA 48
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 211, S. 213:
Begrünungsdetail
Foto: Nicole Pfoser 2012

Abb. 212, S. 214:
Smart ist Grün
Foto: © zillerplus Architekten und Stadtplaner 2013

Abb. 213, S. 214:
Loggienfassade
Foto: Nathalie Jenner 2013

Abb. 214, S. 215:
Grundriss OG - Begrünung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: zillerplus
Architekten und Stadtplaner

Abb. 215, S. 215:
Schnitt - Energiekonzept
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: zillerplus
Architekten und Stadtplaner

Abb. 216, S. 215:
Schnitt - Verschattung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: zillerplus Archi-
tekten und Stadtplaner

Abb. 217, S. 215:
Detail 1 - Fassadenschnitt
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: zillerplus
Architekten und Stadtplaner

Abb. 218, S. 215:
Fassadenausschnitt
Foto: Nathalie Jenner 2013

Abb. 219, S. 216:
Tekfen Levent Ofis
Foto: Molestina Architekten

Abb. 220, S. 216:
Mehrschichtige Fassade
Foto: Molestina Architekten

Abb. 221, S. 217:
Schnitt - Loggien, Lüftungskonzept mit
Pflanzenkühlung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach:
Molestina Architekten

Abb. 222, S. 217:
Schnitt- Verschattung, Zuluft-Vorkonditionierung.
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach:
Molestina Architekten

- Abb. 223, S. 217:
Detail - Fassadenschnitt
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach:
Molestina Architekten
- Abb. 224, S. 217:
Innenraumatmosphäre
Foto: Molestina Architekten
- Abb. 225, S. 218:
"Blumenregal" Stücki Shopping, Einkaufszentrum,
Ansicht Hochbergerstraße
Foto: © Jakob Rope Systems
- Abb. 226, S. 218:
Blütenkalender.
Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten
BSLA
- Abb. 227, S. 219:
Dachbegrünung Variationen.
Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten
BSLA
- Abb. 228, S. 219:
Dachbegrünung
Foto: © Fahrni und Breitenfeld Landschaftsarchitekten BSLA
- Abb. 229, S. 219:
Westfassade Kletterpflanzen an Edelstahl-Seilnetz
Foto: © Jakob Rope Systems
- Abb. 230, S. 219:
Westfassade Kletterpflanzen an Edelstahl-Seilnetz,
Fluchtbalkone/Fluchttreppen
Foto: © Jakob Rope Systems
- Abb. 231, S. 220:
M2 Metro Flon, Lage
Foto: © Peter Mauss
- Abb. 232, S. 220:
M2 Metro Flon Dach- und Fassadenbegrünung
Foto: © Peter Mauss
- Abb. 233, S. 221:
Detail 1- Schnitt Vordach
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Bernard
Tschumi und Merlini & Ventura
- Abb. 234, S. 221:
Detail 2 - Schnitt Dach/Fassade
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Bernard
Tschumi und Merlini & Ventura
- Abb. 235, S. 221:
Schnitt
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Bernard
Tschumi und Merlini & Ventura
- Abb. 236, S. 221:
M2 Metro Flon, Modulare Fassadenbegrünung,
Zugang Tiefgeschoss
Foto: © Peter Mauss
- Abb. 237, S. 222:
Dachlandschaft Solon SE
Foto: Myrzik und Jarisch
- Abb. 238, S. 223:
Detail 1: Dachaufbau - Intensivbegrünung
(Hochbeet)
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: hoch^c Land-
schaftsarchitektur
- Abb. 239, S. 223:
Detail 2: Dachaufbau - Intensivbegrünung
(Rasen) TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: hoch^c
Landschaftsarchitektur
- Abb. 240, S. 223:
Dachbegrünung, Photovoltaik-Module,
Wasserbecken
Foto: © Silke Reents
- Abb. 241, S. 224:
Begrünte Freifläche/Dach Städel - Außenansicht
des Erweiterungsbaus
Foto: Norbert Miguletz, © Städel Museum, Frank-
furt am Main
- Abb. 242, S. 224:
Bauabschnitt 1
© Keller & Keller Landschaftsarchitekten
- Abb. 243, S. 225:
Bauabschnitt 2
© Keller & Keller Landschaftsarchitekten
- Abb. 244, S. 225:
Bauabschnitt 3
© Keller & Keller Landschaftsarchitekten
- Abb. 245, S. 225:
Detail 1- Schnitt Dachaufbau, Tageslichtführung
mit integrierter Verschattung
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Keller & Keller
Landschaftsarchitekten

- Abb. 246, S. 225:
Schnitt - Erweiterungsbau Städel Museum
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Keller & Keller
Landschaftsarchitekten
- Abb. 247, S. 227:
Gründachpotenzialkataster Stadt Wien
data.wien.gv.at, © ViennaGIS: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/at/deed.de> [27.06.2013]
- Abb. 248, S. 227:
Solarpotenzialkataster Stadt Wien
data.wien.gv.at, © wien.at: Magistrat der
Stadt Wien: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/at/deed.de> [27.06.2013]
- Abb. 249, S. 228:
Raggi Verdi - Grüne Visionen für Mailand
LAND MILANO
- Abb. 250, S. 229:
Bosco Verticale
Foto: © barreca & la varra
- Abb. 251, S. 231:
Paris - Städtebauliches Regelwerk zur Freiraumgestaltung und Bepflanzung. Plan: Ausweisung von Grünbereichen
TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: www.paris.fr - Plan local d'urbanisme (P.L.U), Sectorisation végétale de la zone Urbaine Générale; unter: <http://www.paris.fr/viewmultimediacomment?multimediacomment-id=21646> [16.09.2012];
- Abb. 252, S. 231:
Musée du Quai Branly, Paris
Foto: Nicole Pfoser 2011
- Abb. 253, S. 269:
Gesamtüberblick der Systeme im Kostenvergleich [182], © Nicole Pfoser 07/2012, Grundlagen: BKI Baukosteninformationszentrum, Hrsg.(2012): BKI Baukosten 2012. Statistische Kostenkennwerte für Positionen, Teil 3; Eigene Marktauswertung 2011-2012; Enzi, V. (2010): Fassadenbegrünungen - Innovation und Chancen. Wien, S. 18; Green Roofs, Hrsg. (2008): Introduction to Green Walls. Technology, Benefits & Design. www.greenscreen.com/Resources/download_it/IntroductionGreenWalls.pdf [15.3.2009]; N.N. (2002): Fassadenbegrünung. Pflanzen an Fassaden sind Witterschutz und Klimaanlage für das Gebäude selbst, In: Modernisierungsmarkt Jg.: 25, Nr.6, S. 26; Pfoser, N. (2010 a): Architekturmedium Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, In: Stadt+Grün 3/2010, Berlin, S. 54-59; Pfoser, N. (2011a): Fassadenbegrünung. Erweiterte Systematik, In: Bauwerksbegrünung, Jahrbuch 2011, Stuttgart, S. 97-103; Pfoser, N. (2011 b): Erweiterte „Systematik“ der Fassadenbegrünung – Eigenschaften und Unterschiede von Boden- und Fassadengebundenen Begrünungssystemen, In: Biotope City – International Journal for City as Nature, Amsterdam (9.2011); unter: www.biotope-city.net [07.12.2012]; Schulte, A. (2012): Living Walls erobern die Städte. Funktion und System der neuen „Fassadengärten. In: Neue Landschaft Jg. 57, Nr. 5, S.54
- Abb. 254, S. 271:
Legende zu den Pflanzentafeln „Gesamtübersicht System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen“ [182], 1-9/Abb. 256-264
© Nicole Pfoser 08/2012
- Abb. 255, S. 271:
Kletterform/Rankgerüst
[182], © Nicole Pfoser 09/2009, Grundlage: FLL (2000): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen – Fassadenbegrünungsrichtlinie. Bonn
- Abb. 256-264, S. 272-280:
Pflanzentafeln 1-9, Gesamtübersicht: System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen [182], © Nicole Pfoser 08/2012, Grundlagen: FLL (2000): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen – Fassadenbegrünungsrichtlinie. Bonn; Brandwein, T. (2012): Kletterpflanzen Übersicht; unter: biotekt.de/kletterpflanzen/uebersicht [09.08.2012]; Gartenakademie - Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: Einjährige Kletterpflanzen - bunte Himmelsstürmer; unter: www.lwg.bayern.de/gartenakademie/infoschriften/gartengestaltung_ziergarten/12894/ [23.07.2012]; Althaus, C./Kiermeier, P./Schuppler, E. (1991): MBW Ministerium für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (1991): Empfehlungen zur Fassadenbegrünung an öffentlichen Bauwerken. Düsseldorf; Kiermeier, P. (2005): Lorenz von Ehren (Hrsg.): Pflanzenkatalog und Selektion. 3. Auflage. Hamburg; Ludwig, K. (1994): Kletterpflanzen. Auswahl, Planung, Pflege. München; Taraba, S.: Kletterpflanzen; unter: <http://www.fassadengruen.de/uw/kletterpflanzen/kletterpflanzen.htm> [23.07.2012]

9.5 Tabellenverzeichnis

Tab. 1, S. 133:

Annäherung an das energetische Biomassepotenzial durch die Pflege von Dach- ① und Fassadenbegrünung ② über eine vergleichende Betrachtung des Biomassepotenzials von städtischem Grün- und Gehölzschnitt. Der Bezug wird über die Pflanzenarten hergestellt. Massegehalt und Energiekennwerte beziehen sich auf die urbanen Biomassepotenziale (Tab. ②, letzte Zeile ausgenommen). Der nötige Energieeinsatz für Transport und ggf. Bewässerung der Gebäudebegrünung ist nicht berücksichtigt.

Sieber, S. nach: Hegger, M. et al., (2012): UrbanReNet. Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum. Schlussbericht, Anlage II

Tab. 2, S. 134:

Heizwert verschiedener Energieträger.
Golbs, E. (2013): Konzepte zur Wärmebereitstellung mit Laub und kommunalem Grünschnitt, In: Stadt+Grün 01/2013. Berlin, S. 45-49

Tab. 3, S. 141:

Eckdaten und Grundlagen der Kostenannahmen für die beispielhafte Lebenszykluskostenbetrachtung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach ohne und mit PV-Anlage.
TU Darmstadt, FGee/FG e+f

Tab. 4, S. 142:

Kostenangaben als Grundlage der beispielhaften Lebenszykluskostenbetrachtung eines extensiven Gründaches gegenüber einem Kiesdach ohne und mit PV-Anlage.
TU Darmstadt, FGee/FG e+f

Tab. 5, S. 151: Abflussbeiwerte von Dachflächen

gem. DIN 1986-100.
TU Darmstadt FGee, FGe+f nach: DIN 1986-100

Tab. 6, S. 152:

Messwerte zu drei Ausführungsvarianten von Retentionsdächern.
Marktauswertung Nicole Pfoser 2013

Tab. 7, S. 156:

Maximale Lärminderung durch Begrünungen, Nicole Pfoser 2013, Grundlagen:
① Weber, M. (2011): Positive Wirkungen begrünter Dächer - Zusammenstellung positiver Fakten aus aller Welt. Diplomarbeit im Studiengang Landschaftsarchitektur. FH Erfurt, 2011, S. 47;
② Lagström, J. (2004): Do Extensive Green Roofs Reduce Noise? Malmö, S. 30;
③ Connolly, M./Hodgson, M. (2008): Thermal and

Acoustical Performance of Green Roofs. Sound Transmission Loss of Green Roofs. Baltimore, S. 8; unter: http://commons.bc.it.ca/greenroof/files/2012/01/2008_grhc_connolly_hodgson.pdf [20.7.2013];

④ MANN, G. (o.J.): Nutzen begrünter Dächer - eine Frage des Blickwinkels; unter: <http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/Nutzen%20Gruehdach.pdf> [20.07.2013];

⑤ Feldmann, J./Möser, M./Volz, R. (o.J.): Umweltbelastung durch Verkehrsgeräusche sowie Aspekte der Schallausbreitung und Schallabsorption in Straßenschluchten; unter: http://www.advacoustics.de/volz_laermesenken.pdf [20.07.2013],

⑥ Buchta, E./Hirsch, K.-W./Buchta, C. (1984): Lärmindernde Wirkung von Bewuchs in Straßenschluchten und Höfen. Bonn, S. 90;

⑦ Wong, N.H. et al. (2010 a): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: Building and Environment, 45(2), S. 413 ff.;

⑧ Pfoser, N. (o.J.): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, unv. Diss., Technische Universität Darmstadt;

⑨ Kunstmann, H./Dietrich, F. (2009): Messtechnische Bestimmung der Schalldämmung einer Lärmschutzwand von Typ „COMPACTA“ der Firma Helix-Pflanzensysteme GmbH - Gutachten. Leipzig, S. 3;

BOTT Begrünungssysteme GmbH, Hrsg. (2013): Produktkatalog 5, S. 71 ff.

⑩ Oesterreicher, T. (2009): Transmission und Absorption von Schall in dichter Vegetation. Bachelor-Arbeit. Hochschule für Technik Stuttgart. Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart;

⑪ Wong, N.H. et al. (2010 a): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: Building and Environment, 45(2), S. 412;

⑫ Van Renterghem, T./Botteldoorn, D. (2008): Numerical evaluation of sound propagating over green roofs, In: Journal of Sound and Vibration 317 (3-5), S. 781-799

Tab.8, S. 156:

Fassadenbegrünung - Absorptionsgrade nach Frequenz und Bedeckungsgrad der Begrünung Nicole Pfoser 2013, nach: Wong, N.H. et al.

(2010 a): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: Building and Environment, 45(2), S. 419

Tab. 9, S. 158:

Quantitative Messwerte zur Flora und Fauna von Dachbegrünungen
Nicole Pfoser 2013, nach: Zimmermann, P. (1987): Dachbegrünung. Eine ökologische Untersuchung auf Kiesdach, extensiv und intensiv begrünt

Dächern, In: Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg (62). Karlsruhe, S. 545-547

Tab. 10, S. 168:

Übersicht der Albedowerte verschiedener Materialien und Werkstoffe.

TU Darmstadt, FGee/Fge+f; Grundlage:

Marek, R. (2007): Praxis der Wärmeübertragung - Grundlagen, Anwendungen, Übungsaufgaben. München;

Zürcher, C./Frank, T. (2004): Bauphysik. Leitfaden für Planung und Praxis. Zürich

Tab. 11, S. 176:

Auswirkungen unterschiedlicher Begrünungskonzepte auf das Stadtklima.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie

Tab. 12, S. 177:

Städtische Wirkpotenziale von Fassadenbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:

Köhler, M. (2008) Green facades - a view back and some visions, In: Urban Ecosystems, 11(4), pp.423–436; unter: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11252-008-0063-x> [01.03.2013];

Pugh, T.A.M. et al. (2012): Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons, In: Environmental science & technology, 46(14), pp.7692–9; unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22663154> [02.04.2013]

Wong, N.H. et al. (2010 b): Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, In: Building and Environment, 45(3), pp.663–672; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230900198X> [08.03.2013];

Tab. 13, S. 178:

Städtische Wirkpotenziale extensiver Dachbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien. Die eingefügten Abbildungen zeigen den Durchschnittswert (großer vertikaler Balken) der aus den Fallstudien zusammengestellten Daten sowie deren Spannweite (Minimum, Maximum). Negative Temperaturwerte weisen auf Temperaturreduktionen durch Begrünung hin.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:

DeNardo, J.C. et al. (2005): Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs, In: Transactions of the ASAE, 48(4), pp.1491–1496; unter: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=17067472> [17.03.2013];

Clough, W.S. (1975): The deposition of particles on moss and grass surfaces, In: Atmospheric Environment, 9, pp.1113–1119;

Harlaß, R. (2008): Verdunstung in bebauten Gebieten. Universität Dresden;

Heusinger, J. (2013): Untersuchung mikroklimatischer Aspekte von Dachbegrünungen mittels Messung und Modellierung. TU Braunschweig;

Ng, E. et al. (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong, In: Building and Environment, 47, pp.256–271; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002228> [05.03.2013]

Tab. 14, S. 179:

Städtische Wirkpotenziale intensiver Dachbegrünungen – Beispiele aus Fallstudien.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:

Harlaß, R. (2008): Verdunstung in bebauten Gebieten. Universität Dresden;

Ng, E. et al. (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong, In: Building and Environment, 47, pp.256–271; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002228> [05.03.2013];

Speak, A.F. et al. (2013): Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage, In: Urban Climate; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212095513000023> [07.03.2013]

Tab. 15, S. 180:

Städtische Wirkpotenziale von Straßenrandbegrünung – Beispiele aus Fallstudien.

TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:

Armson, D./Stringer, P./Ennos, a. R. (2012): The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area, In: Urban Forestry & Urban Greening, 11(3), pp.245–255; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866712000611> [08.03.2013];

Georgi, J.N. & Dimitriou, D. (2010): The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece, In: Building and Environment, 45(6), pp.1401–1414; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309003564> [06.03.2013];

Gulyás, Á./Unger, J./Matzarakis, A. (2006): Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, In: Building and Environment, 41(12), pp.1713–1722; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230500274X> [10.03.2013];

- Kjelgren, R./Montague, T. (1998): Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces, In: *Atmospheric Environment*, 32(1), pp.35–41; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231097001775> [02.04.2013];
- Mayer, H. et al. (2009): Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day. *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*, 18, pp.211–219;
- Ng, E. et al. (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong, In: *Building and Environment*, 47, pp.256–271; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002228> [05.03.2013];
- Robitu, M. et al. (2006): Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate, In: *Solar Energy*, 80(4), pp.435–447; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X05002574> [08.03.2013];
- Shashuabar, L. et al. (2010): Microclimate modeling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel, In: *International Journal of Climatology*, 30, pp.44–57;
- Taha, H./Akbari, H./Rosenfeld, A. (1991): Heat island and oasis effects of vegetative canopies. *Micro meteorological field measurements*, In: *Theoretical and Applied Climatology*, 44, pp.123–138
- Tab. 16, S. 181:
Städtische Wirkpotenziale von Parks/Parkflächen – Beispiele aus Fallstudien.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:
Bongardt, B. (2005): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. *Universität Duisburg-Essen*;
- Bowler, D.E. et al. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence, In: *Landscape and Urban Planning*, 97(3), pp.147–155; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204610001234> [05.03.2013];
- Cohen, P./Potchter, O./Matzarakis, A. (2012): Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort, In: *Building and Environment*, 51, pp.285–295; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004100> [05.03.2013];
- Katzschner, L. et al. (2011): Innenraumentwicklung in Frankfurt am Main unter Berücksichtigung stadtklimatischer Effekte. *Kassel*;
- Kuttler, W., (2009): *Klimatologie*. Braunschweig;
- Lin, T.-P./Matzarakis, A./Hwang, R.-L. (2010): Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, In: *Building and Environment*, 45(1), pp.213–221; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309001371> [13.03.013];
- Potchter, O./Cohen, P./Bitan, A. (2006): Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel, In: *International Journal of Climatology*, 26, pp.1695–1711;
- Setälä, H. et al. (2012): Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*; unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23274234> [08.03.2013];
- Spronken-Smith, R.A./Oke, T.R. (1998): The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates, In: *International journal of remote Sensing*, 19(11), pp.2085–2104
- Tab. 17, S. 182:
Städtische Wirkpotenziale von Freiflächen – Beispiele aus Fallstudien.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:
Cohen, P./Potchter, O./Matzarakis, A. (2012): Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort, In: *Building and Environment*, 51, pp.285–295; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004100> [05.03.2013];
- Horbert, M. (2000): *Klimatologische Aspekte der Stadt und Landschaftsplanung*, TU Berlin;
- Weng, Q./Lu, D./Schubring, J. (2004): Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies, In: *Remote Sensing of Environment*, 89(4), pp.467–483; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425703003390> [03.03.2013];
- Zhang, Y.-K./Schilling, K.E. (2006): Effects of land cover on water table, soil moisture, evapotranspiration, and groundwater recharge: A Field observation and analysis, In: *Journal of Hydrology*, 319(1–4), pp.328–338; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169405003690> [10.03.2013]
- Tab. 18, S. 183:
Städtische Wirkpotenziale von Wäldern – Beispiele aus Fallstudien.
TU Braunschweig, Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie; Grundlage:
Armson, D./Stringer, P./Ennos, a. R. (2012): The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area, In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), pp.245–255;

unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866712000611> [08.03. 2013];
 Cavanagh, J.-A.E./Zawar-Reza, P./Wilson, J.G. (2009): Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanised native forest patch, In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(1), pp.21–30; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866708000563> [08.03.2013];
 Escobedo, F.J./ Nowak, D.J. (2009): Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest, In: *Landscape and urban planning*, 90(3), pp.102–110;
 Fowler, D. et al. (2004): Measuring aerosol and heavy metal deposition on urban woodland and grass using inventories of 210Pb and metal concentrations in soil, In: *Water, Air, and Soil Pollution*, 4, pp.483–499;
 Horbert, M. (2000): *Klimatologische Aspekte der Stadt und Landschaftsplanung*, TU Berlin;
 Huang, L. et al. (2008): A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China, In: *Building and Environment*, 43(1), pp.7–17; unter:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306004446> [27.02.2013];
 Müller, N./Kuttler, W. /Barlag, A.-B. (2013): Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort, In: *Theoretical and Applied Climatology*; unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-0890-4> [21.04.2013];
 Yilmaz, S. et al. (2007): Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey, In: *Building and Environment*, 42(4), pp.1604–1612; unter: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000333> [08.03.2013]

Tab. 19, S. 194:
 Einflussfaktoren - Geografische Exposition der Begrünungsfläche.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 20, S. 195:
 Einflussfaktoren des umgebenden Geländes.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 21, S. 195:
 Einflussfaktoren der umgebenden Bebauung.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 22, S. 196:
 Einflussfaktoren aus eigenen Dachflächen.
 © Nicole Pfoser 12/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 23, S. 197:
 Einflussfaktoren aus eigenen Fassadenflächen.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 24, S. 198:
 Rechtliche Gegebenheiten und Sicherheitsbestimmungen.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 25, S. 199:
 Empfehlungen von Handlungsschritten zu Planung/Realisierung.
 © Nicole Pfoser 5/2012, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

Tab. 26, S. 203:
 Forderungen und Förderungen - Handlungsebenen und verfügbare Instrumenten zur Stärkung von „Energie“ und „Grün“
 Pfoser, N. 2010, nach: Genske, D.D./Jödecke, T./Ruff, A. (2008): *Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Tabelle 2.7 - Darstellung von Handlungsebenen und verfügbaren Instrumenten*. Bonn, S. 28

Tab. 27, S. 205:
 Darstellung der Berücksichtigung von Gebäudebegrünung im Bewertungssystem der DGNB.
 TU Darmstadt, FGee; Grundlage:
 Kruschina, D. (2011): *Nachhaltige Außenraumgestaltung durch Dachbegrünung*. Präsentation der DGNB, 07.02.2011

Tab. 28-34.7, S. 282-305:
 System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung
 © Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281, In: Pfoser, N. (o.J.): *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*, unv. Diss., TU Darmstadt

9.6 Weiterführende Tabellen und Diagramme

9.6.1 Fassadenbegrünung: Realisierungs- und Erhaltungskosten im Systemvergleich (Erstveröffentlichung in Biotope City [67])

Anwendungsbereich Kostendiagramm

Die von/bis-Angaben des tabellarischen Kostenvergleichs (siehe Tabelle „Gesamtüberblick der Systeme im Kostenvergleich“) berücksichtigen die Kostenspreizung der ausgewerteten, gegenwärtig marktbeherrschenden Systemhersteller. Neben den systemtypischen Baukosten wirken sich örtliche und individuelle Einflüsse auf die Gesamtkosten aus: die bau- und wartungstechnische Erreichbarkeit der vertikalen Grünanlage, die Pflanzenauswahl, die Pflanzungsdichte und der erforderliche Aufwand für die Wasser- und Nährstoff-Versorgungsanlage sind variable Kostenfaktoren. Daraus ergeben sich die Mittelwerte für ein aktuelles flächenbezogenes Kostengefälle vom städtischen Einzelgebäude (mit ca. 100 qm zusammenhängender Begrünungsfläche) bis zur großflächigen Fassadenbegrünung von Baublöcken des Siedlungsbaus oder industriellen bzw. gewerblichen Wandflächen (mit ca. 1000 m² Fläche). Ab diesem Flächenausmaß kann von einer konstanten mittleren Flächenkosten-Annahme ausgegangen werden, da keine weiteren kostenrelevanten Synergieeffekte mehr auftreten.

Außergewöhnliche Höhenlagen eines Begrünungsfeldes über Straßenniveau können in der Tabelle nicht berücksichtigt werden. Sie wirken sich je nach Einzelfall wegen der zusätzlichen Rüst- und Gerätekosten und infolge der erhöhten Sicherheitsanforderungen verteuern auf Investition und Wartung aus.

Bei begrünten Fassaden-Teilflächen wie Werbeflächen, floralen Kunstwerken oder Betonungen bestimmter Bauteile wie z. B. den Haupteingang zur Fondation Cartier Paris, BHV Paris, La Fayette Berlin (alle Patrick Blanc) und Münchner Rückversicherung (Olafur Eliasson)

sowie bei privat errichteten Einfamilienhäusern ist die gestalterische und technische Individualität der Begrünungstechnik das dominante Merkmal. Die mögliche Kostenspreizung ist in diesen Fällen so groß, dass ihre Aufnahme in eine tabellarische Querschnittskosteninformation nicht zutreffend möglich ist.

Kompensation von Kosten durch Substitution

Die vergleichende Betrachtung der Wirtschaftlichkeits-Aspekte (Investition und Instandhaltung) weist im Bereich der deutlich höheren Baukosten der fassadengebundenen Systeme und der Mischformen zugleich darauf hin, dass hier bei Neubauten oder Fassadenerneuerungen (z. B. im Zusammenhang mit einer energetischen Sanierung) im Gegenzug bestimmte Einsparungen erreicht werden können. Dies betrifft signifikant den einsparbaren Herstellungsaufwand von baulichen Fassaden-Sichtoberflächen an den von der Begrünung im Vollbild bedeckten Fassadenbereichen. Dieser Effekt kann zu einer vollständigen Kompensation der Begrünungskosten führen, wenn man die Baukosten von ersparten Naturstein- oder Metall-Sichtfassaden dagegen rechnet. Besonders hohe Kostenvorteile lassen sich - wie die Tabelle zeigt - im Bereich der preisgünstigen bodengebundenen Begrünungstechniken erzielen, wenn die zu begrünenden (gedämmten) Außenwand-Flächen trotz anspruchsvoller Innenstadtlage lediglich mit einer Außenschicht aus einem homogenen faserarmierten Kalkzement-Verputz behandelt werden, welcher den Wandaufbau - unterstützt durch eine spätere vollflächige (winterharte) Begrünung - langfristig und wirksam gegen Niederschläge und UV-Schädigung schützt.

Bei einer solchen Substitution durch Fassadengrün bringt die Gegenrechnung einer sonst mit einem Mehrpreis von bis zu 300.- €/qm anzusetzenden, städtischen HighTec-Sichtfassade erhebliche Kosteneinsparungen. Aber auch bei den fassadengebundenen Systemen und den Mischformen zeigt sich, dass über diesen Einsparungseffekt der Sichtfassaden-Substitution durchaus wirtschaftliche Lösungen erreicht werden können. Bei den erhöhten Wartungskosten von großflächigen bzw. hoch am Gebäude montierten fassadengebundenen Begrünungsprojekten kann von erreichbaren Synergie-Effekten bei einer z. B. halbjährlichen Zusammenlegung der

Begrünungswartung mit der regelmäßigen Fassadenwartung und Glasreinigung des Gebäudes ausgegangen werden [58]. Gleiches gilt für die unverzichtbare Erreichbarkeit der Flächen durch Leitern oder mechanische Befahrssysteme [63; 64]. Mit Rücksicht auf den schnell wechselnden Angebotsmarkt und die geringe Vergleichbarkeit der angebotenen Leistungsbilder wird auf eine kostenbezogene namentliche Gegenüberstellung der im Bearbeitungszeitraum marktbekanntesten Hersteller verzichtet. Die Angaben der Hersteller zu den Investitions- und Wartungskosten wurden in der Tabelle im Rahmen der Kostenspreizung berücksichtigt.

- Kostenspreizung (€/m²) nach Marktauswertung¹
- Wartung und Pflege Kostenbereich (€/m²/a) einfach bis aufwändig
- Kosten im Mittel nach Marktauswertung
- Einfluss der Kostenersparnis bei möglicher Substitution der Gebäude-Sichtfassade
- Kosten im Mittel unter Berücksichtigung einer möglichen Substitution der Gebäude-Sichtfassade

¹⁾ Variablen abhängig von: Auftragsvolumen (100 m² /1000² m), Systemkosten, Pflanzenauswahl- und Dichte, Technik der Wasser- und Nährstoffversorgung, Lage und Erreichbarkeit

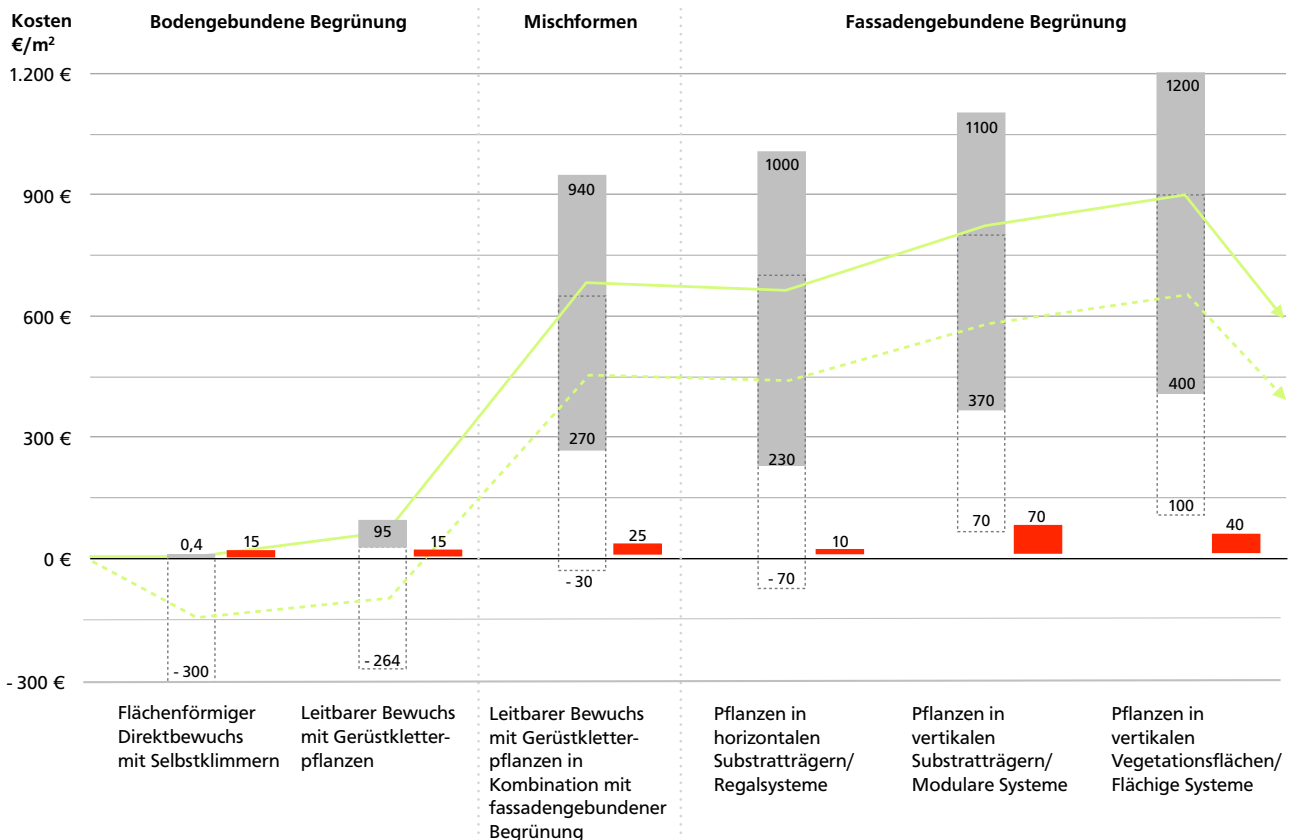


Abb. 253: Gesamtüberblick der Systeme im Kostenvergleich © Nicole Pfoser 07/2012, Grundlagen: siehe Abbildungsverzeichnis

9.6.2 Anwendungshilfe zur Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen (Erstveröffentlichung in Biotope City [66])

Zusammenfassende Systematisierung bodengebundener Begrünungssysteme in Form von informationsgrafischen Schautafeln

In dem Forschungsfeld der Vertikal-Begrünungssysteme sind die traditionellen erdgebundenen Begrünungstechniken heute umfassend untersucht und beschrieben, während die jungen Techniken der fassadengebundenen Vertikalbegrünung derzeit noch Gegenstand der wissenschaftlichen Erforschung sind und vor einer Aufnahme in die Regelwerke stehen.

In den hier beigefügten Schautafeln sind 21 Auswahlkriterien zur Pflanzenfestlegung bei der bodengebundenen Begrünung übersichtlich zu erfassen. Diese sind:

- Unterscheidung nach geeigneter Form des Klettergerüsts
- Unterscheidung nach Kletterverhalten in Selbstklimmer und Gerüstkletterpflanzen (Schlinger, Ranker, Spreizklimmer)
- Lichtbedürfnis Sonne, Halbschatten, Schatten und Zwischenstufen
- Unterscheidung nach Belaubungsphase (sommergrün, immergrün, wintergrün, fakultativ wintergrün)
- durchschnittliche maximale Wuchshöhe
- zu erwartende Wuchsleistung pro Jahr
- zu erwartendes maximales Breitenwachstum
- Blattfärbung im Verlauf der Belaubungsphase
- Blattformen im Größenverhältnis
- Blütenfarbe
- Blühphase
- Fruchtfarbe
- Fruchtphase
- Standard-Triebsdurchmesser am Wurzelhals
- erforderlicher Mindestabstand der

Kletterhilfe zur Fassade in cm

- Starkschlinger (bei Schlingern)
- Schlingrichtung des Triebs rechtswindend/linkswindend (bei Schlingern)
- negativ phototrope Eigenschaft der Haftorgane/Triebe
- Giftigkeit von Pflanzenteilen
- botanische Pflanzenbezeichnung
- deutsche Pflanzenbezeichnung(en)

Die Anwendung dieser Kriterienliste erlaubt eine mehrstufige zielführende Entscheidungsfindung:

1. Stufe

Vorklärung der individuellen Zielsetzung und des angestrebten Nutzens der Begrünung:

Zielsetzung A: Architektonische Gebäudegestaltung mit Grün sowie Nutzen der Begrünung (ökologische Vorteile der Verbesserung des Kleinklimas, des Lebensraumes für Tiere, der Luftqualität und des Gebäudeschutzes bzw. der Energieeinsparung wie Trockenhaltung und Schutz gegen Wärme/Kälte-Extreme).

Zielsetzung B: Über Zielsetzung A hinaus gehende Funktionen der Begrünung (saisonale Verschattung von Verglasungen wie z.B. Wintergärten, transparente Wärmedämmung TWD, Luftkollektoren o.ä.).

2. Stufe

Weitergehende Klärung zur Begrenzung einer geeigneten Pflanzenauswahl:

Zu Zielsetzung A: Festlegung auf eine Begrünung mit Selbstklimmern (ohne Kletterhilfe) oder mit Gerüstkletterpflanzen. Bei einer Entscheidung für Selbstklimmer sind Individualkriterien zu berücksichtigen, wie die Außenwanddeignung und das Schadenspotenzial an

Bauteilen (negativ phototrope Haftorgane), notwendige Wuchsbegrenzungen, bis hin zu den möglichen Bedingungen im Fall eines Rückbaus der Begrünung. Bei einer Entscheidung für Gerüstkletterpflanzen ist der Bewuchs in seiner Ausbreitung leitbar. Hier steht die Auswahl von Art und Form der Kletterhilfe im Vordergrund. Sie ist für das Gebäude architekturelevant, bestimmt über Form und Bereich der Begrünungsausbreitung (horizontale, vertikale oder gerasterte Ausbildung) und korreliert mit ihrem Aufbau (Stäbe, Rohre, Seile, Gitter, Netze) stark mit der Pflanzenauswahl (Übereinstimmung mit deren Kletterstrategie, Pflanzeigengewicht, Schnee- bzw. Eislast, Windlast, Brandlast) und muss den Pflanzenbedingungen Rechnung tragen (z. B. Rasterabstände, Materialwahl und Vermeidung zu hoher Temperaturen durch eine helle Farbgebung).

Zu Zielsetzung B: Sonnenabgewandte Gebäudeseiten und besonnte Fassaden sind zu unterscheiden. Für eine saiso-

nale Beschattungen ist die Gruppe der laubabwerfenden Pflanzen weiterführend. Begrünungseinsätze in Synergie zu energieaktiven Außenwandfunktionen (Kühlung im Nahbereich von Photovoltaikanlagen, saisonale Beschattung) müssen interdisziplinär abgeklärt werden.

3. Stufe

Festlegung funktional geeigneter Pflanzen zu den Zielsetzungen der beiden Vorstufen: Entscheidungsfindung direkt in den entsprechend gegliederten Schautafeln. Im Ergebnis steht eine zweckgeeignete Breite unterschiedlicher Pflanzenarten zur Auswahl. Diese kann nun anhand persönlicher Vorlieben bezüglich der übrigen Kriterien zum Habitus der Pflanzen (Wuchsform, Blattform, Färbungen im Jahresverlauf usw.) zur Entscheidung genutzt werden. Ausschlüsse je nach Gebäudenutzung (z.B. Pflanzen mit giftigen Bestandteilen) gehen ebenfalls unmittelbar aus der Systematik hervor.

- ! Starkschlinger
- ! negativ phototrop
- †† hochgiftig
- † giftig
- ↑m Höhenwachstum/a Wuchsbreite
- ☞ Blattform

- botanischer Pflanzenname, deutscher Pflanzenname
- Blattfarbe/Färbung
- Blütenfarbe/Monat
- Fruchtfarbe/Monat
- Triebdurchmesser am Wurzelhals (cm)
- Abstand Kletterhilfe zur Wand (cm)

Abb. 254: Legende zu den Pflanzentafeln „Gesamtübersicht System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen“ 1-9/ Abb. 256-264
© Nicole Pfoser 08/2012
Grundlagen zu den Abb. 256-264 siehe Abbildungsverzeichnis

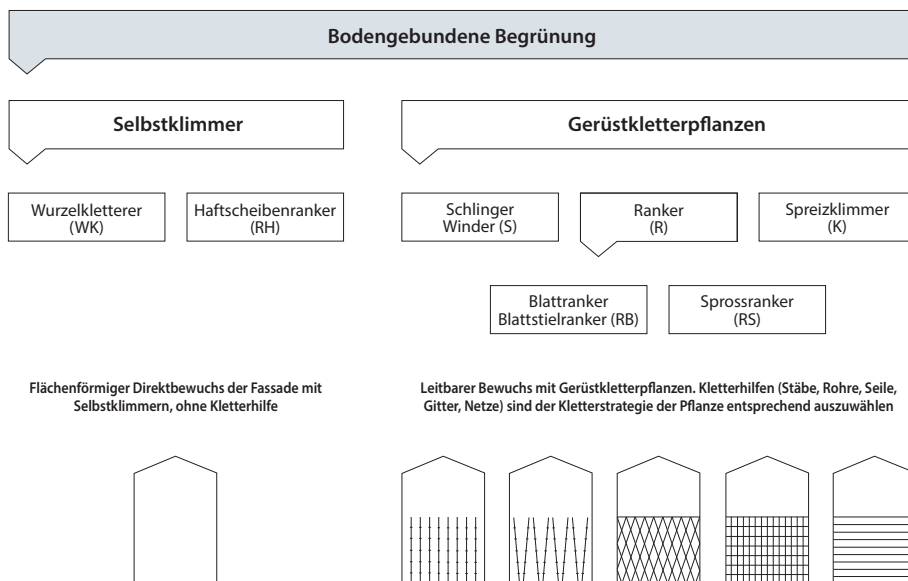
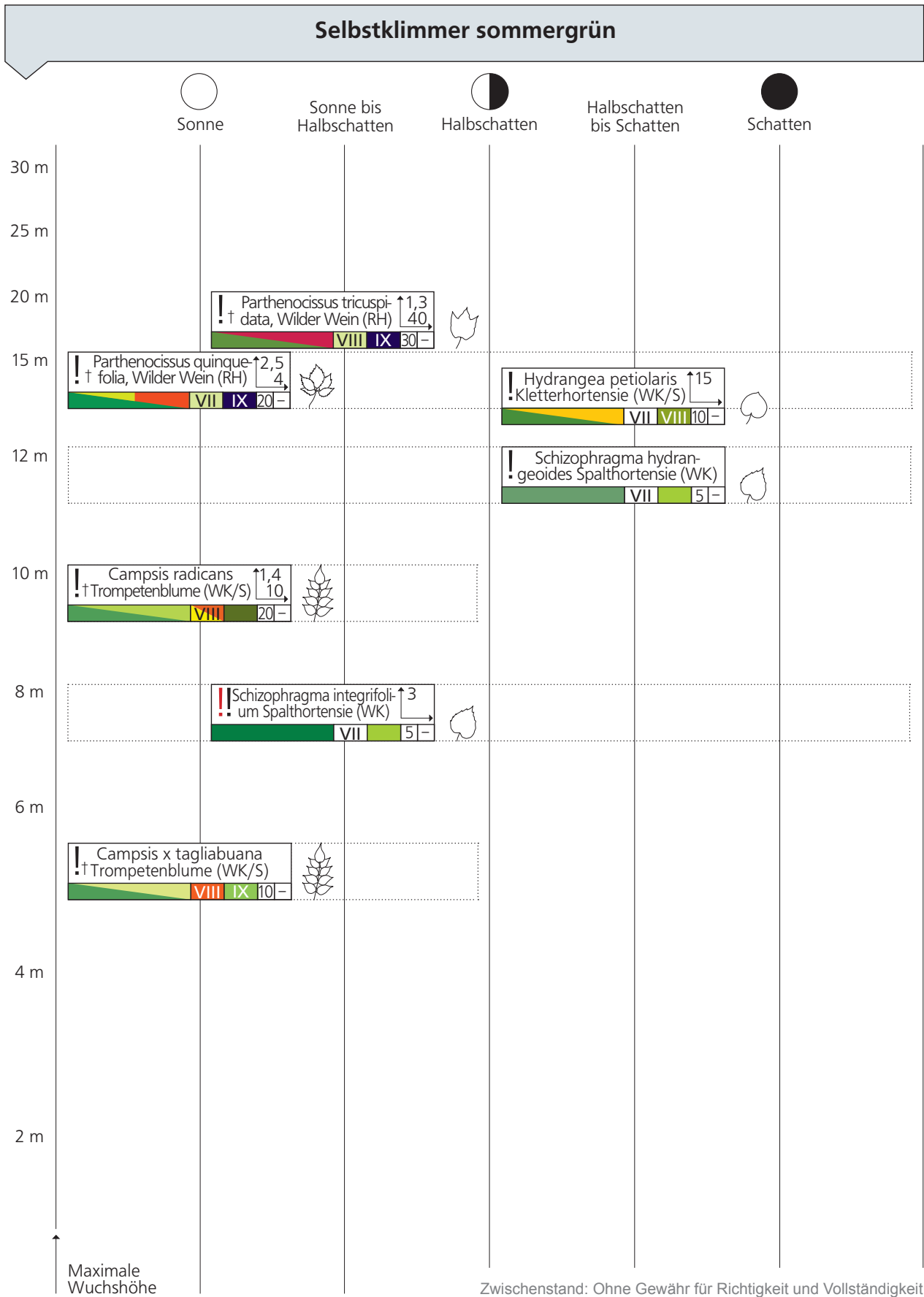
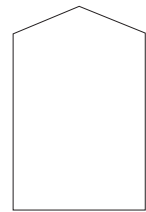
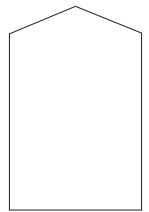


Abb. 255: Kletterformen
(© Nicole Pfoser 09/2009 - Grundlage: FLL Fassadenbegrünungsrichtlinie 2000)





Selbstklimmer immergrün

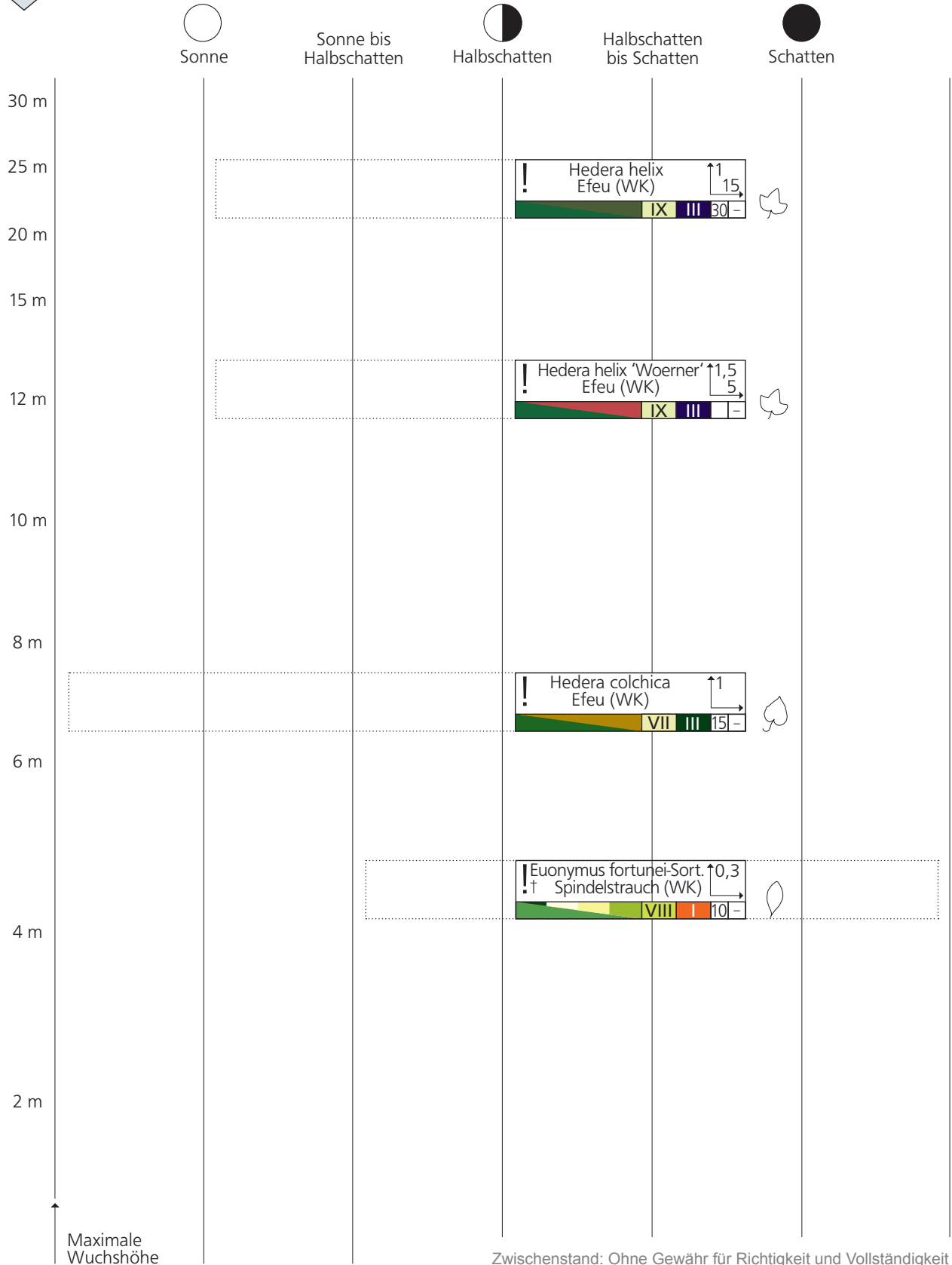
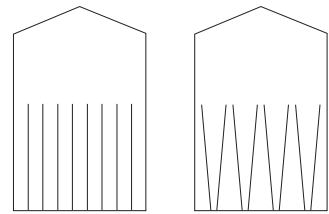
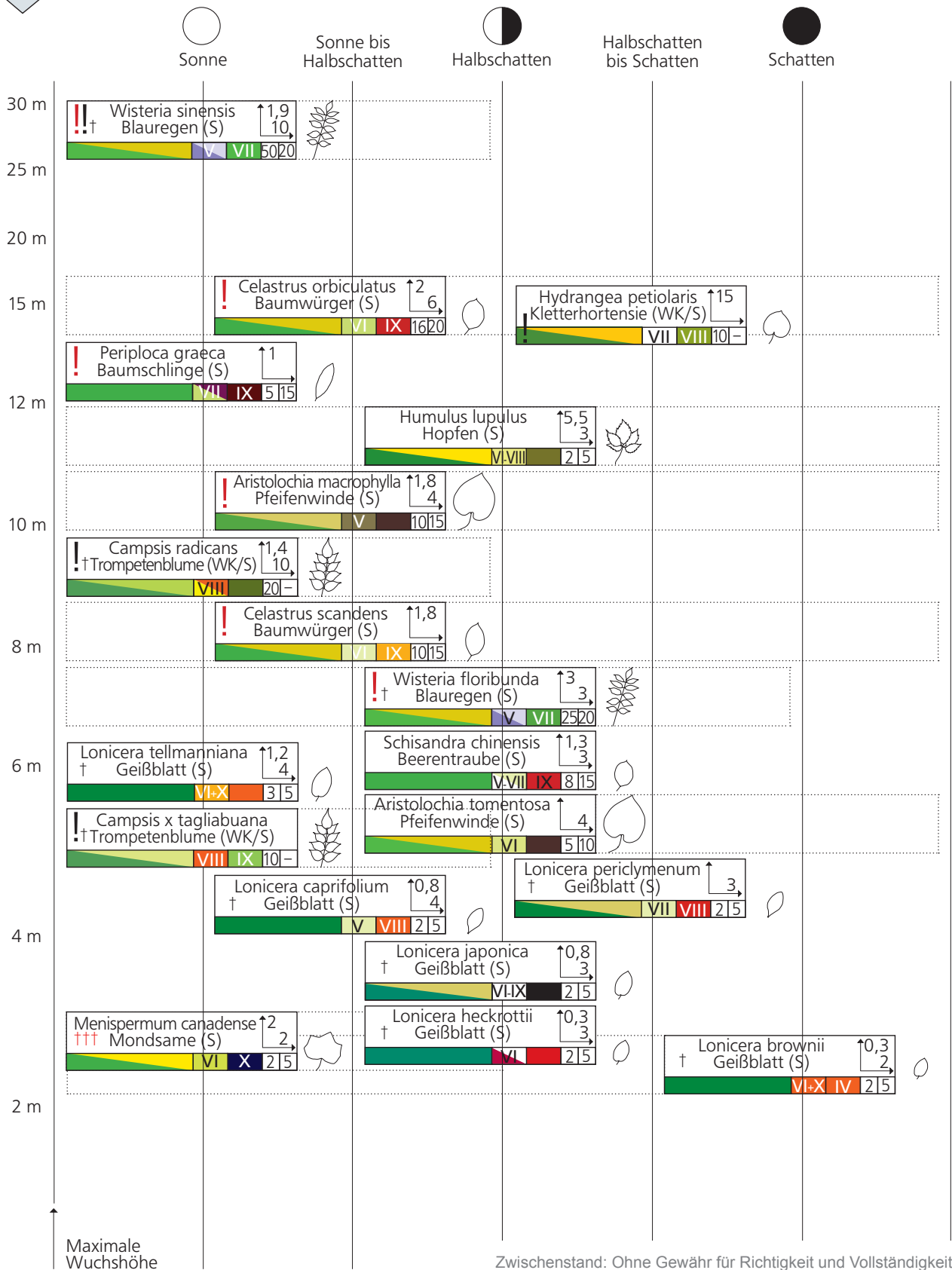


Abb. 257: System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen: Pflanzentafel 2 „Selbstklimmer immergrün“
© Nicole Pfoser 08/2012 - Grundlagen: siehe Abbildungsverzeichnis (Abb. 256-264)

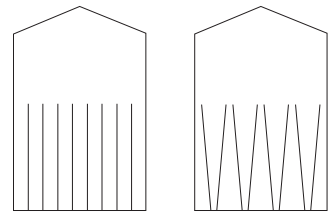


Gerüstkletterpflanzen - Schlinger/Winder sommergrün



Maximale Wuchshöhe

Zwischenstand: Ohne Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit



Gerüstkletterpflanzen - Schlinger/Winder immergrün/fakultativ wintergrün

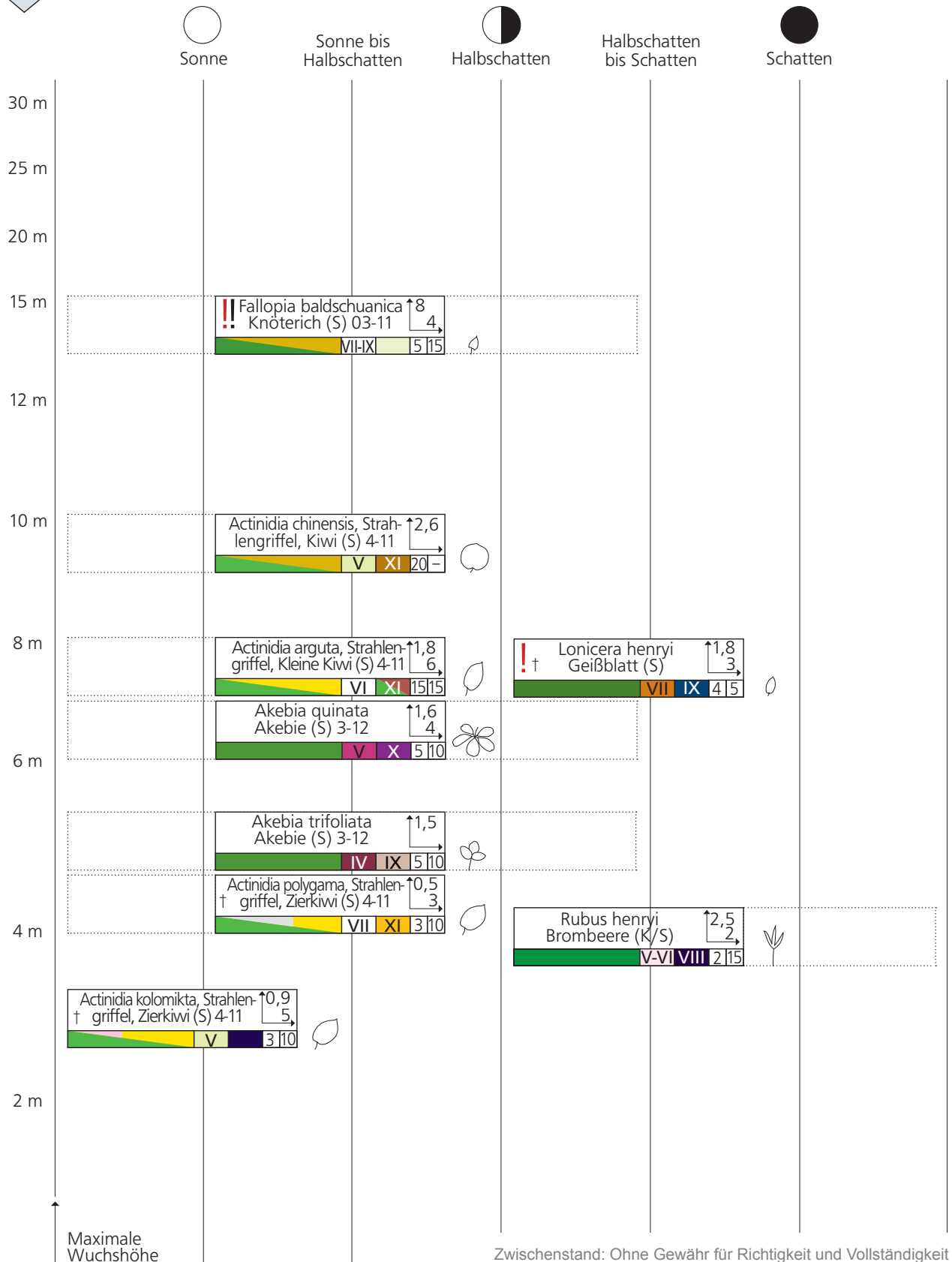
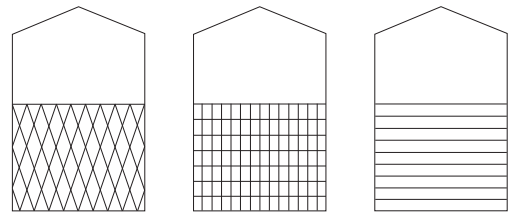
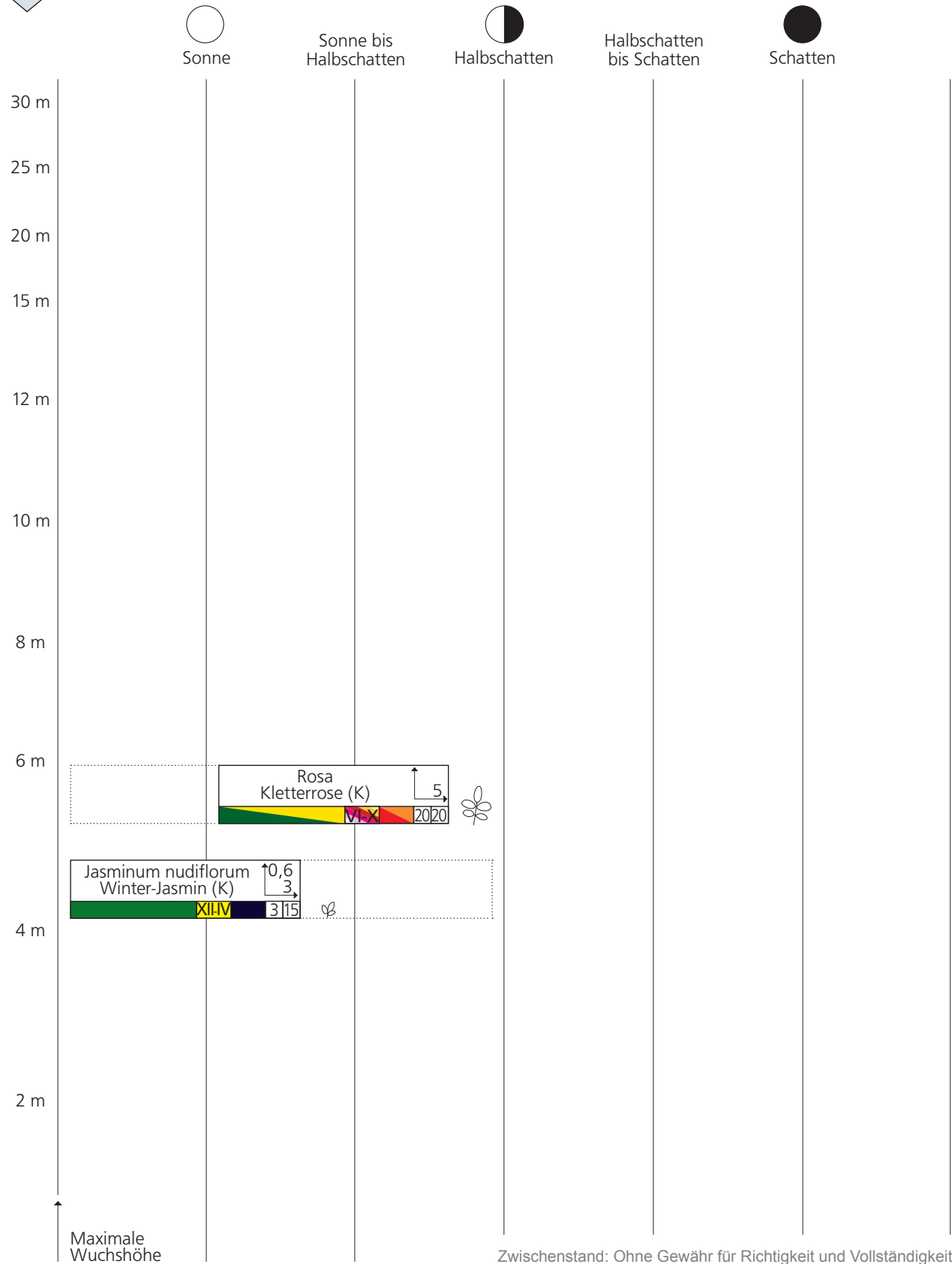
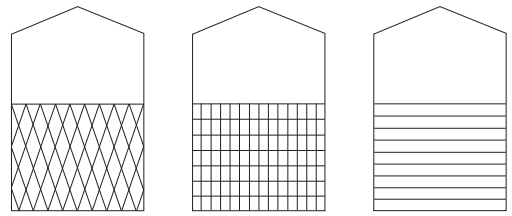


Abb. 259: System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen: Pflanzentafel 4 „Gerüstkletterpflanzen - Schlinger/Winder immergrün“ © Nicole Pfoser 08/2012 - Grundlagen: siehe Abbildungsverzeichnis (Abb. 256-264)



Gerüstkletterpflanzen - Spreizklimmer sommergrün





Gerüstkletterpflanzen - Spreizklimmer immergrün/fakultativ wintergrün

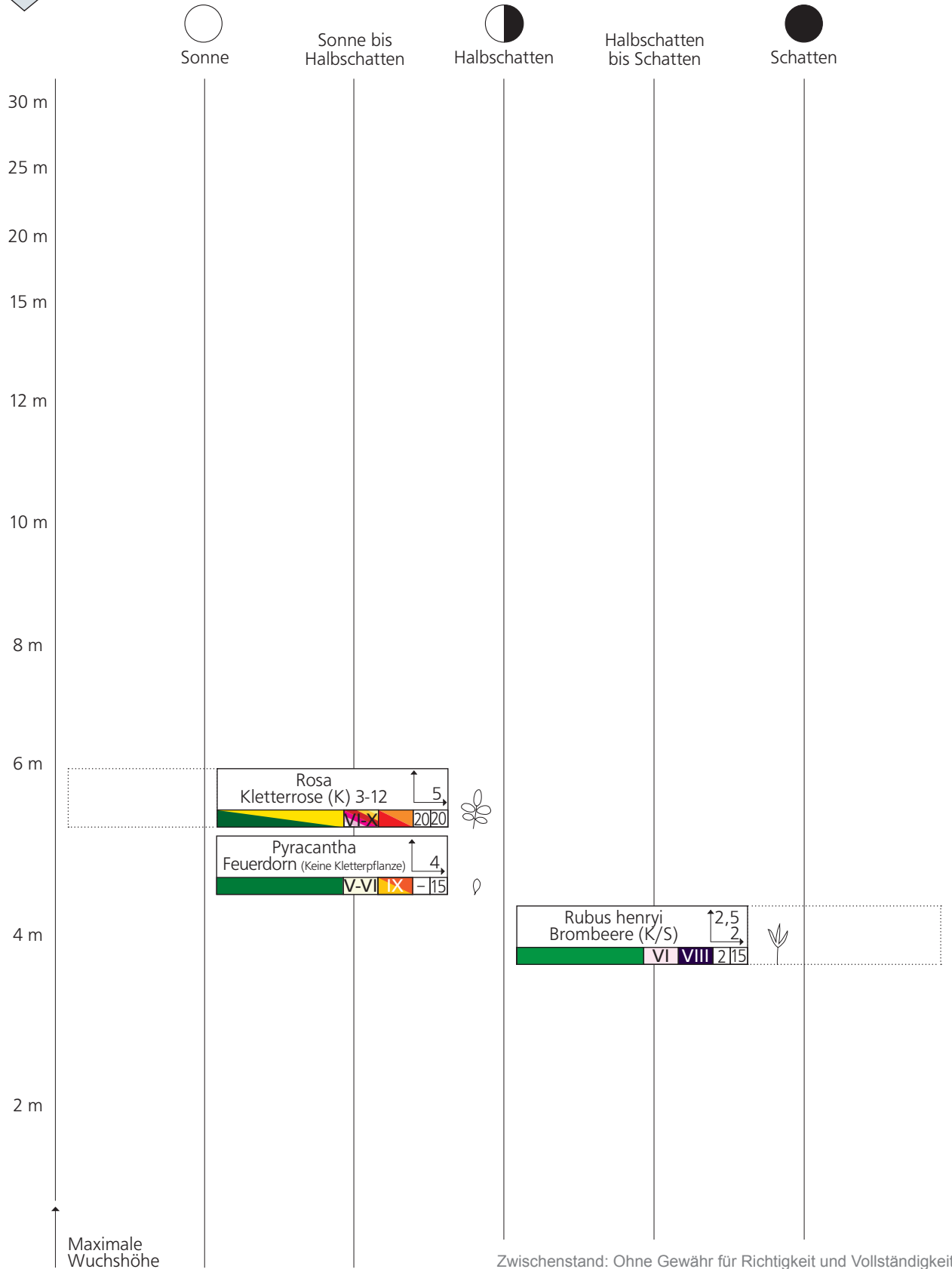
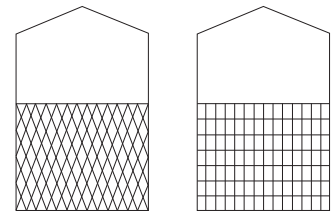
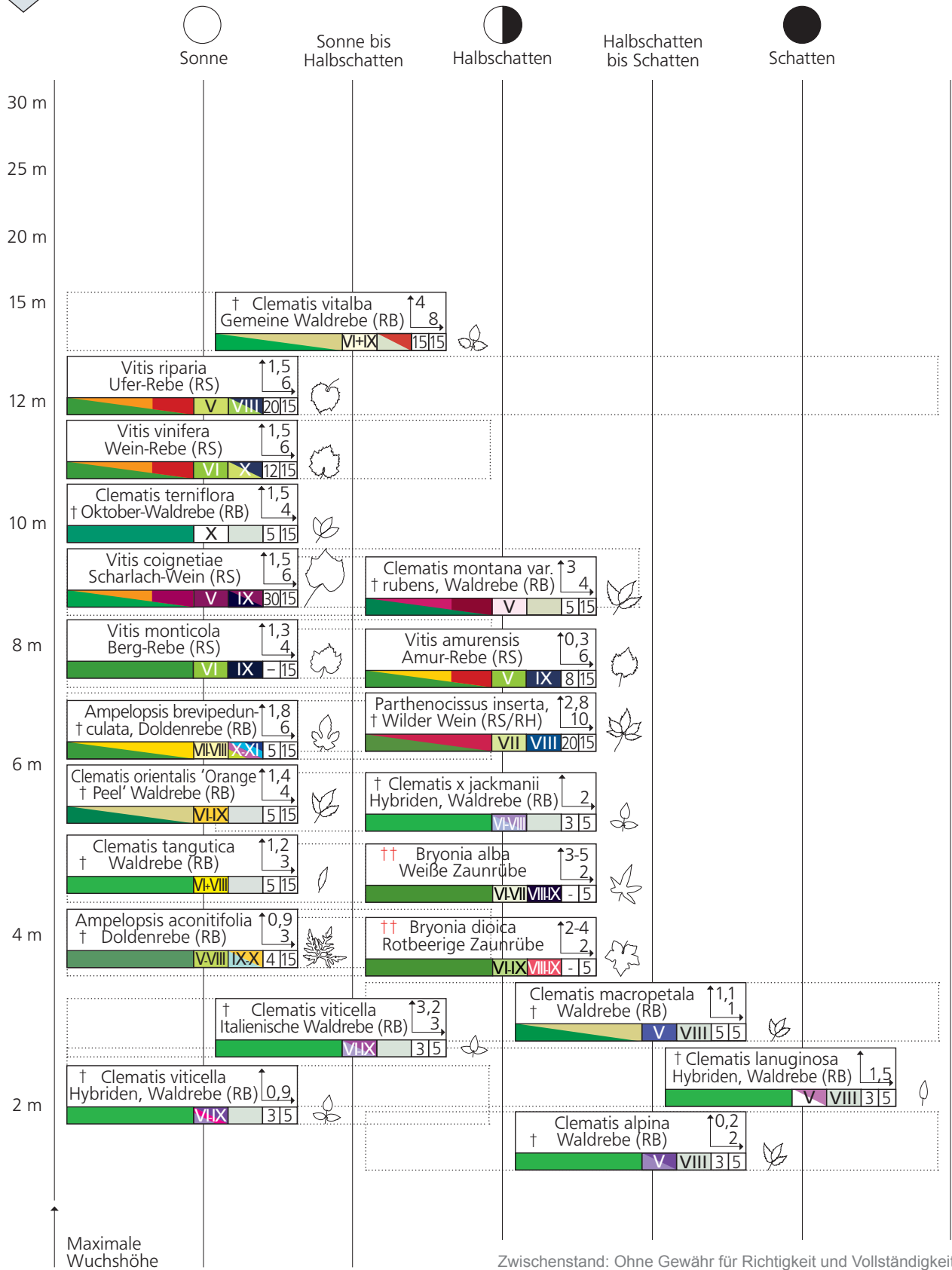
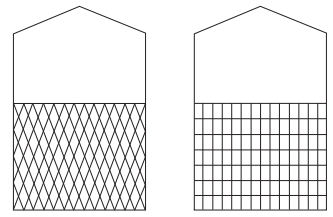


Abb. 261: System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen: Pflanzentafel 6 „Gerüstkletterpflanzen - Spreizklimmer immergrün“ © Nicole Pfoser 08/2012 - Grundlagen: siehe Abbildungsverzeichnis (Abb. 256-264)



Gerüstkletterpflanzen - Ranker sommergrün





Gerüstkletterpflanzen - einjährige Ranker

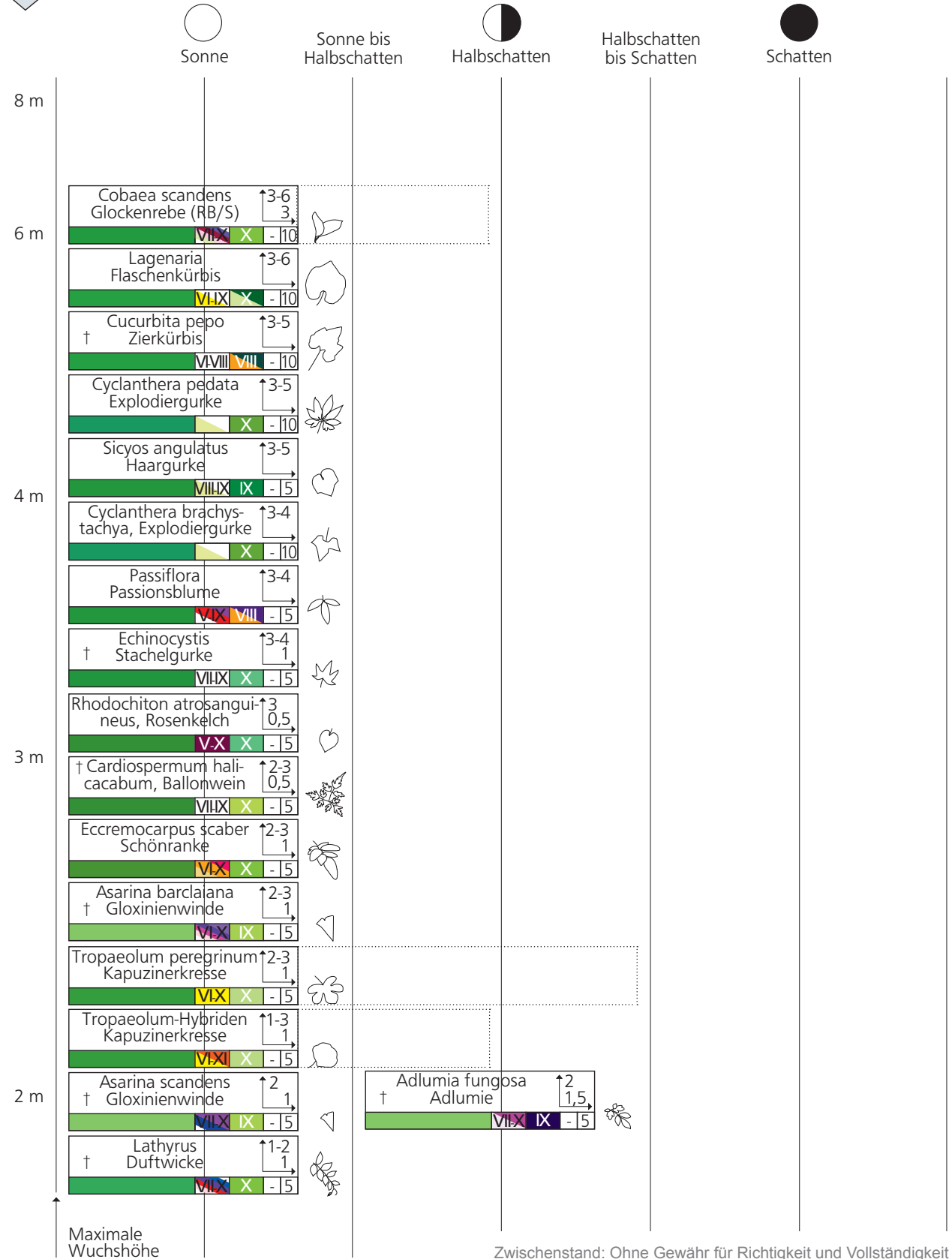


Abb. 263: System- und Pflanzenauswahl zur Begrünung mit Kletterpflanzen: Pflanzentafel 8 „Gerüstkletterpflanzen - einjährige Ranker“ © Nicole Pfoser 08/2012 - Grundlagen: siehe Abbildungsverzeichnis (Abb. 256-264)

9.6.3 Pflanzenlisten zur wandgebundenen Fassadenbegrünung in horizontalen und senkrechten Vegetationsflächen

Im Unterschied zu den bodengebundenen Begrünungstechniken behandeln die folgenden Tabellen die botanische Eignungsbreite der Nutz- und Zierpflanzen sowie der Wildpflanzen, die entweder flächendeckend monochrom oder in geeigneten Pflanzengesellschaften variierend in Linearbehältern, Vertikal-Modulen bzw. -Flächen der wandgebundenen Begrünungstechniken Anwendung finden. (Siehe Kapitel 2.3.3 „Gestaltungskriterien Pflanze - Erscheinungsbild“, S. 28/29). Zur Bepflanzung von horizontalen Vegetationsflächen (z. B. Linearbehälter) eignen sich alle Kübelpflanzen.

Der hier dokumentierte Zwischenstand zur Pflanzeneignung der senkrechten wandgebundenen Begrünungstechniken dient der Veranschaulichung des möglichen Gestaltungs-Spektrums. Die Pflanzenlistung befindet sich weiterhin in Forschung - sie bietet keine Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit, eignet sich jedoch als Grundlage für Testanwendungen des Pflanzeneinsatzes unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen.

Die Systematisierung folgt hier den Kriterien: Anordnung der Substrathaltung (hier vertikale Vegetationsflächen) und Belaubungsphase (sommergrün/immergrün/fakultativ wintergrün). Als Leitkriterium für Pflanzengesellschaften bestimmt der gemeinsame Lebensbereich in unmittelbarer Nachbarschaft die Pflanzenauswahl bezüglich übereinstimmender Expositions- und Versorgungsbedürfnisse.

Es folgen die Kriterien (ohne Reihenfolge) Pflanzengruppe (Moose/Stauden/Gehölze), Wasserqualität/pH-Wert, Substrat-Eigenschaften, Wuchsdichte, Winterhärte, energetischer bzw. klimatischer Nutzen, Wüchsigkeit (schnell/

langsam, Höhe/Breite), Wuchsverhalten (steigend, kragend, hängend, Polster-/Teppichbildend, mattenförmig) sowie Laubfarbe, Blühphase und -Farbe sowie das Erscheinungsbild im Winter.

„Vertikale Gärten“ stellen einen Extremstandort dar, Pflanzen in wandgebundenen Begrünungen müssen daher robust sein und entweder kontrolliert (langsam/kleinwüchsig) wachsen oder schnittverträglich sein. Die Pflanzenwahl hat zudem Einfluss auf die Statik des Begrünungsaufbaus und - abhängig von ihrem Pflege- und Wartungsaufwand - auf die Wirtschaftlichkeit des Begrünungsprojekts insgesamt. Das Substratvolumen ist ein Faktor für die Widerstandsfähigkeit und Frostverträglichkeit (besserer Wurzelschutz, Überbrückung von Trockenzeit durch die Wasserspeicherfähigkeit des Substrats).

In den folgenden Tabellen werden die geeigneten Pflanzen gruppiert nach

1. Gattung Moose, Stauden (u. a. Farne, Gräser, Zwiebel- und Knollengewächse), Gehölze
2. Sommergrün/immergrün/fakultativ wintergrün
3. Nährstoffzusammensetzung und -bedarf, Wassermenge und pH-Wert
4. Sonstige Eigenschaften, Lagebedingungen und Gestaltungskriterien

Grundlagen:

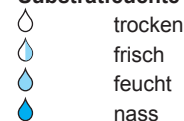
Für diesen Zwischenstand [182] wurden die Pflanzenlisten der FBB (■ Konrad Ben Köthner, 22.06.2010 [252]/■ Manfred Köhler 11.2010 [251]/■ Stefan Brandhorst, 11.2012) sowie eine eigene Zusammenstellung der Pflanzenauswahl von in unserer Klimazone erfolgreich realisierten wandgebundenen Begrünungen (■ Nicole Pfoser, 01.2013) herangezogen (Daten s. [31; 225; 253-257])

Vorbemerkungen zu den Pflanzentabellen 28-34.7, S. 282-305:

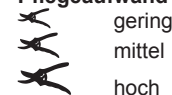
Die einzelnen Tabellen sind nach dem pH-Wert des Substrats gegliedert. Die in den Tabellen aufgeführten Pflanzen selbst sind nach zunehmendem Wasserbedarf aufgelistet.

Die folgende Legende erklärt die Bedeutung der einzelnen Listensymbole wie folgt:

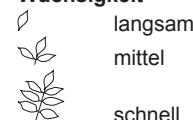
Substratfeuchte



Pflegeaufwand



Wüchsigkeit



Blütenfarbe



Die Einfärbung der Symbole entspricht der Blütenfärbung

Fruchtfarbe



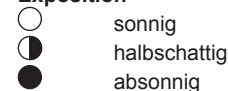
Die Einfärbung der Symbole entspricht der Fruchtfarbe

Laubfarbe

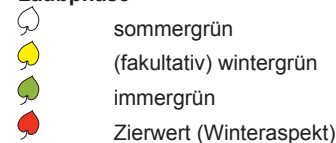


Die Einfärbung der Symbole entspricht der Laubfarbe (Herbstfärbung eingeschlossen)

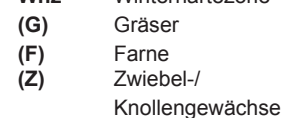
Exposition



Laubphase



Whz



Moose

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Boden/pH	Pflegeaufwand	Höhe bis	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Ceratodon purpureus</i>	Purpurstieliges Hornzahnmoos, Purpurmoos, Purpurstielzchen	aufrecht, teppichbildend	6				7,5cm				
<i>Ceratodon purpureus 'conicus'</i>	Purpurstieliges Hornzahnmoos	aufrecht, kompakt, teppichbildend	6				3cm				
<i>Bryum argenteum</i>	Silbermoos, Silber-Birnmooos	aufrecht, polster- bis teppichbildend	6				2cm				
<i>Bryum capillare</i>	Haarblättriges Birnmoos	polster- bis teppichbildend	5				1-3cm				
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Zypressenschlafmoos	niedrigliegend, teppichbildend (hängend)	5				3-10cm				
<i>Brachythecium i. S.</i>	Kurzbüchsen-, Kurzkapsel-Kegelmoos	kriechend, aufrecht, teppichbildend	4-7				5-10cm				

Tab. 28: System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung: Moose
© Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281

Stauden - Substrat pH-Wert alkalisch

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Melica ciliata</i> (heimische Wildstaude) (G)	Wimper-Perlgras	kragend/hängend buschig/horstbildend	6			10-11(II) 30cm	30-60cm		V-VI				
<i>Eriophyllum lanatum</i>	Wollblatt, Wüsten-Goldaster	buschig/horstbildend	5			7-9(II) 30-40 cm	20cm		VI-VIII				
<i>Draba sibirica</i>	Hungerblümchen	polsterbildend/mattenartig	1				5-10cm		IV-V				
<i>Alyssum montanum 'Berggold'</i>	Berg-Steinkraut	aufrecht/boden-deckend kriechend	6			8(I-II) 35cm	10-20cm		IV-V				
<i>Sesleria heufleriana</i> (G)	Grünes Kopfgras, Blaugras-Kopfgras	kragend/hängend, bogig/horstbildend	5			4-6(I) 30-40cm	30-70cm		IV-VI				
<i>Achnatherum calamagrostis, Stipa calamagrostis</i> (G)	Föhngras, Ränkegras, Silber-Ährengras	kragend/überhängend/horstbildend	5-7			3(I) 60-70cm	50-80cm		VI-IX				
<i>Poa labillardieri</i> (G)	Australisches Rispengras	steigend/kragend (aufrecht)/horstbildend	6			10 (II-III) 30 cm	50cm		VII-VIII				
<i>Sesleria autumnalis</i> (G)	Herbst-Kopfgras, Adria-Kopfgras	kragend/hängend, (aufrecht)/horstbildend	7			11(I-II) 30 cm	20-50cm		IX-X				
<i>Saxifraga paniculata</i>	Rispen-Steinbrech	rosettig, polsterartig/Ausläufer bildend	2			11(I) 25-30cm	30cm		V-VI				
<i>Aubrieta</i> Hybride 'Royal Blue'	Blaukissen	flach, polsterbildend ausbreitend	6			11(I-II) 30 cm	5-10cm		IV-V				
<i>Carex flacca</i> (G)	Blaugrüne Segge, Schlawfe Segge	kragend/hängend/horstbildend	3-5			7(I-II) 30-40cm	20-25cm		IV-V				
<i>Phyllitis scolopendrium</i> (heimische Wildstaude) (F)	Hirschzunge, Hirschzungenfarn	kragend/hängend tichterförmig aufrecht	5			7-8(I-II) 30-40cm	25-40cm						

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Draba sibirica</i>	Hungerblümchen	polsterbildend/ mattenartig	1				5-10cm		IV-V				
<i>Aurjnia saxatilis</i> , syn. <i>Alyssum saxatile</i>	Felsensteinkraut, Gartensteinkraut	kissenartig/ horstbildend	3			7(I-II) 35cm	15-20cm		IV-V				
<i>Dianthus deltooides</i> 'Leuchtfunk'	Heidenelke	polsterartig/ kriechend	3			13-16(II) 20-30cm	15-20cm		VI-VIII				
<i>Dianthus knappii</i>	Schwefel-Nelke	polsterartig/ horstbildend	3			16(II) 20-30cm	20-40cm		V-VII				
<i>Cerastium biebersteinii</i>	Hornkraut	teppichartig, bodenbedeckend/ kriechend	4			15(II) 20-40cm	20cm/ 40cm (Blüte)		V-VI				
<i>Koeleria glauca</i> (heimische Wildstaude)	Blaues Schillergras	steigend/ kragend polsterbildend/ horstbildend	4			16(II) 25 cm	10-40 cm		VI-VII				
<i>Nepeta racemosa</i> (<i>Nepeta x faassenii</i>)	Katzenminze	gedrungen polsterartig	4			8-11(II-III) 30-35cm	20-90cm		IV-VII+(IX)				
<i>Eriophyllum lanatum</i>	Wollblatt, Wüsten-Goldaster	buschig/ horstbildend	5			7-9(II) 30-40 cm	20cm		VI-VIII				
<i>Delosperma nubigenum</i>	Mittagsblume	teppichartig, bodenbedeckend/ kriechend	6			25(I-II) 15-25cm	10cm		V-VI				
<i>Festuca cinerea</i> 'Blauglut'	Blau-Schwingel	kragend, polsterbildend/ horstbildend	6			13(II) 20-30cm	20cm		VI-VII				
<i>Sedum spectabile</i> 'Brillant'	Prächtiges Fettblatt, Rosa Pracht-Fetthenne	aufrecht/ horstbildend	6			7(I-II) 30-40 cm	40cm		VIII-IX				
<i>Sedum spectabile</i> 'Septemberglut'	Prächtiges Fettblatt	aufrecht/ horstbildend	6			7(I-II) 30-40 cm	50cm		VIII-IX				
<i>Yucca filamentosa</i>	Palmililie, Garten-Yucca	aufrecht/ horstbildend	6			3(I) 60-90cm	60-150cm		VII-VIII				
<i>Yucca filamentosa</i> 'Golden Sword'	Palmililie, Garten-Yucca	aufrecht/ horstbildend	6			3(I) 60-90cm	60-150cm		VII-VIII				
<i>Delosperma lineare</i>	Staudenmittagsblume	polsterbildend/ flächig, flach	7			15(II) 20cm	5-10cm		VII-VIII				
<i>Festuca amethystina</i> (heimische Wildstaude)	Regenbogen-Schwingel	kragend überhängend/ horstbildend	4-5			11(II) 30 cm	10-45 cm		VI-VII				
<i>Sedum acre</i> (bedingt)	Scharfer Mauerpfeffer	teppichartig, kriechend, rasch große Flächen bedeckend, nach der Blüte großflächig absterbend	5			25(II-III) 10-20cm	5-10cm		VI-VII				
<i>Sedum album</i> 'Coral Carpet'	Rotmoos-Mauerpfeffer	teppichartig, bodenbedeckend/ horstbildend	6			25(II-III) 20cm	5-10cm		V-VII				
<i>Sedum reflexum</i> i.S.	Felsen-Fetthenne, Tripmadam	teppichartig, bodenbedeckend/ kriechend	7			16-25(I-II) 20-25 cm	10-25cm		VI-VIII				

Tab. 30.1: System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung: Stauden - Substrat pH-Wert alkalisch
© Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
Alyssum montanum 'Berggold'	Berg-Steinkraut	aufrecht/ boden- deckend kriechend, dichte Polster bildend	6			8(I-II) 35cm	10-20cm		IV-V				
Waldsteinia ternata	Teppich- Ungarwurz	boden- deckend/ kriechend	3			11(II-IV) 30 cm	10-15cm		IV-VI				
Carex oshimensis 'Evergold'	Immergrünes Schattengras, Gelbgrüne Garten-Segge	kragend/ hängend aufrecht/ über- hängend/ horst- bildend	7			8-10 (II) 30-35 cm	20-30cm		IV-V				
Asplenium trichomanes (heimische Wildstaude)	Brauner Streifenfarn, Steinfeder	(aufrecht) kragend/ über- hängend/ horst- bildend	2			25(II) 20 cm	10cm						
Festuca mairei	Atlas-Schwengel	kragend, hängend, (aufrecht)/ horst- bildend	7			1-3(I) 90cm	50-100cm		VI-VIII				
Campanula portenschlagiana , syn. <i>C. muralis</i>	Mauerglocken- blume, syn. C. muralis	polster- bildend/ ausläufer- bildend	4			11(I-II) 25-30cm	15cm		VI-VIII				
Geranium macrorrhizum	Felsen-Storch- schnabel, Balkan-Storch- schnabel, Großwurzelliger Storchschnabel	kissenartig/ rhizom- bildend	4			10 (III) 30cm	30cm		V-VII				
Geranium macrorrhizum 'Spessart'	Balkan-Storch- schnabel, Weißer Felsen- Storchschnabel	kissenartig/ rhizom- bildend	4			10-11(II-IV) 30cm	20-30cm		V-VII				
Briza media (heimische Wildstaude)	Gemeines Zittergras/ Herz-Zittergras	(aufrecht) kragend/ horst- bildend, hängend	5			8-10(II) 35cm	20-40cm		V-VIII				
Festuca filiformis	Haar-Schwengel	aufrecht, über- hängend/ horst- bildend	5			11 (III) 25-30 cm	15cm		V-VI				
Festuca gautieri syn. <i>scoparia</i>	Bärenfell- Schwengel	kragend polster- bildend/ horst- bildend	5			16(II) 25-30 cm	15-20cm		VI-VIII				
Geranium x cantabrigiense 'Biokovo'	Storchschnabel/ Cambridge- Garten- Storchschnabel	buschig/ ausläufer- bildend	5			13-16(II-III) 20-30cm	20-25cm		V-VII				
Geranium x cantabrigiense 'Karmina'	Niedriger Storchschnabel, Cambridge- Storchschnabel	lockerrasig, kissenartig bis kissen- bildend	5			11-25(II-III) 20-30cm	15-25cm		VI-VII				
Sedum spectabile 'Iceberg'	Weißer Fetthenne	aufrecht/ horst- bildend	5			5(I) 45cm	40cm		VIII-IX				
Sesleria heufleriana	Grünes Kopfg ^{ras} , Blaugras- Kopfg ^{ras}	kragend/ hängend, (aufrecht)/ bogig/ horst- bildend	5			4-6(I) 30-40 cm	30-70cm/ weite 20 - 50		IV-VI				
Eragrostis spectabilis	Purpur- Liebesgras	kragend/ hängend bogig/ horst- bildend	6			6(I) 40cm	20-50 cm		VIII-X				
Helleborus foetidus	Stinkende Nieswurz, Palmlblatt- Schneerose	buschig/ horst- bildend	6			4-6(I-II) 40cm	40cm		III-IV				

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
Luzula nivea (heimische Wildstaude)	Schnee-Marbel, Weiße Hainsimse	kragend (aufrecht)/ bodendeckend/ horstbildend	6			8(II-III) 30-40 cm	15-40cm		VI-VIII				
Meconopsis cambrica (giftig)	Wald-Scheinmohn	buschig/ horstbildend	6			10(II) 30cm	30-40cm		VI-IX				
Poa labillardieri	Australisches Rispengras	steigend/ kragend (aufrecht)/ horstbildend	6			10 (II-III) 30 cm	50cm		VII-VIII				
Sedum pachyclados	Blaues Polstersedum, Rosetten-Fetthenne, Dickrosetziges Fettblatt	rosettenartig/horstbildend	6			25(I-II) 20cm	10cm		VI-VII				
Stipa (Nassella) tenuifolia	Federgras	kragend/ überhängend aufrecht/ horstbildend	7			7(I-II) 30-40 cm	25-50cm		VI-VIII				
Stipa pulcherima f.nudicostata	Reiher-Federgras	kragend/ hängend (aufrecht)/ überhängend/ horstbildend	7			7(I-II) 30-40cm	50-90cm		VI-VII				
Thymus vulgaris	Gewürz-Thymian Gemeiner Thymian	buschig/ horstbildend	7			15-16(II) 25cm	10-30cm		VI-VII-(IX)				
Calamagrostis x acutiflora 'Karl Foerster'	Garten-Reitgras, Sandrohr	straff aufrecht/ horstbildend, steigend, kragend, hängend	3-6			1(I) 70-100cm	60-150cm		VI-VIII				
Iberis sempervirens i.S.	Schleifenblume	kissenartig/ horstbildend	4			7(II) 30-40 cm	10-25cm		IV-V				
Euphorbia myrsinites (phototoxisch)	Walzen-Wolfsmilch	boden-deckend/ horstbildend	6			7(I-II) 30-40 cm	15-25cm		V-VII				
Iberis saxatilis (überhängend)	Schleifenblume, Felsenschleifenblume	aufrecht, bodendeckend/ horstbildend	6			10(II) 30cm	5-10cm		III-IV				
Sedum hybridum	Immergrünchen, Immergrünes Fettblatt Polster-Fetthenne	rosettig, polsterartig/ horstbildend	6			25(II-IV) 20-25cm	15-20cm		VI-VIII				
Bergenia cordifolia	Bergenie	boden-deckend/ kriechend	3			7(I-II) 35-40cm	20cm/ 40cm (Blüte)		IV-V				
Bergenia cordifolia 'Eroica'	Bergenie, Riesen-Steinbrech	boden-deckend/ kriechend	3			7(I-II) 35-40cm	20cm/ 40cm (Blüte)		V-VI				
Bergenia purpurascens 'Wintermärchen'	Purpurrötliche Bergenie, Garten-Riesen-Steinbrech	boden-deckend/ kriechend	3			7(I-II) 35-40cm	20cm/ 30cm (Blüte)		IV-V				
Tiarella cordifolia 'Moorgrün'	Schaumblüte	kissenartig/ kriechend	3			15(IV-V) 25cm	10-15cm		IV-V				
Arabis caucasica	Kaukasische Gänsekresse	polsterbildend/ kriechend	4			13(I) 20-30cm	15-20cm		IV-V				
Geranium macrorrhizum 'Bevan'	Balkan-Storchschnabel	kissenartig/ rhizombildend	4			10-11 (II-IV) 30cm	25cm		V-VII				
Phlox stolonifera i.S.	Wander-Phlox	kissenartig/ ausläuferbildend	4			10(II) 30cm	20-30cm		IV-VI				

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
Heuchera Hybride 'Obsidian'	Schwarzbraunes Purpurglöckchen	buschig/horstbildend	5			8(II) 35cm	40cm		VI-VII				
Heuchera Hybride 'Plum Pudding'	Purpurglöckchen	buschig/horstbildend	5			8(II) 35cm	20-50 cm		VI-VIII				
Heuchera micrantha 'Palace Purple'	Rotblättriges Silberglöckchen	buschig/horstbildend	5			7-8(II) 35cm	30-70cm		VII-VIII				
Heuchera micrantha 'Velvet Night'	Purpurglöckchen	buschig/horstbildend	5			7(II) 30-40cm	60cm		VI-VII				
Heucherella alba 'Bridget Bloom'	Helles Garten-Purpurglöckchen	halbkugelig, halbrund/horstbildend	5			10(II) 30cm	30cm		V-VII				
Heucherella Hybride 'Quicksilver'	Kissen-Purpurglöckchen	halbkugelig, halbrund/horstbildend	5			8(II-III) 35cm	10-30cm		V-VII				
Hosta plantaginea	Lilien-Funkie, Herzblatt-Lilie	halbkugelig, halbrund/horstbildend	5			4(I) 50-60cm	60cm		VIII-IX				
Pachysandra terminalis	Dickmännchen, Schattengrün	bodenbedeckend/ausläuferbildend	5			13(IV-V) 20-30cm	25-30cm		IV-V				
Pachysandra terminalis 'Green Carpet'	Dickmännchen, Schattengrün	bodenbedeckend/ausläuferbildend	5			25(IV-V) 20cm	10-15cm		IV-V				
Polystichum aculeatum (heimische Wildstaude)	Glanz-Schildfarn	kragend (aufrecht), überhängend/horstbildend	5			4-5(I-II) 40-50cm	45-80cm						
Polystichum polyblepharum	Japanischer Glanzschildfarn	(aufrecht) kragend, überhängend/horstbildend	5			4(I-II) 50-60 cm	70cm						
Tricyrtis hirta	Krötenlilie	aufrecht/kriechend	5			6(I) 30-40cm	50cm		VIII-X				
Vinca minor 'Alba'	Weißes Immergrün	aufrecht, bodenbedeckend/kriechend	5			16(III-IV) 25cm	10-15cm		IV-V				
Aubrieta Hybride 'Royal Red'	Rotes Blaukissen	polsterbildend/kriechend	6			11(I-II) 30cm	10cm		IV-V				
Aubrieta Hybride 'Royal Blue'	Blaukissen	flach, polsterbildend/kriechend ausbreitend	6			11(I-II) 30cm	5-10cm		IV-V				
Carex foliosissima 'Icedance'	Weißrandige Segge	aufrecht/überhängend/horstbildend	6			5-9(II-IV) 30-35 cm	30-60cm		IV-VII				
Carex morrowii	Japansegge	aufrecht/überhängend/horstbildend	6			6-10 (II-III) 30-40cm	30-40		III-V				
Carex morrowii 'Variegata'	Weißrand-Japan-Segge	kragend/hängend aufrecht/überhängend/horstbildend	6			6 (II-III) 30-40 cm	25-40cm		IV-VII				
Corydalis cheilanthifolia	Farnblättriger Lerchensporn, Farn-Lerchensporn	buschig	6			6-13(I-II) 30-40cm	20-30cm		IV-VII				

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Helleborus orientalis</i> i.S.	Orientalische Nieswurz, Frühlingschristrose, Lenzrose	buschig/horstbildend	6			6(I) 40 cm	30-60cm		II-IV				
<i>Heuchera</i> i.S.	Purpurglöckchen	buschig/horstbildend	6			7-8(I-II) 15-35cm	15- 70cm		V-VIII				
<i>Heuchera x brizoides</i> 'Pluie de Feu'	Purpurglöckchen	buschig/horstbildend	6			7(I-II) 30-40cm	40-50cm		VI-VII				
<i>Liriope muscari</i> 'Big Blue'	Glöckchentraube	polsterartig/horstbildend	6			13(II) 20-30cm	50cm		VIII-X				
<i>Liriope muscari</i> (giftig)	Traubenlilie, Lilientraube	polsterartig/horstbildend	6			16(II) 25cm	20-40cm		VIII-X				
<i>Luzula sylvatica</i> 'Marginata'	Gelbrand-Wald-Marbel, Garten-Goldrand-Simse	aufrecht/überhängend/horstbildend	6			8(II-III) 30-35cm	20-40cm		IV-VI				
<i>Luzula sylvatica</i> (heimische Wildstaude)	Wald-Hänsimse, Waldmarbel	kragend (aufrecht)/überhängend/horstbildend	6			8-10(II-IV) 30-35cm	20-40cm		V-VI				
<i>Saxifraga x urbium</i>	Porzellanblümchen	rosettig, polsterartig/ausläuferbildend	6			25(I-III) 20cm	10-30cm		V-VI				
<i>Sedum spurium</i> 'Variegatum'	Garten-Teppich-Fettblatt	bodenbedeckend/kriechend	6			16(I-III) 20-25cm	10cm		VII-VIII				
<i>Tiarella wherryi</i>	Schaumblüte	kissenartig/horstbildend	6			11(II-III) 30cm	30cm		IV-VII + IX				
<i>Vinca minor</i> 'Argenteovariegata'	Weißbuntes Immergrün, Kleines Immergrün	bodenbedeckend/kriechend	6			16(III-IV) 20-25cm	10-15cm		IV-V				
<i>Vinca minor</i> 'Atropurpurea'	Violettblühendes Immergrün, kleinblättriges Immergrün, Jungfernkraut	aufrecht, bodenbedeckend/kriechend	6			16(III-IV) 20-25cm	10-12cm		IV-V				
<i>Arabis blepharophylla</i>	Wimpereblättrige Gänsekresse, Garten-Gänsekresse	polsterbildend/kriechend	7			13(I) 20-30cm	15cm		III-IV				
<i>Carex conica</i> 'Snowline'	Garten-Segge, Weißbunte Zwerg-Segge	bogig/horstbildend, kragend, hängend	7			16(II) 25cm	20-30cm		IV-V				
<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Hameln'	Kleines Lampenputzergas, Federborstengras	kragend/hängend buschig/horstbildend	7			2(I-II) 50-70cm	40-80cm		VII-X				
<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Little Bunny'	Zwerg-Lampenputzergas, Federborstengras	kragend/hängend buschig/horstbildend	7			10-11(I-II) 30cm	10-30cm		VIII-X				
<i>Pleiblastus pygmaeus</i> (Sasa pygmaea)	Zwerg-Bambus	buschig/ausläuferbildend	7			6-10(III-IV) 30-40 cm	30-40 cm						
<i>Polystichum setiferum</i> 'Plumosum Densum'	Flaumfeder-Filigranfarne	(aufrecht) kragend, überhängend/horstbildend	7			4-5(I-II) 45-60 cm	40-50cm						
<i>Polystichum setiferum</i> 'Proliferum'	Filigranfarne	aufrecht, überhängend	7			4-5(I-II) 45-60 cm	30-50cm						
<i>Bergenia</i> i.S.	Bergenie	bodenbedeckend/kriechend	3			7(I-II) 30-40 cm	15-50 cm		IV-V (IX)				

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Carex montana</i> (heimische Wildstaude)	Berg-Segge	aufrecht/ überhängend/ horstbildend	4-7			11(II) 30 cm	15-25 cm		III-V				
<i>Geranium versicolor</i>	Storchschnabel	buschig/ horstbildend	6			7(I-II) 30-40cm	30cm		VI-VIII				
<i>Saxifraga x arendsii</i> i.S.	Moos-Steinbrech	kissenartig/ ausläuferbildend	6			16(I-II) 20-25cm	8-15cm		IV-V				
<i>Sedum floriferum</i> 'Weihenstephaner Gold'	Gold-Fetthenne	aufrecht, bodenbedeckend/ horstbildend	5			16(II-III) 20-25cm	10-20cm		VI-VII				
<i>Sporobolus heterolepis</i>	Tautropfen-Gras, Prärie-Gras	kragend/ hängend überhängend/ horstbildend, Tiefwurzler	6			6(I-II) 40cm	25-70cm		VII-IX				
<i>Adiantum venustum</i>	Venushaarfarn, Frauenhaarfarn	kragend/ überhängend, kriechend	3			8-12(I) 20-35cm	10-15cm						
<i>Blechnum spicant</i> (heimische Wildstaude)	Rippenfarn	kragend (aufrechter Wuchs)	5			7-8(I-II) 30-40 cm	25-40cm						
<i>Matteuccia struthiopteris</i> (heimische Wildstaude)	Straußenfarn, Trichterfarn	steigend/ kragend, straff aufrecht/ ausläuferbildend, rhizombildend, wuchernd	3			1-3(II-III) 80-120cm	80-120cm						
<i>Athyrium niponicum</i> 'Pictum'	Regenbogenfarn	(aufrecht) kragend/ überhängend/ horstbildend	4			5(I-II) 40-50cm	20-40cm						
Phyllitis													
<i>Lysimachia nummularia</i> 'Aurea'	Gold-Pfennigkraut, Hellerkraut, Münzkraut	teppichartig, bodenbedeckend/ ausläuferbildend	4			16(II-III) 25cm	5-10cm		V-VII				
<i>Adiantum pedatum</i> 'Imbricatum'	Pfauenrad-Farn, Hufeisen-Farn	kragend/ überhängend/ horstbildend, schwach kriechende Rhizome	5			5-11(I) 25-35cm	15-20cm						
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Rasen-Schmiele	kragend (aufrecht)/ überhängend/ horstbildend	5			5(I-II) 40-50cm	40-80cm		VI-VIII				
<i>Phyllitis scolopendrium</i> (heimische Wildstaude)	Hirschzunge, Hirschzungenfarn	kragend/ hängend, trichterförmiger Wuchs/ aufrecht/ horstbildend	5			7-8(I-II) 30-40 cm	25-40cm						
<i>Polystichum braunii</i>	Schildfarn	breit ausladend/ horstbildend	5			4(I-II) 50-60 cm	70cm						
<i>Arabis ferdinandicoburgi</i> 'Variegata'	Kleine Garten-Gänsekresse, weißbunte Gänsekresse	polsterbildend/ kriechend	6			25(I-II) 20 cm	5-10cm		IV-V				

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Carex sylvatica</i>	Wald-Segge	hängend (aufrecht)/horstbildend	6			10 (III) 30 cm	30-60cm		V-VI				
<i>Sedum alpestre</i>	Alpen-Mauerpfeffer	aufrecht, bodendeckend/horstbildend	6				2-8cm		V-VIII				
<i>Carex buchananii</i>	Fuchsrote Segge, Fuchsrote Neuseeland-Segge	steigend, aufrecht/horstbildend	7			8(II) 35cm	30-50cm		VI-VII				
<i>Dianthus superbus</i>	Pracht-Nelke	polsterartig/horstbildend	7			13(II) 20-30cm	40cm		VII-VIII				
<i>Dryopteris atrata</i> , <i>Dryopteris cycadina</i>	Elefantenrüsselfarn	(aufrecht) kragend/überhängend/horstbildend	7			4-6(I-II) 40-50cm	60-80cm						
<i>Hakonechloa macra</i> 'Aureola' <i>Polypodium vulgare</i> (heimische Wildstaude)	Goldbandgras, Berg-Gras	kragend, hängend, (aufrecht), überhängend/ausläuferbildend	7			6-7(I-II) 30-40cm	20-40cm		VII-IX				
<i>Polystichum setiferum</i> 'Proliferum Herrenhaus'	Flacher Filigranfarne	kragend (aufrecht), überhängend/horstbildend	7			2-4(I) 50-70 cm	30-50cm						
<i>Sedum pluricaule</i>	Niedriges Purpur-Fettblatt Niedrige Purpur-Fetthenne Blaugraues Gartenblatt	aufrecht, bodendeckend	7			25(II-III) 20cm	5-10cm		VII-VIII				
<i>Dryopteris affinis</i> (heimische Wildstaude)	Goldschuppenfarne	(aufrecht) kragend/überhängend/horstbildend	4-6			1(i-II) 60-90cm	50-100cm						
<i>Epimedium i.S.</i> (schwach giftig)	Elfenblume	buschig/horstbildend	5			10 (I-II) 25-35 cm	15-40cm		IV-V(X)				
<i>Polypodium vulgare</i> (heimische Wildstaude)	Tüpfelfarne, Engelsüß	kragend/überhängend/ausläuferbildend, rhizomildend bogig-ausladend	3			8-10(II) 30-35 cm	20-40cm						
<i>Carex grayi</i>	Morgenstern-Segge	buschig/horstbildend	7			6-11 (I-II) 40 cm	60cm-80		VI-VIII				

Stauden - Substrat pH-Wert sauer

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Stck/qm Pflanzabstand	Höhe bis	Wüchsigkeit	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
Carex oshimensis 'Evergold' (G)	Immergrünes Schattengras, Gelbgrüne Garten-Segge	kragend/hängend aufrecht/horstbildend	7			8-10 (II) 30-35 cm	20-30cm		IV-V				
Poa labillardieri (G)	Australisches Rispengras	steigend/kragend/horstbildend	6			10 (II-III) 30 cm	50cm		VII-VIII				
Sesleria heufleriana (G)	Grünes Kopfgras, Blaugrüne Kopfgras	kragend/hängend/bogig/horstbildend	5			4-6(I) 30-40cm	30-70cm		IV-VI				
Carex morrowii (G)	Japansegge	aufrecht/überhängend/horstbildend	6			6-10 (II-III) 30-40cm	30-40		III-V				
Carex morrowii 'Variegata' (G)	Weißbrand-Japan-Segge	kragend/hängend/horstbildend	6			6 (II-III) 30-40cm	25-40cm		IV-VII				
Liriope muscari (giftig)	Traubenlilie, Lilientraube	polsterartig	6			16(II) 25cm	20-40cm		VIII-X				
Phlox stolonifera i.S.	Wander-Phlox	kissenartig/Ausläufer bildend	4			10(II) 30cm	20-30cm		IV-VI				
Tiarella cordifolia 'Moorgrün'	Schaumblüte	kissenartig/kriechend	3			15(IV-V) 25cm	10-15cm		IV-V				
Tiarella wherryi	Schaumblüte	kissenartig/horstbildend	6			11(II-III) 30cm	30cm		IV-VII + IX				
Tricyrtis hirta	Krötenlilie	aufrecht/kriechend	5			6(I) 30-40cm	50cm		VIII-X				
Adiantum pedatum 'Imbricatum' (F)	Pfauenrad-Farn, Hufeisen-Farn	kragend/überhängend/horstbildend Rhizome	5			5-11(I) 25-35cm	15-20cm						
Adiantum venustum (F)	Venushaarfarn, Frauenhaarfarn	kragend/überhängend, kriechend	3			8-12(I) 20-35cm	10-15cm						
Blechnum spicant (heimische Wildstaude) (F)	Rippenfarn	(aufrechter Wuchs) kragend	5			7-8(I-II) 30-40cm	25-40cm						
Carex plantaginea (G)	Breitblatt-Segge, Wegerich-Segge	kragend überhängend/horstbildend	7			11 (II-III) 25-30 cm	20-35cm		V-VI				
Carex sylvatica (G)	Wald-Segge	hängend (aufrecht)/horstbildend	6			10 (III) 30cm	30-60cm		V-VI				
Deschampsia cespitosa (G)	Rasen-Schmiele	kragend überhängend/horstbildend	5			5(I-II) 40-50cm	40-80cm		VI-VIII				
Dryopteris affinis (heimische Wildstaude) (F)	Goldschuppenfarn	kragend überhängend/horstbildend	4-6			1(I-II) 60-90cm	50-100cm						
Matteuccia struthiopteris (heimische Wildstaude) (F)	Straußenfarn, Trichterfarn	steigend/kragend, straff aufrecht/ausläuferbildend, rhizombildend, wuchernd	2-3			1-3(II-III) 80-120cm	80-120cm						
Carex grayi (G)	Morgenstern-Segge	buschig/horstbildend	7			6-11 (I-II) 40cm	60cm-80		VI-VIII				
Carex pendula (heimische Wildstaude) (G)	Hängende Segge, Riesen-Wald-Segge	hängend horstbildend	5			2-3(I-III) 60-80 cm	40-90cm		V-VII				

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Dryas octopetala</i>	Weißer Silberwurz	polsterbildend, kriechend,	tiefste Kälte vertragend			5-15cm 9		VI-VII VIII					
<i>Berberis verruculosa</i>	Warzen-Berberitze	Zweige bogenförmig ausgebreitet dichttriebiger, halbkugelförmiger Normalstrauch	5-6b			100-150cm 100-150cm		V-VI					
<i>Buddleja alternifolia</i>	Sommerflieder, Schmetterlingsstrauch	hängend, breit und überhängend	6b			200-400cm 200-400cm		VI					
<i>Cotoneaster microphyllus</i> 'Streib's Findling'	Kleinblättrige Teppichmispel	Boden-decker, bogig überhängend	7a			10-20cm 20-30cm		V-VI					
<i>Buxus sempervirens</i> (stark giftig)	Buchsbaum	kagend	gut winterhart			100-400cm 100-400cm		III-IV					
<i>Hypericum kalmianum</i> 'Gemo'	Kanadisches Johanniskraut, Dünen-Johanniskraut	Straff aufrecht wachsende Zweige, dichttriebiger Kleinstrauch	5b			60-100cm 30-120cm 5		VII-IX					
<i>Juniperus squamata</i> 'Blue Star'	Blauer Zwerg-Wacholder Blauer Stern-Wacholder	Kompakt runder Wuchs	5b			30-100cm 100-150cm 3-5							
<i>Hypericum 'Hidcote'</i>	Großblumiges Johanniskraut	rundwüchsig, vieltriebiger aufrecht	6b			70-120cm 40-120cm 5		VI-X					
<i>Cornus sanguinea</i> 'Midwinter Fire'	Roter Hartriegel	aufrecht, dicht verzweigt überhängend	4			200cm 200cm		V-VI					
<i>Viburnum odoratissimum</i>	Immergrüner Schneeball	rundlicher Strauch breitbuschig, dicht	8-10			200-300 (500)cm/ 200-300 (500)cm		V-VIII IX-X					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Coloratus'	Weißbunte Kriechspindel	wüchsig breit buschig kriechend	5-9			20-50cm 50-150cm 5-7		VI-VII					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Emerald Gaiety'	Weißbunte Kriechspindel	dicht, flach mattenförmig kriechend, Kleinstrauch	5-9			20-50cm 40-100cm		VI-VII					
<i>Euonymus japonicus</i> 'President Gauthier'	Japanspindel, Japanischer Spindelstrauch, Japanisches Pfaffenhütchen	Klein, rundliche dichttriebiger kompakt	6-9			30-40cm (bis 2m hoch)		VI					
<i>Hebe ochracea</i>	Strauchveronica	Zwergstrauch, aufrecht	7b			30-60cm -100cm		VI-VIII					
<i>Juniperus communis</i> 'Green Carpet'	Grüner Kriechwacholder	flach kriechend kompakt Tiefwurzler	3			-15cm		IV-VI					
<i>Juniperus communis</i> 'Repanda'	Kriechwacholder	Zwergstrauch, kriechend, dichtbuschig, aufrecht Tiefwurzler	3			-50cm -250cm		IV-VI					
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Blue Chip'	Teppichwacholder Kriechwacholder	Zwergstrauch teppichartig dicht, Tiefwurzler	5			-50cm -150cm 3-4							

Tab. 32.1: System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung: Gehölze - Substrat pH-Wert alkalisch
© Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Grey Pearl'	Teppich-Wacholder	Zwergstrauch, teppichartig, dicht, schräg aufstrebend Tiefwurzler	5			-30cm -250cm 3-4				-			
<i>Lonicera pileata</i> ° (bedingt)	Heckenmyrthe Heckenkirsche	flach ausgebreitet wachsend	6			50-100cm 80-100 (200)cm 4-5		V-VI X-XII					
<i>Cotoneaster dammeri</i> i.S.	Zwergmispel, Teppichmispel, Kriechmispel	Zwerg- bis Kleinstrauch flach oder bogig ausgebreitet, auch überhängend	5-6			10-100cm 30-200cm		V-VI					
<i>Juniperus media</i> 'Pfitzeriana compacta'	Niedriger Pfitzer-Wacholder	gedrungen, flach wachsend, dicht	5			30-50cm 180cm							
<i>Juniperus x media</i> 'Gold Coast'	Gelber Strauchwacholder	kompakt breit, bogig, überhängend, abstehend, ausladend	5			100-150cm 30-300cm							
<i>Ligustrum vulgare</i> 'Lodense'	Zwergliguster	Zwergstrauch, kompakt, aufrecht- Sehr dicht	5a			50-70cm 50-70cm 3-4		V-VII					
<i>Cotoneaster microphyllus</i> 'Cochleatus'	Zwergmispel, Immergrüne Kissenmispel	Zweige steif, flach, bogig nach unten gerichtet	7a			30 -50cm 60-100cm		V-VI					
<i>Cytisus x praecox</i> 'Hollandia'	Edelginster, Roter Elfenbein- ginster	breitwüchsig junge Triebe aufrecht, später bogig überhängend	6a			80-150cm 100-150cm		IV-V					
<i>Cotoneaster conspicuus</i> 'Decorus'	Mispel Decorus, Bogen-Zwergmispel Überhängende Zwergmispel Kissenmispel	überhängend, sparriger Wuchs Zwergstrauch, kompakt mattenförmig	5			30-100cm 100cm		V					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Emerald'n Gold'	Gelbbunte Kriechspindel	Kleinstrauch, Zwergstrauch	5-9			30-60cm 40-95cm 5		VI-VII					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Minimus'	Kleinblättrige Teppichmispel	Kleinstrauch, Zwergstrauch,	5-9			10-20cm 40-50cm 4-5		VI-VII					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
Dryas octopetala	Weißer Silberwurz	polsterbildend, kriechend, weit auswachsend	tiefste Kälte vertragend			5-15cm Pflanzabstand 30cm		VI-VII VIII					
Berberis buxifolia 'Nana'	Buchsbaumblättrige Berberitze	steigend Rundlich, dichter Zwergstrauch	5a			30-50cm		V-VI					
Berberis verruculosa	Warzen-Berberitze	Zweige bogenförmig bis ausgebreitet, dicht-halbkugelförmig	5-6b			100-150cm 100-150cm		V-VI					
Berberis thunbergii 'Atropurpurea Nana'	Rote Zwerg-Berberitze	krägend Halbkugelförmig, dicht Zwergstrauch	5			50-60cm 50-60cm		V IX-III					
Cotoneaster microphyllus 'Streib's Findling'	Kleinblättrige Teppichmispel	Boden-decker, niederliegenden bogig überhängend	7a			10-20cm 20-30cm		V-VI					
Buxus sempervirens (stark aiftiq)	Buchsbaum	krägend	Gut winterhart			100-400cm 100-400cm		III-IV					
Erica i.S.	Erika, Heidekraut	polsterförmig, kriechend	6			10-30cm bis 50cm 8-12		IX-III					
Hypericum kalmianum 'Gemo'	Kanadisches Johanniskraut, Dünen-Johanniskraut	Straff aufrecht wachsend dicht-triebiger Kleinstrauch	5b			60-100cm 30-120cm 5		VII-IX					
Juniperus squamata 'Blue Star'	Blauer Zwerg-Wacholder Blauer Stern-Wacholder	Kompakt runder Wuchs	5b			30-100cm 100-150cm 3-5							
Hypericum calycinum (bedingt)	kriechendes Johanniskraut, niedriges Johanniskraut	Halbstrauch überhängend aufliegend	6b			20-30-(100)cm Ausläufer bildend 5-6		VII-IX					
Kerria japonica 'Picta'	weißbunter Ranunkelstrauch	dünne gebogene Triebe	5			100-150cm 100-150cm		IV-VI					
Pyracantha coccinea 'Red Column'	Feuerdorn	unregelmäßig, sparrig, straff aufrecht, Tiefwurzler	6			150-250 (400)cm 60-130 (200)cm 3/m		V-VI VIII					
Pyracantha coccinea 'golden charmer'	Feuerdorn	unregelmäßig, sparrig, Großstrauch, aufrecht, breit buschig Tiefwurzler	6			200-300cm 200-300cm 3-4/m		V-VI VIII					
Pyracantha coccinea 'orange charmer'	Feuerdorn	unregelmäßig, sparrig, aufrecht breit-buschig Tiefwurzler	6			200-250 cm 200-250 (350)cm 3-4/m		V-VI VIII					
Juniperus squamata 'Blue Carpet'	Blauer Kriech-Wacholder Blauteppich-Wacholder	flacher Zwerg- bis Kleinstrauch, ausgebreitet dicht, kissenförmig, leicht herunterhängend	5b			30-80cm 150-250cm 3							

Tab. 33.1: System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung: Gehölze - Substrat pH-Wert neutral
© Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Cytisus scoparius</i> 'Boskoop Ruby'	Edelginster	Niederliegender bis kriechend	6b			40-150cm 80-150cm		V-VI					
<i>Cytisus scoparius</i> 'Roter Favorit'	Besenginster, Schmuckginster	Locker aufrecht, Zweige etwas überhängend	6b			150cm 150cm		V-VI					
<i>Hypericum</i> 'Hidcote'	Großblumiges Johanniskraut	rundwüchsig, vieltriebig aufrecht	6b			70-120cm 40-120cm 5		VI-X					
<i>Cytisus scoparius</i> 'Golden Cascade'	Edelginster	aufrecht, kragend, etwas überhängend	7a			80-150cm 80-120cm		V-VI					
<i>Lespedeza thunbergii</i>	Buschklee	Ausgebreitet bis schleppenartig überhängender Kleinstrauch	7a			100-200 cm 100-300 cm 2-5/m		IX-X					
<i>Viburnum x burkwoodii</i>	Oster-Schneeball, Immergrüner Duft-Schneeball	locker breitwüchsiger Strauch Zweige bogenförmig	6			150-300 (400) cm 150-300 (400) cm		(III)IV-V					
<i>Juniperus media</i> 'Pfitzeriana compacta'	Niedriger Pfitzer-Wacholder	gedrungen, flach wachsend, dicht	5			30-50cm 180cm							
<i>Juniperus x media</i> 'Gold Coast'	Gelber Strauchwacholder	kompakter Wuchs, breit, bogig, überhängend, abstehend, ausladend	5			100-150cm 30-300cm							
<i>Ilex aquifolium</i> 'Argentea Marginata'	Stechpalme	Strauch, breitbuschig, teils aufrecht, teils überhängend	7			200-500cm 200-400cm		V-VI					
<i>Juniperus conferta</i> 'Blue Pacific'	Igel-Wacholder, Kriech-Wacholder Strand-Wacholder	dicht, kompakt, kriechend, hoch stehend, leicht überhängend	5-10			15-45cm 150-310cm							
<i>Jasminum nudiflorum</i>	Winterjasmin	locker, kletternd, dünne Triebe, überhängend	7a			200-300 (500)cm 80-200 300)cm		I-IV					
<i>Lonicera nitida</i> 'Maigrün' (bedingt)	Heckenmyrthe Heckenkirsche	niedrig, dicht verzweigt aufrecht kompakt	7a			18-100cm 80-100cm 4-6		V-VI					
<i>Cornus sanguinea</i> 'Midwinter Fire'	Roter Hartriegel	aufrecht, dicht später breit überhängend	4			200cm 200cm		V-VI					
<i>Viburnum odoratissimum</i>	Immergrüner Schneeball	rundlicher Strauch bis kleiner Baum, breitbuschig, dicht	8-10			200-300 (500)cm 200-300 (500)cm		V-VIII IX-X					
<i>Callicarpa bodinieri</i> 'Profusion'	Liebesperlenstrauch, Schönfrucht	Grundtriebe straff aufrecht Zweige etwas aufrecht	6a			150-(300) cm 200cm		VII-VIII IX-X					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blütenfarbe	Fruchtfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
<i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Sungold'	Gelbe Fadenzypresse	fadenförmig, überhängend, kissenförmig-flach	4			80-120cm 100-150cm							
<i>Calluna vulgaris</i>	Besenheide, Heidekraut	Niederliegend, locker aufrecht, Zwergstrauch	6a			20-70cm -50cm		VII-X					
<i>Daboecia</i> i.S.	Heide	niederliegend bis locker aufstrebend im Alter auseinanderfallend	7a			20-50cm 30-50cm		VII-IX					
<i>Berberis frukartii</i> Verrucandi	Lackgrüne Berberitze	kompakt halbkugelförmig, bogenförmig bis ausgebreitet, dicht verzweigt	6b			80-120cm 80-120cm		V-VI					
<i>Empetrum nigrum</i>	Rauschbeere, Krähenbeere	klein, mattenförmig, teppichbildend	2			10-50cm 40-100cm		IV-VI					
<i>Juniperus communis</i> 'Green Carpet'	Grüner Kriechwacholder	Boden-decker, flach kriechend, dicht, kompakt Tiefwurzler	3			-15cm		IV-VI					
<i>Juniperus communis</i> 'Repanda'	Kriechwacholder	Zwergstrauch, kriechend, dicht, kragend Tiefwurzler	3			-50cm -250cm		IV-VI					
<i>Symphoricarpos albus</i> var. <i>laevigatus</i>	Schneebeere, Wachsbeere, Knallerbsenstrauch	dichtbuschig, robust, Ausläufer bildend, Triebe dünn, aufrecht bis übergeneigt	3			150-200 (300)cm 150-180cm 1-2/m 3-4/qm		VI-IX IX bis in den Winter					
<i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Filifera Nana'	Grüne Fadenzypresse	Fontänenartig überhängend, Zweige fadenförmig, kissenförmig	4			80-150cm 120cm							
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Blue Chip'	Teppichwacholder, Blauer Kriechwacholder	Zwergstrauch, teppichartig, flach kriechend, dicht Tiefwurzler	5			-50cm -150cm 3-4							
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Grey Pearl'	Teppichwacholder	Zwergstrauch, teppichartig, dicht, flach kriechend, schräg aufstrebend Tiefwurzler	5			-30cm -250cm 3-4							
<i>Mahonia aquifolium</i>	Gewöhnliche Mahonie	Kleinstrauch, halbrund, vieltriebzig, wenig verzweigt	5			80-120cm 80-100cm 3-4/m		IV VIII					

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blütenfarbe	Fruchtfarbe	Laubfarbe	Exposition	Laubphase
Pachysandra terminalis	Dickmännchen, Schattengrün, Ysander	Zwergstrauch, gut verzweigt, niedrig mattenartig, flächig Ausläufer	5			20-30cm 20-30cm 6-9		IV-V					
Spiraea nipponica 'Snowmound'	Japanische Strauchspiere, Flächendeckerspiere Snowmound	Strauch, dicht, straff aufrecht - später weit-ausgreifend bogig über-geneigt	5			100-(180) cm 80-(180)cm 2-3/m		V-VII					
Symphoricarpos x doorenbosii 'Mother of Pearl'	Perlmutterbeere, Schneebeere Amethystbeere	dicht-buschig, aufrecht	5			150-200 (250)cm 100-150 (300)cm 2-3/m		Vi-VII VII bis in den Winter					
Hydrangea arborescens 'Annabelle'	Ballhortensie 'Annabelle', Stauchhortensie	Halbrund wachsend meist aufrecht, unter Blütenlast über-geneigt	6			100-150cm 100-150cm		VII-IX					
Hypericum androsaemum 'Orange Flair'	Johanniskraut, Mannsblut	Strauch, rundlich	6			90-100cm 5		VII-IX					
Lonicera pileata (bedingt)	Heckenmyrthe Heckenkirsche	flach ausgebreitet wachsend	6			50-100cm 80-100 (200)cm 4-5		V-VI X-XII					
Staphylea colchica	Kolchische Pimpernuss	Aufrechter Großstrauch	6			250-(500)cm 200-300 (400)cm		V-VI					
taxus baccata 'Repandens'	Kissen-Eibe, Tafel-Eibe, Bodendecker-eibe	flach ausgebreitet Zwergstrauch, kissenförmig, dicht, leicht	6			40-50 (70)cm 150-180 (300)cm 3-4/qm		IV VIII					
Thuja x dolabrata 'Nana'	Zwerg - Hiba-lebensbaum	dicht, rundlich ausladend	6			60-80cm 90-100 (150)cm		VIII-IX					
Vinca minor i.S.	Immergrün	Mattenförmig, kriechend, Triebe dünn, bei Bodenkontakt bewurzeln	6			10-30cm 30-50cm 7-10		IV-V, IX					
Weigela Hybride 'Carneval'	Weigelie	aufrecht bis leicht übergeneigt	6			100-200cm 100-200cm 1-3		V-VI					
Weigela Hybride 'Lucifer'	Weigelie	locker aufrecht	6			50-150cm 50-150cm		VI					
Mahonia x media 'Charity'	Mahonie	Mittelgroß bis großer rundlicher Strauch, aufrecht, wenig verzweigt Tiefwurzler	7			200(250-400)cm 150(250-400)cm		II-IV					
Skimmia japonica 'Foremanii' Skimmia japonica 'Rubella'	Blütenskimmie	halbkugelig, breitbuschig, dicht, aufrecht, kompakt	7			30-80cm 60-150m 3-4		IV-V IX-langhaftend					
Vinca major	Großblättriges Immergrün	mattenförmiger Kleinstrauch bis 2m überhängend bogig, kletternd Ausläufer bildend	7			10-35cm 50-80cm 3-6		IV-VII					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Tsuga canadensis</i> 'Jeddeloh'	Zwerg-Hemlocktanne	kompakt, Äste ausgebreitet, Zwergstrauch dicht herun-terhängend Flachwurzler	3-7			30-50 (100)cm 50-80 (200)cm		V					
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Andorra Compact'	Teppich-wacholder	Zierstrauch, kissen-förmig, flach, dicht, schräg auf-strebend Tiefwurzler	4-5			20-70cm 150-300cm 3-4		VI			 		
<i>Euonymus fortunei</i> 'Canadale Gold'	Kletter-Spindelstrauch	Flach wachsend Boden-decker kletternd	5-9			25cm (100-200cm) 0,4-0,7cm		VI-VII			 		
<i>Euonymus fortunei</i> 'Coloratus'		wüchsiger Boden-decker, breit, buschig kriechend, kletternd	5-9			20-50cm 50-150cm 5-7		VI-VII		 	 		
<i>Euonymus fortunei</i> 'Emerald Gaiety'	Weißbunte Kriechspindel	dicht und flach wachsend, matten-förmig kriechend, Kleinstrauch kletternd	5-9			20-50cm 40-100cm 2-4		VI-VII			 		
<i>Mahoberberis x miethkeana</i>	Berberitzen-mahonie	aufrecht bis leicht übergeneigt	6-7			100-180cm		IV			 		
<i>Euonymus japonicus</i> 'President Gauthier'	Japanspindel, Japanischer Spindelstrauch, Japanisches Pfaffenhütchen	Klein, rundliche Krone, dichttriebzig kompakt	6-9			30-40cm (bis 2m hoch)		VI					
<i>Berberis candidula</i>	Schneeige Berberitze	kragend/hängend Kompakt halbkugel-förmiger Klein-strauch, dicht	6b			40-80cm 100-120cm		V-VI			 		
<i>Berberis media</i> 'Parkjuweel'	Berberitze Parkjuweel	rund; dicht; leicht übergeneigt	6			100-250cm 80-400cm		V-VI			 		
<i>Hydrangea quercifolia</i>	Eichenblättrige Hortensie	Klein-strauch auch Spalier-gehölz	7a			100-200cm		VI-VIII			 		
<i>Hebe ochracea</i>	Strauchveronica	Zwerg-strauch, aufrecht unregel-mäßig	7b			30 bis 60cm -100cm		VI-VIII		 			
<i>Cotoneaster dammeri</i> i.S.	Zwergmispel, Teppichmispel, Kriechmispel	Zwerg- bis Kleinstrauch flach oder bogig aus-gebreitet, über-hängend	5-6			10-100cm 30-200cm		V-VI		 			
<i>Microbiota decussata</i>	Fächer-wacholder Sibirischer Zwerg-Lebensbaum	Dicht, flach Zwerg- bis Kleinstrauch über-hängend	3			40-80cm 150-200cm		V			 		
<i>Euonymus fortunei</i> 'Minimus'	Kleinblättrige Teppichmispel	Kleinstrauch, Zwerg-strauch, kletternd	5-9			10-20cm 40-50cm 4-5		VI-VII					

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Physocarpus opulifolius</i> 'Diabolo'	Teufelsstrauch, Dunkelrote Blasenspiere	Strauch straff aufrecht, buschig	4			200-250 (300)cm 60-120 (300)cm 1-2/m		V-VI X-XI					
<i>Cotoneaster conspicuus</i> 'Decorus'	Mispel Decorus, Bogen-Zwergmispel Überhängende Zwergmispel Kissenmispel	überhängend sparriger Wuchs flachwachsend Zwergstrauch, kompakt	5			30-100cm 100cm		V					
<i>Philadelphus coronarius</i> 'Aureus'	Gelber Pfeifenstrauch, Bauernjasmin	straff aufrecht, im Alter leicht überhängend	5			150-200 (400)cm 150-300 (400)cm		V-VI					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Emerald'n Gold'	Gelbbunte Kriechspindel	Kleinstrauch Zwergstrauch, Klettergehölz	5-9			30-60cm 40-95cm 5		VI-VII					
<i>Deutzia crenata</i> 'Nikko'	Zwergdeutzie Maiblumenstrauch Sternchenstrauch	flach, kompakt, zierlich, schwach, überhängend	5-8			40-50cm 40-50cm 10-20		V-VI VIII-X					
<i>Deutzia gracilis</i>	Maiblumenstrauch	straff aufrecht, dichtbuschig	5-8			60-100cm 50-80cm 5		V-VII VIII-X					
<i>Euonymus fortunei</i> 'Darts Blanket'	Kriechspindel	Kleinstrauch, Zwergstrauch, kletternd	5-9			50cm 50-100cm 2-5		VI-VII					
<i>Cotoneaster watereri</i> 'Cornubia'	Wintergrüne Strauchmispel, Cornubia-Felsenmispel	Zweige weit ausgreifend, bogenförmig übergeneigt	7a			300-500cm 300-400cm		VI IX					
<i>Cotoneaster microphyllus</i> 'Cochleatus'	Zwergmispel, Immergrüne Kissenmispel	Zweige steif, flach, bogig nach unten gerichtet leicht bogenförmig	7a			30-50cm 60-100cm		V-VI					
<i>Cytisus x praecox</i> 'Hollandia'	Edelginster, Roter Elfenbeinginster	breitwüchsig junge Triebe aufrecht, später bogig überhängend	6a			80-150cm 100-150cm		IV-V					
<i>Thuja occidentalis</i> 'Green Globe'	Lebensbaum	Zwergform, flachkugelig, dicht senkrecht stehenden Zweige, leicht überhängend Flachwurzler	5			100cm 100cm		IV-V					
<i>Gaultheria shallon</i>	Große Scheinbeere	Dickicht artiger Zwerg- oder Kleinstrauch Ausläufer bildend	6b			20-80cm 60-100cm 5-8		V-VI VIII					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
Berberis thunbergii 'Kobold'	Zwerg-Berberitze	kragend kugeliger, dicht verzweigter Zwergstrauch	5-6			30-60cm 40-100cm		V					
Berberis frikartii Verrucandi	Lackgrüne Berberitze	kompakt halbkugelförmig Triebe bogenförmig dicht verzweigt	6b			80-120cm 80-120cm		V-VI					
Berberis buxifolia 'Nana'	Buchsbaumblättrige Berberitze	steigend Rundlich, dichter Zwergstrauch	5a			30-50cm		V-VI					
Berberis verruculosa	Warzen-Berberitze	Zweige bogenförmig dichttriebig, halbkugelförmiger	5-6b			100-150cm 100-150cm		V-VI					
Cotoneaster microphyllus 'Streibs Findling'	Kleinblättrige Teppichmispele	Boden-decker, nieder-liegende Triebe bogig über-hängend	7a			10-20cm 20-30cm		V-VI					
Buxus sempervirens (stark giftig)	Buchsbaum	kragend	Gut winterhart			100-400cm 100-400cm		III-IV					
Erica i.S.	Erika, Heidekraut	polsterförmig, kriechend	6			10-30cm bis 50cm 8-12		IX-III					
Juniperus squamata 'Blue Star'	Blauer Zwerg-Wacholder Blauer Stern-Wacholder	Kompakt runder Wuchs, später leicht ausbreitend	5b			30-100cm 100-150cm 3-5							
Hypericum calycinum° (bedingt)	kriechendes Johanniskraut, niedriges Johanniskraut	Halb-strauch über-hängend aufliegend	6b			20-30cm Ausläufer bildend (50-100cm) 5-6		VII-IX					
Juniperus x media 'Gold Coast'	Gelber Strauch-wachholder	kompakt breit, bogig, über-hängend, abstehend	5			100-150cm 30-300cm							
Pyracantha coccinea 'Red Column'	Feuerdorn	unregel-mäßig, sparrig, straff aufrecht, Tiefwurzler	6			150-250 (400)cm 60-130 (200)cm 3/m		V-VI VIII					
Pyracantha coccinea 'golden charmer'	Feuerdorn	unregel-mäßig, sparrig, Groß-strauch, aufrecht, breit buschig Tiefwurzler	6			200-300cm 200-300cm 3-4/m		V-VI VIII					
Pyracantha coccinea 'orange charmer'	Feuerdorn	unregel-mäßig, sparrig, aufrecht breit-buschig Tiefwurzler	6			200-250cm 200-250 (350)cm 3-4/m		V-VI VIII					

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Juniperus squamata</i> 'Blue Carpet'	Blauer Kriech-Wacholder Blauteppich-Wacholder	flacher Zwerg-bis Kleinstr-auch, dicht, kissen-förmig.	5b			30-80cm 150-250cm 3							
<i>Cytisus scoparius</i> 'Boskoop Ruby'	Edelginster	Niederliegend bis kriechend	6b			40-150cm 80-150cm		V-VI					
<i>Cytisus scoparius</i> 'Roter Favorit'	Besenginster, Schmuckginster	Locker aufrecht, Zweige etwas über-hängend	6b			150cm 150cm		V-VI					
<i>Hypericum</i> 'Hidcote'	Großblumiges Johanniskraut	rundwüchsig, vieltriebig aufrecht	6b			70-120cm 40-120cm 5		VI-X					
<i>Cytisus scoparius</i> 'Golden Cascade'	Edelginster	aufrecht, kragend, etwas über-hängend	7a			80-150cm 80-120cm		V-VI					
<i>Viburnum x burkwoodii</i>	Oster-Schneeball, Immergrüner Duft-Schneeball	locker breitwüchsiger Strauch Zweige bogen-förmig	6			150-300 (400) 150-300 (400)		(III)IV-V					
<i>Cotoneaster dammeri</i> 'Skogholm' <i>Cotoneaster x sueticus</i> 'Skogholm'	Immergrüne Böschungsmispel	Kleinstrauch, bogig, kriechend wurzelt an den Trieben	5			60-150cm Schleppen 3-5 m lang 100-200cm		V-VI VIII					
<i>Juniperus media</i> 'Pfitzeriana compacta'	Niedriger Pfitzer-Wacholder	gedrungen, flach wachsend, dicht	5			30-50cm 180cm							
<i>Ilex aquifolium</i> 'Argentea Marginata'	Stechpalme	Strauch, breitbuschig, teils aufrecht, teils über-hängend	7			200-500cm 200-400cm		V-VI					
<i>Jasminum nudiflorum</i>	Winterjasmin	locker, kletternd, dünne Triebe, über-hängend	7a			200-300 (500)cm 80-200 (300)cm		I-IV					
<i>Lespedeza thunbergii</i>	Buschklee	Ausgebreitet bis schleppen-artig über-hängend Kleinstrauch	7a			100-200cm 100-300cm 2-5/m		IX-X					
<i>Cornus sanguinea</i> 'Midwinter Fire'	Roter Hartriegel	aufrecht, dicht verzweigt, später breit ausladend, über-hängend	4			200cm 200cm		V-VI					
<i>Viburnum odoratissimum</i>	Immergrüner Schneeball	Strauch rundlich bis kleiner Baum, breitbuschig, dicht	8-10			200-300 (500)cm 200-300 (500)cm		V-VIII IX-X					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
Callicarpa bodinieri 'Profusion'	Liebesperlenstrauch, Schönfrucht	Grundtriebe straff aufrecht	6a			150-(300) cm 200cm		VII-VIII IX-X					
Callicarpa bodinieri giralduii 'Profusion'													
Chamaecyparis pisifera 'Sungold'	Gelbe Fadenzypresse	fadenförmige, überhängende Zweige kissenförmig	4			80-120cm 100-150cm							
Calluna vulgaris	Besenheide, Heidekraut	Niederliegend bis locker aufrecht Zwergstrauch	6a			20-70cm -50cm		VII-X					
Daboecia i.S.	Heide	niederliegend bis locker aufstrebend	7a			20-50cm 30-50cm		VII-IX					
Empetrum nigrum	Rauschbeere, Krähenbeere	klein, mattenförmig, teppichbildend	2			10-50cm 40-100cm		IV-VI VIII					
Juniperus communis 'Green Carpet'	Grüner Kriechwacholder	Boden-decker, flach kriechend bis teppichartig, dichtbuschig, Tiefwurzler	3			-15cm		IV-VI					
Juniperus communis 'Repanda'	Kriechwacholder	Zwergstrauch, kriechend, dichtbuschig, Zweige horizontal abstehend, Tiefwurzler	3			-50cm -250cm		IV-VI					
Chamaecyparis pisifera 'Filifera Nana'	Grüne Fadenzypresse	Fontänenartig überhängend Zweige fadenförmig überhängend kissenförmig	4			80-150cm 120cm							
Juniperus horizontalis 'Blue Chip'	Teppichwacholder, Blauer Kriechwacholder	Zwergstrauch, teppichartig, dicht, flach kriechend, Tiefwurzler	5			-50cm -150cm 3-4							
Juniperus horizontalis 'Grey Pearl'	Teppichwacholder	Zwergstrauch, teppichartig, flach kriechend, dicht, Tiefwurzler	5			-30cm -250cm 3-4							
Mahonia aquifolium	Gewöhnliche Mahonie	Kleinstrauch, halbrund, vieltriebzig, wenig verzweigt	5			80-120cm 80-100cm 3-4/m		IV VIII					
Pachysandra terminalis	Dickmännchen, Schattengrün, Ysander	Zwergstrauch, gut verzweigt, niedrig mattenartig, Ausläufer	5			20-30cm 20-30cm 6-9		IV-V					

Tab. 34.3: System- und Pflanzenauswahl zur wandgebundenen Begrünung: Gehölze - Substrat pH-Wert sauer
© Nicole Pfoser 01/2013 - Grundlagen: siehe S. 281

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Exposition	Laub-phase
Pachysandra terminalis 'Green Carpet'	Niedriges Schattengrün Ysander	Zwergstrauch, niedrig mattenartig, Ausläufer	5			15-20cm 15-20cm 6-9		IV-V					
Spiraea nipponica 'Snowmound'	Japanische Strauchspiere, Flächendeckerspiere Snowmound	Strauch, dicht verzweigt, straff aufrecht, später weit ausgreifend bogig übergeneigt	5			100-(180) cm 80-(180) cm 2-3/m		V-VII					
Symphoricarpos x doorenbosii 'Mother of Pearl'	Perlmuttbeere, Schneebeere Amethystbeere	dichtbuschig, aufrecht	5			150-200 (250)cm 100-150 (300)cm 2-3/m		Vi-VII					
Hydrangea arborescens 'Annabelle'	Ballhortensie 'Annabelle', Stauchhortensie	Halbrund wachsend meist aufrecht, unter Blütenlast übergeneigt	6			100-150cm 100-150cm		VII-IX					
Lonicera pileata (bedingt)	Heckenmyrthe Heckenkirsche	flach ausgebreitet wachsend	6			50-100cm 80-100 (200)cm 4-5		V-VI X-XII					
Pieris japonica 'Mountain Fire'	Japanische Lavendelheide, Schattenglökchen	Kleiner dickbuschig aufrecht, leicht überhängend	6			120-160cm 80-120cm		IV-V					
Staphylea colchica	Kolchische Pimpernuss	Aufrecht Großstrauch	6			250-(500) cm 200-300 (400)cm		V-VI					
taxus baccata 'Repandens'	Kissen-Eibe, Tafel-Eibe, Bodendecker-eibe	flach ausgebreitet Zwergstrauch, kissenförmig, dicht	6			40-50 (70)cm 150-180 (300)cm 3-4		IV VIII					
Thujopsis dolabrata 'Nana'	Zwerg - Hiba-lebensbaum	dicht, rundlich ausladend	6			60-80cm 90-100 (150)cm		VIII-IX					
Vinca minor i.S.	Immergrün	Mattenförmig, kriechend, Triebe dünn, bei Bodenkontakt bewurzelt	6			10-30cm 30-50cm 7-10		IV-V, IX					
Weigela Hybride 'Carneval'	Weigelie	aufrecht bis leicht übergeneigt	6			100-200cm 100-200cm 1-3		V-VI					
Weigela Hybride 'Lucifer'	Weigelie	locker aufrecht	6			50-150cm 50-150cm 1-2/m		VI					
Mahonia x media 'Charity'	Mahonie	Mittelgroßer bis großer rundlicher Strauch, aufrecht wenig verzweigt	7			200(250- 400)cm 150(250- 400)cm		II-IV					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
Skimmia japonica Foremanii Skimmia japonica 'Rubella'	Blütenskimmie	halbkugelig, breitbuschig, dicht, aufrecht, kompakt	7			30-80cm 60-150cm 3-4		IV-V					
Vinca major	Großblättriges Immergrün	mattenförmig Triebe überhängend (bis 2m), bogig, kletternd Ausläufer bildend	7			10-35cm 50-80cm 3-6		IV-VII					
Nandina domestica 'Firepower'	Himmelsbambus, Heiliger Bambus	Zwergstrauch, kompakt, stark verzweigt, Bodendecker	8			45-75cm 50-70cm 1-2/m		VI					
Tsuga canadensis 'Jeddeloh'	Zwerg-Hemlocktanne	kompakt, Äste ausgebreitet, Zwergstrauch, dichtbuschig, herunterhängend Flachwurzler	3-7			30-50 (100)cm 50-80 (200)cm		V					
Juniperus horizontalis 'Andorra Compact'	Teppichwacholder	Zierstrauch, flach, dicht, schräg aufstrebend Tiefwurzler	4-5			20-70cm 150-300cm 3-4		VI					
Euonymus fortunei 'Coloratus'		wüchsig Boden-decker, breit buschig kriechend, kletternd	5-9			20-50cm 50-150cm 5-7		VI-VII					
Euonymus fortunei 'Emerald Gaiety'	Weißbunte Kriechspindel	dicht, flach wachsend, mattenförmig kriechend, kletternd	5-9			20-50cm 40-100cm 2-4		VI-VII					
Gaultheria procumbens	Rebhuhnbeere, Rote Teppichbeere	Mattenförmig, kriechend Zwergstrauch, flächig	5b			10-30cm 30cm		VI-VIII VIII-III					
Euonymus japonicus 'President Gauthier'	Japanspindel, Japanischer Spindelstrauch, Japanisches Pfaffenhütchen	Klein, rundlich dichttriebig kompakt	6-9			30-40cm (bis 2m hoch)		VI					
Berberis candidula	Schneeige Berberitze	kragend/hängend kompakt, halbkugelförmig Kleinstrauch, dicht	6b			40-80cm 100-120cm		V-VI					
Hydrangea quercifolia	Eichenblättrige Hortensie	Kleinstrauch (windgeschützt) auch Spaliergehölz	7a			100-200cm		VI-VIII					
Cotoneaster dammeri i.S.	Zwergmispel, Teppichmispel, Kriechmispel	Zwerg- bis Kleinstrauch flach oder bogig überhängend	5-6			10-100cm 30-200cm		V-VI					

Anhang

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
Berberis media 'Parkjuweel'	Berberitze Parkjuweel	rund; dicht; leicht übergeneigt	6			100-250cm 80-400cm		V-VI					
Microbiota decussata	Fächerwacholder Sibirischer Zwerg-Lebensbaum	Dicht und flach ausgebreitet stark verzweigt Zwerg- bis Kleinstrauch überhängend	3			40-80cm 150-200cm		V					
Physocarpus opulifolius 'Diabolo'	Teufelsstrauch, Dunkelrote Blasenspiere	Strauch straff aufrecht, buschig	4			200-250 (300)cm 60-120 (300)cm 1-2/m		V-VI X-XI					
Cotoneaster conspicuus 'Decorus'	Bogen-Zwergmispel Überhängende Zwergmispel Kissenmispel	überhängend sparrig flach wachsend Zwergstrauch, kompakt mattenförmig	5			30-100cm 100cm		V					
Philadelphus coronarius 'Aureus'	Gelber Pfeifenstrauch, Bauernjasmin	straff aufrecht, im Alter Zweige leicht überhängend	5			150-200 (400)cm 150-300 (400)cm		V-VI					
Leucothoe fontanesiana 'Zebonard'	Traubenheide	Strauch, bogenartig gewölbte Zweige	6			60-150cm 300cm		IV-VI					
Euonymus fortunei 'Emerald'n Gold'	Gelbbunte Kriechspindel	Kleinstrauch, Zwergstrauch, kletternd	5-9			30-60cm 40-95cm 5		VI-VII					
Deutzia crenata 'Nikko'	Zwergdeutzie Maiblumenstrauch Sternchenstrauch	flach, kompakt, zierlich, schwach, überhängend	5-8			40-50cm 40-50cm 10-20		V-VI VIII-X					
Deutzia gracilis	Maiblumenstrauch	straff aufrecht, dichtbuschig	5-8			60-100cm 50-80cm 5		V-VII VIII-X					
Euonymus fortunei 'Darts Blanket'	Kriechspindel	Kleinstrauch, Zwergstrauch, kletternd	5-9			50cm 50-100cm 2-5		VI-VII					
Cotoneaster watereri 'Cornubia'	Wintergrüne Strauchmispel, Cornubia-Felsenmispel	Zweige weit ausgreifend, bogenförmig übergeneigt	7a			300-500cm 300-400cm		VI IX					
Gaultheria shallon	Große Scheinbeere	Dickichtartiger Zwerg- oder Kleinstrauch Ausläufer bildend	6b			20-80cm 60-100cm 5-8		V-VI VIII					
Vaccinium vitis-idaea	Preiselbeere	Kriechend Zwergstrauch, Triebe dicht niederliegend o. übergeneigt, Ausläufer bildend	1			10-30cm 20-30cm		V-VI IX					

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasserbedarf	Pflegeaufwand	Höhe bis Breite bis Stck/qm	Wüchsigkeit	Blütezeit Frucht-reife	Blüten-Farbe	Frucht-farbe	Laub-farbe	Expo-sition	Laub-phase
<i>Vaccinium macrocarpon</i>	Cranberry, Moosbeere	mattenförmiger Zwergstrauch, niederliegend kriechend, Zweige fadenartig dünn	2			10-30cm 50-100cm 6-8		V-VI IX-langhaftend					
<i>Thuja occidentalis</i> 'Green Globe'	Lebensbaum	Zwergform, flachkugelig, dicht senkrecht stehenden Zweige, leicht überhängend Flachwurzler	5			100cm 100cm		IV-V					
<i>Cotoneaster microphyllus</i> 'Cochleatus'	Zwergmispel, Immergrüne Kissenmispel	Zweige steif, flach, bogig nach unten, leicht bogenförmig	7a			30-50cm 60-100cm		V-VI					
<i>Cytisus x praecox</i> 'Hollandia'	Edelginster, Roter Elfenbeinginster	breitwüchsig junge Triebe aufrecht, später bogig überhängend	6a			80-150cm 100-150cm		IV-V					

Notizen

