



Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung

Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung

Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung

Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung

Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung

Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung

Inhalt

| | |
|----|---|
| 5 | Vorwort |
| 7 | Einleitung |
| 11 | Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung |
| 21 | Gebäudebegrünung (Dach/Fassade) |
| 25 | Dachbegrünung |
| 25 | Planung |
| 30 | Gebäudekühlung und Wärmedämmung |
| 31 | Gründächer und Solaranlagen |
| 32 | Bau von Gründächern |
| 33 | Betrieb und Wartung |
| 35 | Fassadenbegrünung |
| 37 | Planung |
| 40 | Rechtliche Aspekte |
| 40 | Ökonomische Aspekte |
| 40 | Bautechnische Voraussetzungen |
| 40 | Ökologische Voraussetzungen |
| 42 | Gestalterische Aspekte |
| 42 | Auswahl der Kletterhilfen |
| 43 | Auswahl der Kletterpflanzen |
| 44 | Bau |
| 48 | Pflanzarbeiten |
| 48 | Bodenarbeiten |
| 48 | Betrieb und Wartung |
| 48 | Pfleßmaßnahmen |
| 49 | Bewässerung |
| 49 | Düngung |
| 50 | Führen und Festbinden von Pflanzen |
| 50 | Pflanzenschnitt |
| 50 | Pflanzenschutz |
| 50 | Entfernen von „Unkraut“ |
| 53 | Regenwassernutzung bei der Gebäudekühlung |
| 54 | Die Bedeutung der Verdunstung von Wasser |
| 55 | Grundlagen der adiabaten Abluftkühlung |
| 55 | Funktionsprinzip |
| 57 | Nutzung von Regenwasser bei der adiabaten Abluftkühlung |
| 57 | Planung und Bau |
| 57 | Stand der Technik, Regelwerke |
| 58 | Hygieneanforderungen |
| 59 | Betrieb und Wartung |
| 60 | Literatur, Quellen |
| 62 | Glossar |
| 66 | Abbildungsverzeichnis |
| | Tabellenverzeichnis |

Vorwort



Weltweit ist das Thema der Umweltbelastung und der Klimaveränderung in den Fokus gerückt.

Umwelt und Ressourcen zu schonen, dauerhaft gesunde Lebens- und Arbeitsbedingungen sichern und ein Höchstmaß an Umwelt- und Sozialverträglichkeit realisieren – das sind Ziele, die die Akteure des ökologischen Bauens immer wieder vor neue Herausforderungen stellen.

An ausgewählten Berliner Projekten werden als „Stadtökologische Modellvorhaben“ neue Verfahren und Technologien entwickelt, erprobt und ausgewertet. In den letzten Jahren hat sich auch durch die Erkenntnisse aus den Modellprojekten eine neue Anlagentechnik entwickelt, die in aktuelle Normen und Vorschriften Eingang gefunden hat. Diese Erkenntnisse fließen in Leitfäden und Entscheidungshilfen meines Hauses ein, um für künftige Projekte den aktuellen Wissensstand zur Verfügung zu stellen.

Ein Leitfaden für Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung mit den Schwerpunkten der Gebäudebegrünung und Gebäudekühlung liegt mit dieser Publikation vor. Er richtet sich an Fachleute und interessierte Bürgerinnen und Bürger gleichermaßen und enthält Hinweise für Planung, Bau, Betrieb und Wartung entsprechender Systeme und Anlagen.

Die öffentlichen Baumaßnahmen haben eine Vorbildfunktion bei der Realisierung von ökologischen, wirtschaftlichen und innovativen Standards zu erfüllen. Deshalb sind bei der Vorbereitung und Durchführung der Bauaufgaben des Landes Berlin ökologische Anforderungen im Sinne des Umweltschutzes und der Minderung von Umweltbelastungen verstärkt zu berücksichtigen. Die Erarbeitung von Standardvorgaben für öffentliche und öffentlich geförderte Baumaßnahmen hat auch das Ziel der Kostenminderung bei Planung und Bau sowie der Minimierung der künftigen Betriebskosten.

Das Thema der ökologischen Gesamtkonzepte für stadttypische Bauprojekte mit der Aufteilung in einzelne Bausteine – Energie, Wasser, Grün, Baustoffe, Abfall – hat sich als wichtiger und richtiger Ansatz erwiesen. Für das Baugrundstück und die Gebäude sind beispielsweise Begrünungskonzepte zu entwickeln, die Aussagen über die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers einschließen.

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung bietet eine Plattform für die Vernetzung der einzelnen Bereiche des ökologischen Bauens im Rahmen seiner Homepage. Dort sind Informationen und Arbeitshilfen zu verschiedenen Themen des ökologischen Planens und Bauens abrufbar.

Die Zukunft unserer Städte und Landschaften hängt davon ab, inwieweit es gelingt, Klimaveränderungen und Umweltauswirkungen mit geeigneten Maßnahmen auf den nationalen und kommunalen Ebenen in den Griff zu bekommen. „Diese Veränderungen erfordern neue Infrastrukturprojekte, um Auswirkungen des Klimawandels in der Gestaltung von Wasser- Sanitär-, Regenwasser- und anderer städtischer Infrastruktur zu antizipieren.“ Dieser Forderung hat auch Berlin auf dem fünften Weltwasserforum 2009 in Istanbul im Rahmen des Istanbul Wasserkonsens für Kommunalbehörden zugestimmt. Nur wenn viele Verantwortung für die Umsetzung dieser Forderung übernehmen, wird weltweit ein spürbares Ergebnis bilanziert werden können.

Hierzu ist diese Veröffentlichung ein Baustein. Ich freue mich, dass wir als Senatsverwaltung für Stadtentwicklung einen Beitrag zu einer weltweiten Problemstellung leisten können.

Ingeborg Junge-Reyer
Senatorin für Stadtentwicklung



Einleitung

Grundlage der hier dargestellten Empfehlungen sind vorwiegend die Ergebnisse aus dem Monitoring des Bauvorhabens „Neubau Institut für Physik der HU zu Berlin“ in Adlershof. Im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung und Fassadenbegrünung wurden innovative Ansätze geplant und umgesetzt, die international Aufmerksamkeit erzielt haben.

Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung VI erfolgte, eine fachliche und wissenschaftliche Projektbegleitung durch eine Arbeitsgemeinschaft der Technischen Universität Berlin, der Humboldt-Universität (HU) zu Berlin und der Hochschule Neubrandenburg.

Das begleitende Monitoringprogramm begann in der letzten Phase der Planung und wurde in der Baudurchführung und im Betrieb der Anlagen nach Übergabe des Objektes an die HU zu Berlin fortgesetzt. Ziel war und ist es, Empfehlungen für die Optimierung der Anlagen und den wirtschaftlichen Anlagenbetrieb in den einzelnen Projektphasen zu erarbeiten und damit auch die Betriebskosten zu minimieren. Ein weiterer Schwerpunkt des Projektes war die Aufarbeitung praxisrelevanter und anwendungsorientierter Erkenntnisse als Arbeitshilfe/Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung künftiger Projekte.

Die tangierenden Themen, wie z. B. die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes, die Auswahl von Baustoffen, die Optimierung der Abfallströme usw. wurden nicht federführend in diesem Projekt begleitet, aber wo erforderlich, in die entsprechenden Projektempfehlungen eingebunden bzw. nach Möglichkeit mit anderen Projekten vernetzt. Eine Kooperation in der Auswertung erfolgte auch mit anderen Dienststellen des Landes Berlin, wie z. B. der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, dem Pflanzenschutzamt Berlin und dem Landesamt für Gesundheit und Soziales.

In dem hier vorliegenden Leitfaden stehen die Empfehlungen für künftige Bauprojekte im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung und Fassadenbegrünung im Mittelpunkt. Ergänzt wurden die Empfehlungen um Hinweise zur Dachbegrünung. Die Empfehlungen resultieren aus dem bisherigen Monitoring und den Projekterfahrungen aus der Auswertung weiterer stadtökologischer Modellvorhaben.

Es handelt sich um „Empfehlungen“, die aus den ersten Betriebsjahren abgeleitet werden konnten. Nicht nur bei der Regenwasserbewirtschaftung und Gebäudebegrünung zeigt sich, dass eine frühzeitige und sachgerechte Einbindung von kompetenten Fachfirmen und Fachpersonal eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz innovativer Technologien, für die Senkung der Betriebskosten, die visuelle Qualität des Gebäudes und die Aufenthaltsqualität der Nutzer darstellt.

Projekte, Gebäude und Anlagen sollten spätestens nach der Fertigstellung für ca. zwei Jahre einer genauen Kontrolle und Bewertung unterzogen werden. Hierzu sind entsprechende Messeinrichtungen zu installieren und auszuwerten. Damit kann eine zeitnahe Optimierung der Anlagen erfolgen. Die ggf. erhöhten Kosten im Bereich des Monitoring können durch verminderte Betriebskosten kompensiert werden.

Zusammenfassung

Für die **Planung** sind heute nicht nur die anerkannten technischen Regeln erforderlich, sondern die **Optimierung** im Hinblick auf vielfältige, teils konkurrierende Ziele.

Insbesondere die vernetzte **Planung**, die sach- und fachgerechte **Bauausführung** und der gesicherte optimierte **Betrieb** der Anlagen haben eine Schlüsselfunktion für die Minimierung der Betriebskosten und den erfolgreichen Einsatz innovativer technischer Systeme und Anlagen.

Projekte, Gebäude und Anlagen sollen spätestens nach der Fertigstellung für ca. zwei Jahre einer genauen **Kontrolle und Bewertung** unterzogen werden. Hierzu sind entsprechende Messeinrichtungen zu installieren und auszuwerten. Damit kann eine zeitnahe Optimierung der Anlagen erfolgen. Die ggf. erhöhten Kosten im Bereich des Monitoring können i. d. R. durch verminderte Betriebskosten kompensiert werden.

Die Erprobung von neuen Verfahren und Technologien an **Modellvorhaben** hat sich bewährt. In den letzten Jahren hat sich auch durch die Erkenntnisse aus den Modellprojekten eine neue Anlagentechnik entwickelt, die in aktuelle Normen und Vorschriften Eingang gefunden hat und für die öffentlichkeitswirksame Darstellung innovativer Umwelttechnologien von Bedeutung ist.

Das Thema der **ökologischen Gesamtkonzepte** für stadttypische Bauprojekte mit der Aufteilung in einzelne Bausteine – Energie, Wasser, Grün, Baustoffe, Abfall – und deren Vernetzung hat sich als wichtiger und richtiger Ansatz erwiesen.

Für das Baugrundstück und die Gebäude sind **Begrünungskonzepte** zu entwickeln, die Aussagen über die **Bewirtschaftung des Niederschlagswassers** einschließen.

Insbesondere in innerstädtischen Bereichen ist aus stadtklimatischer Sicht die Möglichkeit der **Gebäudebegrünung** – Fassaden- und Dachbegrünung – zu prüfen. Bei flachen und flach geneigten sowie einsehbaren Dächern soll in der Regel eine Begrünung vorgesehen werden.

Maßnahmen der Gebäudebegrünung (Dach/Fassade) und die Erhöhung des Grünanteils auf dem Grundstück erhöhen die Aufenthaltsqualität für den Nutzer, verbessern das Kleinklima, mindern die Temperatur-extreme, verbessern den Luftaustausch und sind ein wesentlicher Bestandteil für den Artenschutz.

Die Gebäudebegrünung ist durch die Erzeugung von Verdunstungskälte und die damit verbundene Minimierung der Temperaturen im engeren Gebäudeumfeld sowie die Senkung des Energieverbrauchs bei der Gebäudeklimatisierung ein wesentliches Element in der Energiebilanz eines Gebäudes. Die Realisierung der Gebäudebegrünung steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der **energetischen Optimierung eines Gebäudes**.

Die Gebäudebegrünung ist ein wesentliches **Element der Regenwasserbewirtschaftung**. Die darin liegenden Potentiale hinsichtlich des Wasserrückhalts in Form von Verdunstung, Abflussverzögerung und Abflussreduzierung sind im Planungsprozess zu berücksichtigen.

Die **Kopplung mit anderen Formen der Regenwasserbewirtschaftung** wie z. B. die Verdunstung des Wassers über Teichflächen, die Betriebswassernutzung und die Regenwasserversickerung muss bereits in der frühen Planungsphase geprüft und vernetzt in ökologischen Gesamtkonzepten betrachtet werden.

Ein weiterer erheblicher Vorteil der Gebäudebegrünung besteht im **Stoffrückhalt** der mit dem Niederschlag eingetragenen Nähr- bzw. Schadstoffe. Dieser stadtoökologisch positive Effekt gewinnt zunehmend an Bedeutung. Große Mengen an Herbiziden (Unkrautvernichtungsmitteln) werden Baumaterialien zugesetzt, z. B. durchwurzelungsfesten Dachbahnen und Farben. Das Auswaschen durch das Regenwasser und die daraus entstehenden Konsequenzen für die verschiedenen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und das Pflanzenwachstum sind zu beachten.

Bei der **Auswahl der Pflanzen** sind die Standortbedingungen (Lichtanspruch, Himmelsrichtung), der Pflegeaufwand (Rückschnitt, Düngung, Schädlingsbekämpfung/Pflanzenschutz, Entfernen von unerwünschtem Aufwuchs) und die Verwendung geeigneter Substrate und Bewässerungssysteme zu beachten.

Für die **Begrünung aus Pflanzkübeln** mit Anstaubbewässerung sind Substrate, Vliesstoffe und Drainageschichten zu verwenden, die einen kapillaren Aufstieg des Bewässerungswassers ermöglichen.

Bei der **Auswahl der Materialien**, der Zusammensetzung des Substrats und der Düngung der Pflanzen ist zu berücksichtigen für welche Verwendungszwecke ablaufendes Wasser weiter genutzt werden soll. Bei der extensiven Dachbegrünung sind beispielsweise die verwendeten Substrate und Abdichtungssysteme auf die Nachnutzung als Betriebswasser im Gebäude, für Wasserflächen in der Freiraumgestaltung oder zur Versickerung und Grundwasseranreicherung abzustimmen.

Begrünungen in Kübeln sind mit einer **Kübel-dämmung** zu versehen. Der Vergleich mit nicht gedämmten Kübeln hat erhebliche Unterschiede in den Standortbedingungen und Wuchsleistungen der Kletterpflanzen gezeigt.

Spezielle Dachbegrünungssysteme werden als zusätzliche Wärmedämmung angerechnet. Die **Kombination von Photovoltaik-Anlagen** mit einer Dachbegrünung ergibt weitere Synergien für beide Systeme.

Planung, Bau, Betrieb und Wartung der Anlagen müssen **durch ausgewiesene Fachfirmen** mit entsprechenden Referenzen erfolgen.

Bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase sind die **Pflege- und Wartungsempfehlungen** zu berücksichtigen und detailliert zu beschreiben. Vor Übergabe der Objekte an den künftigen Nutzer sind entsprechende Pflege- und Bedienungsanleitungen zu erstellen.

Die **adiabate Abluftkühlung** hat sich als extrem günstige Alternative zu einer konventionellen Gebäudeklimatisierung erwiesen. Bei der Verdunstung eines Kubikmeters Wasser wird eine Verdunstungskälte von 680 kWh erzeugt. Durch die Verdunstung von Wasser in der Abluft und die Verwendung eines Plattenwärmetauschers wird die Zuluft um bis zu 10K gegenüber der Außenluft gekühlt. Durch die vollständige Trennung von Zu- und Abluft werden hygienische Risiken vermieden und die Feuchtigkeit innerhalb des Gebäudes nicht erhöht. Die Verwendung von Regenwasser anstelle von Trinkwasser führt zu weiteren erheblichen Einsparungen, da auf eine Enthärtung/Absalzung verzichtet werden kann und kein Abwasser erzeugt wird.

Zur Reduzierung des Effekts der städtischen Wärmeinsel ist die **Kühlung über die Verdunstung von Wasser** zukünftig verstärkt in der Entwicklung urbaner Räume zu berücksichtigen.

Messensoren auf dem Dach des Instituts für Physik





Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

Die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser ist ein wesentlicher Schritt zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und dringende Voraussetzung, um die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes und der Wasserrahmenrichtlinie zu erfüllen.

Das Prinzip der Ableitung der Niederschläge über Kanalisationssysteme (Misch- und Trennkantonalisation), das vor mehr als 100 Jahren eingeführt wurde, hat erhebliche negative Auswirkungen auf die Gewässerqualität und das Mikroklima. Aus diesem Grund ist ein Paradigmenwechsel im Bereich der Stadtentwicklung und Wasserwirtschaft notwendig, der den natürlichen Wasserkreislauf aus Niederschlag, Verdunstung und Kondensation berücksichtigt⁵.

Nach § 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind die Gewässer „als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit ... dienen, vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt unterbleiben und damit insgesamt eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet wird ... Jedermann ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten, um eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers zu erzielen, um die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten und um eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden“ [Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG-Wasserhaushaltsgesetz vom 19.08.2002 ...)].

Ebenso ist das Einbringen und Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer und in das Grundwasser zu vermeiden, die „dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeiführen ... Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Dem Wohl der Allgemeinheit kann auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen entsprechen“ (§ 3, § 18 WHG).

Die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik – EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) stellt einen Rahmen für den künftigen Gewässerschutz in der EU und den Beitrittsländern dar. Damit wird ein gesamt-europäischer Ordnungsrahmen zum Schutz aller Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser) geschaffen. Die Anwendung und Umsetzung der EG-WRRL wird auf verschiedenen Ebenen geregelt.

„Das wesentliche wasserwirtschaftliche Ziel Berlins besteht in der dauerhaften Sicherung der Trinkwasserqualität durch die Wassergewinnung auf eigenem Stadtgebiet. Dazu muss die Qualität des Grundwassers gewahrt bleiben wie auch die Reinheit der Oberflächengewässer verbessert werden ... Alle Förderrichtlinien der öffentlichen Wasserversorgung sind unter den Gesichtspunkten Siedlungsverträglichkeit, Umwelt- und Naturschutz sowie Wirtschaftlichkeit ausgewogen und aufeinander abgestimmt zu betreiben ...

Angestrebt wird ferner eine umfassende Reduzierung der Stoffeinträge aus dem Kanalnetz in die Berliner Gewässer“.¹¹

Das Konzept der Regenwasserbewirtschaftung ist entsprechend den örtlichen Gegebenheiten zu entwickeln und zu bewerten. Hierzu ist das Niederschlagswasser möglichst im Gebiet zurückzuhalten und zu verdunsten, zu nutzen und/oder über die belebte Bodenschicht zu versickern. Neben der Regenwassernutzung als Betriebswasser sind andere Formen der Regenwasserbewirtschaftung, wie z. B. die Versickerung des von Dächern und befestigten Flächen ablaufenden Niederschlagswassers oder die Möglichkeiten der Gebäudebegrünung als umweltschonende Alternativen zu prüfen [Rundschreiben SenStadt VI C Nr. 1/2003].

Der Betrieb und die Bewirtschaftung der Anlagen sind vorab zu klären und sofern sie nicht durch entsprechend geschultes Personal hausintern zu erbringen sind, vertraglich zu sichern.

Der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung kommt, insbesondere auch im Hinblick auf die Diskussion zum Klimawandel, eine zentrale Bedeutung zu. Die Verdunstung der natürlichen Niederschläge ist global die bedeutendste energetische Komponente⁹. Von den Landflächen der Erde verdunsten im Mittel 75% des Niederschlagswassers³¹. Fehlende Verdunstungsraten in urbanen Gebieten sind eine der Hauptursachen für die sogenannte städtische Wärmeinsel. Betrachtet man den Eingriff in den Naturhaushalt aus wasserwirtschaftlicher Sicht, stellt die Verdunstung der Niederschläge die höchste Priorität dar.

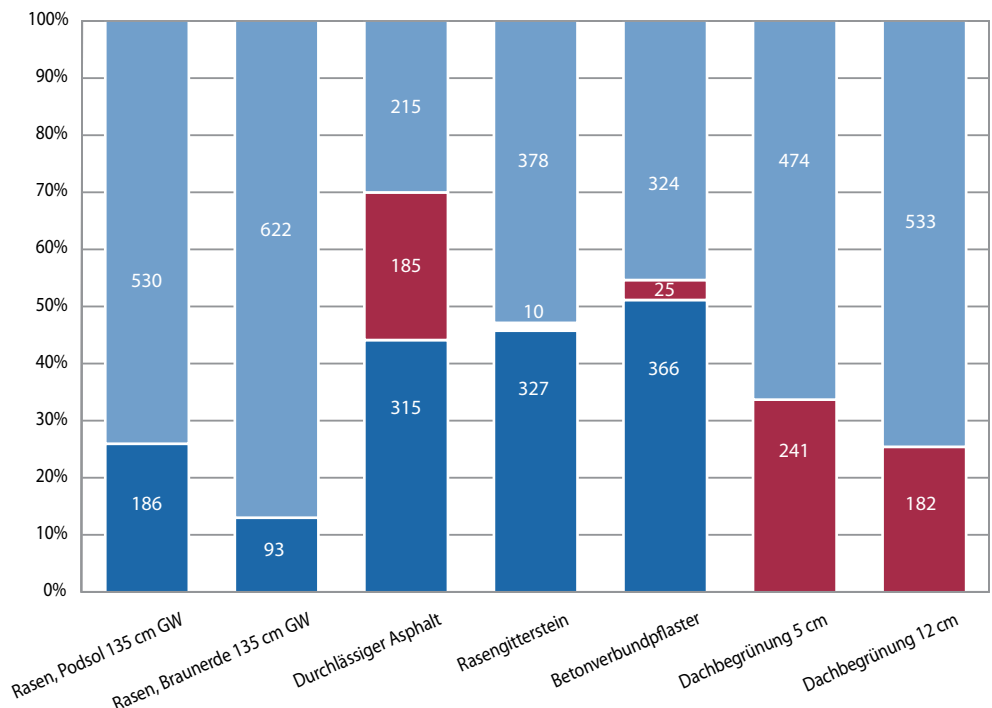
Im Einzugsgebiet von Spree und Havel im Raum Berlin/Brandenburg werden 80% der Niederschläge wieder verdunstet, nur 20% führen zur Grundwasserneubildung und zum Abfluss. In der unten aufgeführten Abbildung stellen die beiden ersten Säulen die Jahresbilanz einer Rasenfläche bei einem simulierten Grundwasserstand von 1,35 m und unterschiedlichen Bodenarten dar. Von 715 mm Niederschlag werden im Jahresmittel 85 bis 90% verdunstet, 10 bis 15% bilden die Grundwasserneubildung. Urbane Gebiete sind geprägt von vollständig versiegelten Flächen wie Straßen und Gebäuden, aber auch teildurchlässigen Flächen mit wenig oder keiner Vegetation. Im Vergleich zu natürlich bewachsenen forstwirtschaftlich oder landwirtschaftlich genutzten Flächen haben diese Oberflächen eine drei- bis vierfach höhere Grundwasserneubildungsrate⁸. Hierdurch überkompensieren sie die fehlende Versickerung von vollständig versiegelten

Flächen. In der unten aufgeführten Abbildung sind drei verschiedene teildurchlässige Oberflächen in ihrer Wasserbilanz abgebildet. Wie Untersuchungen ergeben haben, sind die Versickerungsraten in Städten nicht grundsätzlich reduziert. Die fehlende Wasserhaushaltskomponente ist die Verdunstung. Im Sinne eines Ausgleichs oder Ersatzes der Flächenversiegelung muss umweltpolitisch die Priorität auf die Verdunstung von Niederschlagswasser gesetzt werden. Dachbegrünungen verdunstet bei 5 bis 12 cm Substrat bereits 65 bis 75% des Jahresniederschlags (siehe Abbildung unten). Begrünte Dächer bilden ein erhebliches Potenzial zum Ausgleich der Flächenversiegelung. Etwa 25 bis 35% der Niederschläge führen zum Abfluss, vorwiegend im Winter. In der Kombination mit Versickerungsanlagen kann so ein nahezu ausgeglichener Wasserhaushalt erreicht werden.

Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen in Millimeter
1.01.2001 – 31.12.2004 TU Berlin-Wilmersdorf

Wasserhaushalt unterschiedlich genutzter Flächen als durchschnittliche Jahressumme in Millimeter; 01.01.2001 – 31.12.2004 Lysimeteranlagen im Vergleich zu extensiv begrünten Dachparzellen der TU Berlin in Wilmersdorf

- Verdunstung
- (Oberflächen-) Abfluss
- Grundwasserneubildung





Lysimeteranlage der TU Berlin in Berlin-Wilmersdorf, Messung von Niederschlag, Versickerung und Verdunstung, Rasenfläche auf Bodenart Podsol und Braunerde, simulierte Grundwasserstände 1,35 und 2,10 m (s. Abb. S. 12)



Lysimeteranlage – Waagen von unten



Lysimeteranlage am gleichen Standort zur Messung des Wasserhaushalts von teilversiegelten Oberflächenbefestigungen, u.a. durchlässiger Asphalt, Rasengitterstein, Betonverbundpflaster (s. Abb. S. 12)



Messung von Verdunstung und Ablauf von extensiv begrünten Dachparzellen mit unterschiedlichem Aufbau (u.a. 5 und 12 cm Substrat, s. Abb. S. 12)



Regenwasserbewirtschaftung am Neubau Oberstufenzentrum Bautechnik II/Holztechnik in Berlin-Pankow

Aus Gründen des Schutzes, der Pflege und der Entwicklung von Natur und Landschaft ist die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes auf Dauer zu sichern. „Auf den Schutz und die Verbesserung des Klimas, einschließlich des örtlichen Klimas, ist auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege hinzuwirken“ [§ 1, § 2 Bundesnaturschutzgesetz]. Hiernach sind die verschiedenen Möglichkeiten der Regenwasserbewirtschaftung in der folgenden Priorität zu berücksichtigen:

Verdunstung

Die Beeinträchtigung des natürlichen Wasserkreislaufs durch Versiegelung und Bebauung resultieren in erster Linie in einer Reduzierung der Verdunstung. Im Vergleich zur natürlichen Landschaft bzw. Kulturlandschaft fehlt in urbanen Gebieten primär die Vegetation. Als Ausgleich oder Ersatz dieses Eingriffes in den Naturhaushalt dienen Maßnahmen der Gebäudebegrünung und Hofbegrünung. Auch künstliche Gewässer und Betriebswassernutzung zur Gebäudekühlung und Bewässerung können einen Beitrag zur Kompensation der fehlenden Verdunstung leisten.

Nutzung

Die Regenwassernutzung ist in DIN 1989-1 „Regenwassernutzungsanlagen – Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung“ geregelt³⁰. Sie gilt sowohl für häusliche Verwendungsbereiche (Bewässerung, Gebäudereinigung, Toilettenspülung, Wäschereinigung) als auch für gewerbliche und industrielle Anwendungen (z. B. Kühlzwecke, Wasch- und Reinigungsanlagen). Das Merkblatt: „Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden“¹ ist zu berücksichtigen, in dem Hinweise für Planung, Bau, Betrieb und Wartung von Anlagen dokumentiert sind.

Versickerung

Versickerungsanlagen werden unterschieden in Versickerungsarten durch die bewachsene Bodenzone (Mulden-, Becken- und Flächenversickerungen) sowie Rohr-, Rigolen- und Schachtversickerungen direkt in den Untergrund. Bemessung und Definitionen sind dem DWA-Arbeitsblatt A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“² sowie dem DWA-Merkblatt M 153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“³ zu entnehmen. Die Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser ist im Land Berlin geregelt in der Niederschlagswasserfreistellungsverordnung⁴.

Die Vernetzung und der integrierte Ansatz verschiedener Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zum dezentralen Rückhalt des Niederschlagswassers sind im Rahmen der Entwicklung eines ökologischen Gesamtkonzeptes darzustellen. Hierzu zählen die Entsiegelung/Begrünung zur Verdunstung, Maßnahmen zur Gebäudebegrünung (extensive und intensive Dachbegrünung, Fassadenbegrünung), Maßnahmen der Betriebswassernutzung und die verschiedenen Möglichkeiten der Versickerung.

Die Information und Abstimmung mit dem Bauherrn/Nutzer über die geplanten Maßnahmen, die Begrenzung der Versiegelung und Maßnahmen der Entsiegelung sind die Grundvoraussetzungen der Planung. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind die Betrachtung der Investitions- und Betriebskosten unter Beachtung der aktuellen Tarife (z. B. Niederschlagswasserentgelt) als auch die nichtmonetäre Bewertung der Maßnahmen wie z. B. die Auswirkungen auf das Grundwasser, das Oberflächenwasser und das Gebäude zu berücksichtigen. Die nichtmonetären Projektziele für die weitere Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind in der ersten Phase der Projektplanung bzw. bereits im Wettbewerb zu definieren. Die verschiedenen Projektziele sind mit einer Gewichtung zu versehen. Die Gewichtung ist entsprechend zu begründen und zu dokumentieren.



Potsdamer Platz – urbanes Gewässer
Bei Starkregenereignissen kann die Wasserfläche bis zu 30 cm über dem Mindestwasserspiegel angestaut werden.

Nichtmonetäre Projektziele:

- Regenwasserrückhalt auf dem Gelände
- Kleinklimaverbesserung durch Verdunstung
- Schonender Umgang mit Wasserressourcen
- Bodenschutz/Flächenverbrauch
- Erhöhung der städtischen Biodiversität
- Schadstoffrückhalt und Gewässergüte
- Soziale Nachhaltigkeit
- Visualisierung, pädagogische Nachhaltigkeit

Die Bewirtschaftung des Regenwassers zur Rückführung in den natürlichen Wasserkreislauf ist auch von zentraler Bedeutung für den Klimaschutz. Nur der Anteil des Regenwassers, der wieder der Verdunstung zugeführt wird, erzeugt Niederschläge. Dieser sogenannte kleine Wasserkreislauf an Landoberflächen stellt den größeren Anteil der lokalen Niederschläge dar. Der aus den Weltmeeren im Durchschnitt verdunstende und an Land transportierte Niederschlag beträgt nur einen kleineren Anteil der lokalen Niederschläge. Der größere Anteil ergibt sich aus der zuvor verdunsteten Menge an Land⁵.

Durch die zunehmende Urbanisierung und damit einhergehende Reduzierung von Vegetation und natürlichen Böden reduziert sich

nicht nur lokal die Verdunstung, sondern in der Konsequenz auch regional und überregional die Niederschläge aus diesem Wasserdefizit. Hieraus entsteht eine „Kettenreaktion“ aus reduzierten Niederschlägen, die wiederum nicht der Verdunstung zur Verfügung stehen (Abbildung unten). Diese Veränderungen des natürlichen kleinen Wasserkreislaufs führen lokal wie regional zu einer Erhöhung der Temperaturen. Derzeit werden bundesweit täglich etwa 1,15 Millionen m² „urbanisiert“⁴³. Die entstehende sensible Wärme und thermische Ausstrahlung löst das Phänomen der urbanen Hitzeinsel aus und hat Einfluss auf die globale Erwärmung.

Die Abbildung unten gibt einen Einblick in den Zusammenhang zwischen kleinem und großem Wasserkreislauf. Der kleine Wasserkreislauf aus Niederschlag und Verdunstung wird durch Urbanisierung und Abholzung immer stärker reduziert, täglich gehen weltweit etwa 350 km² Wald verloren⁴⁵. Die Kettenreaktion aus dieser Reduzierung des kleinen Wasserkreislaufs ist lokal unterschiedlich, für Europa beträgt er das drei- bis vierfache, im Amazonasgebiet das achtfache. Wird durch Abholzung beispielsweise ein Kubikmeter Wasser weniger verdunstet, geht der Niederschlag im Einzugsgebiet um 8 m³ zurück.



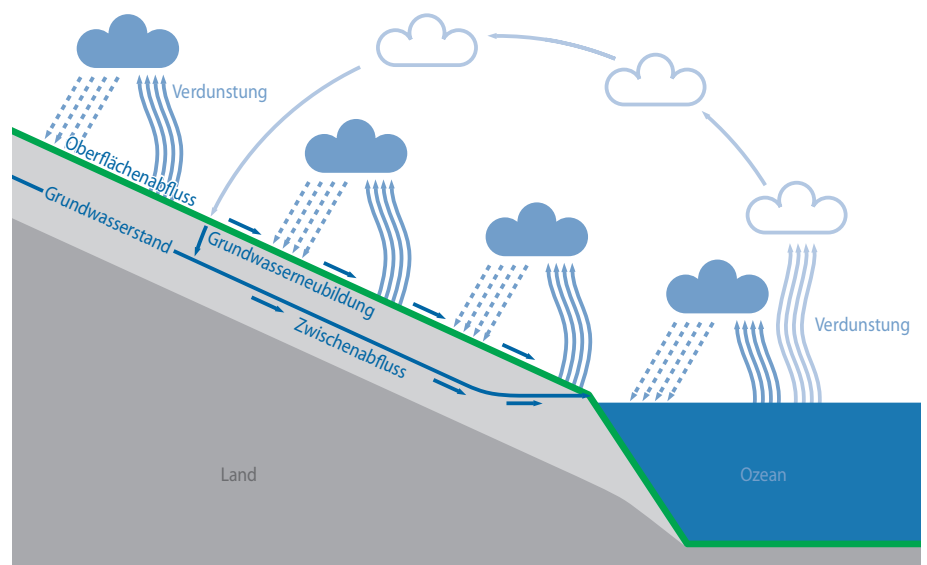
Urbane Gebiete (oben) im Kontrast zur natürlichen Landschaft (unten) verändern die natürliche Verteilung von Wasser und das Klima

Veränderung des kleinen Wasserkreislaufs

Reduzierung von Verdunstung an Land führt zur Verringerung der Niederschläge

Veränderung des kleinen Wasserkreislaufs, die Reduzierung von Verdunstung an Land führt zur Verringerung der Niederschläge⁵

- großer Wasserkreislauf
- kleiner Wasserkreislauf



Undurchlässige Flächen, wie Dächer und Straßen, verändern das Mikroklima durch die Änderung der Strahlungs- bzw. Energiebilanz. Eine Folge ist die Erhöhung der Temperaturen im engeren Gebäudeumfeld und ein unbehagliches Raumklima bzw. die Erhöhung des Energiebedarfs bei der Gebäudeklimatisierung. Eine Lösung besteht in der Gebäudebegrünung durch die Erzeugung von Verdunstungskälte.

Unbegrünte Dächer wandeln ca. 95% der Strahlungsbilanz in Wärme um. Zudem ist der Anteil der langwelligen thermischen Ausstrahlung durch die höheren Oberflächentemperaturen unbegrünter Flächen deutlich größer (Abbildung unten links). Extensiv begrünte Dächer wandeln dagegen in den Sommermonaten 58% der Strahlungsbilanz in die Verdunstung von Wasser um (Abbildung unten rechts). Die Messungen an zwei benachbarten Dächern in Berlin wurden durch das Monitoring am Institut für Physik ergänzt durch Messungen an Fassadenbegrünungen.

Bei begrünten Fassaden ist der Bezug zur Energiebilanz des Gebäudes groß und geprägt von Verschattung und Verdunstungskälte im unmittelbaren Fensterbereich. Hier ergeben sich große Überschneidungen der Zielsetzung – Energieeinsparung, Verbesserung des Mikroklimas und der Schutz der Wasserressourcen.

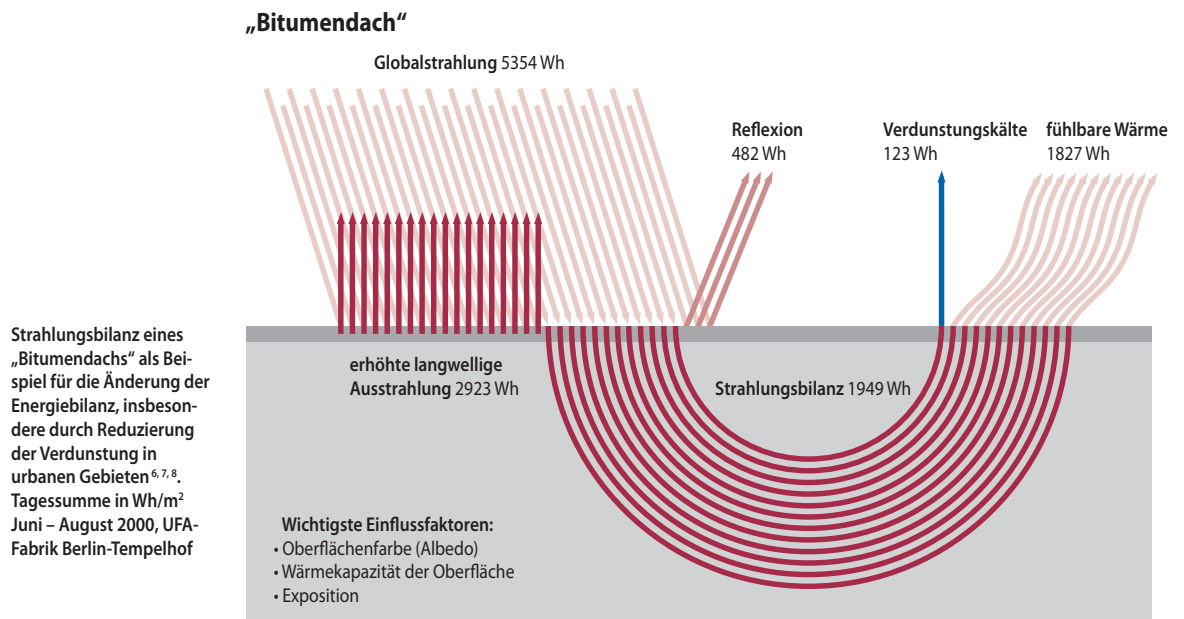
Bei Berücksichtigung dieses Effektes und der Problemstellung des globalen Klimawandels sind Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in der Priorität der Tabelle 1 zu gewichten. Höchste Priorität hat hierbei die Flächenentsiegelung und Vegetationsentwicklung, niedrigste Priorität liegt bei Versickerungsmaßnahmen direkt in den Untergrund über Schächte und Rigolen. In Tabelle 1 sind insbesondere aus Sicht der Vermeidung von Nähr- und Schadstoffeinträgen in das Grundwasser auch qualitative Aspekte des Gewässerschutzes berücksichtigt. Der Regenwassernutzung wird daher eine höhere

Priorität zugeordnet gegenüber der Regenwasserversickerung. Zielsetzung der Bewirtschaftungsmaßnahmen ist der vollständige Verzicht auf eine Ableitung von Regenwasser über die Kanalisation. Den örtlichen Gegebenheiten entsprechend, sind die verschiedenen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zu kombinieren.

Sollte ein Anschluss an das Kanalnetz erforderlich sein, ist bei der Auslegung der einzelnen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu berücksichtigen, ob in einen Regenwasserkanal eingeleitet wird oder in die Mischwasserkanalisation. Bei ersterem ist die Qualität des ablaufenden Regenwassers von Bedeutung, da das abfließende Regenwasser in der Regel direkt in die Oberflächengewässer eingeleitet wird. Bei der Ableitung in den Mischwasserkanal sind die Maßnahmen hingegen dahingehend zu optimieren, dass ein möglichst großer temporärer Rückhalt von Starkregenereignissen erzielt wird um den Überlauf in die Vorflut zu vermeiden.

Energiebilanz im Tagesmittel

Vergleich eines unbegrüntes und eines begrünten Daches



Bislang lag in Deutschland der Schwerpunkt der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Versickerung. Trotz der erheblichen Vorzüge der dezentralen Versickerung gegenüber der konventionellen Ableitung berücksichtigt dieser Ansatz den natürlichen Wasserkreislauf nur ungenügend. Das Problem urbaner Gebiete liegt nicht in verminderten Versickerungsraten, sondern in der fehlenden Verdunstung⁴⁴. Ursache ist die Verdrängung der Vegetation und der Mangel an offenem bewachsenem Boden. Im Sinne eines Ausgleichs oder Ersatzes der Flächenversiegelung muss umweltpolitisch die Priorität bei den verschiedenen Maßnahmen liegen, die den natürlichen Wasserhaushalt aus Niederschlag, Verdunstung und Kondensation unterstützen. Dies sind die Entwicklung von Vegetationsstrukturen, die Gebäudebegrünung, offene Wasserflächen sowie auch die Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung über Verdunstungskälte (Tabelle 1).

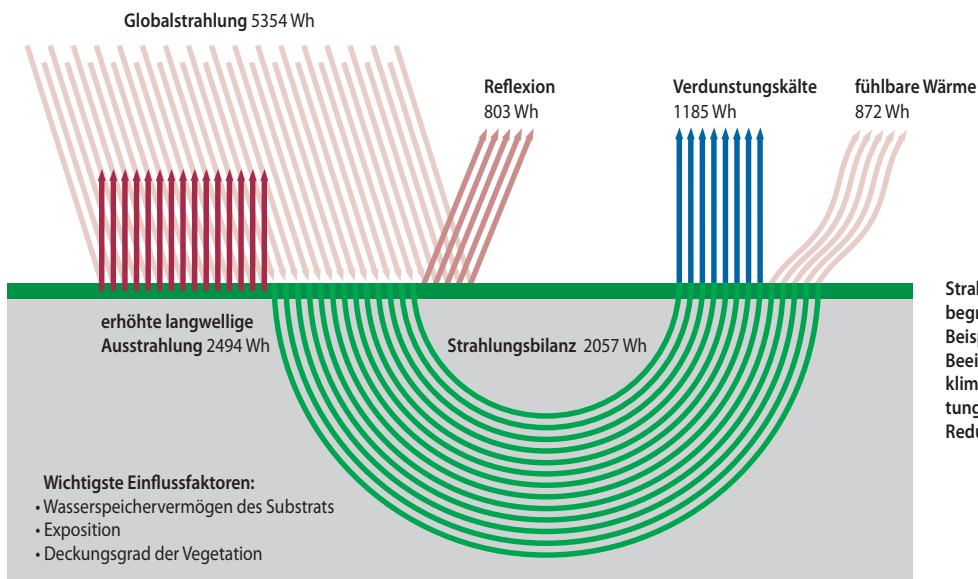
| Priorität | Bewertung | Maßnahme |
|-----------|-----------|--|
| 1 | ●●● 1,0 | Flächenentsiegelung (Parks, Gärten, Hofbegrünung) Straßenbäume |
| 2 | ●●○ 0,78 | Gebäudebegrünung (Fassadenbegrünung, Dachbegrünung) |
| 3 | ●● 0,67 | Künstliche urbane Gewässer, offene Wasserflächen |
| 4 | ●○○ 0,56 | Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung und Bewässerung |
| 5 | ●○ 0,44 | Muldenversickerung in Verbindung mit Vegetationsstrukturen (Bäume, Sträucher), Rasengittersteine |
| 6 | ● 0,33 | Regenwassernutzung zur Toilettenspülung und weiterer Betriebswassernutzung |
| 7 | ○○ 0,22 | Muldenversickerung, teildurchlässige Oberflächenbefestigungen |

Tab. 1
Prioritätenliste für dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des natürlichen Wasserkreislaufs aus Niederschlag, Verdunstung und Grundwasserneubildung⁹



Muldenversickerung ohne Vegetationsanbindung (Priorität 7)

Extensive Dachbegrünung



Strahlungsbilanz eines begrüntes Daches als Beispiel für die positive Beeinflussung des Stadtklimas durch die Verdunstung von Regenwasser. Reduzierung des Anteils

der sensiblen Wärme um ca. 70% sowie der thermischen Ausstrahlung^{6,7,8} Tagessumme in Wh/m² Juni – August 2000, UFA-Fabrik Berlin-Tempelhof

Unter dem Schwerpunkt „Verdunstung“ wurden mehrere dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsprojekte in Berlin in Kooperation mit der „Watergy“-Arbeitsgruppe der TU Berlin realisiert. Alle Projekte kombinieren jeweils zur Steigerung der Gesamteffizienz mehrere Maßnahmen aus Tabelle 1. Zu diesen Projekten zählt das Areal von SEB (ehemals Daimler-Chrysler) am Potsdamer Platz, die UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof, das Institut für Physik in Berlin-Adlershof und das Watergy-Gebäude der TU Berlin in Berlin-Dahlem. „Watergy“ behandelt den extrem hohen Wärmeübergang im Verdunstungs-/Kondensations- und Absorptionsprozess. Mit 680 kWh/m³ Wasser (bei 30°C) wird bei keinem anderen Element so viel Energie latent übertragen wie beim Medium Wasser. Dieser Effekt ist nicht nur global von Bedeutung (die Verdunstung von Wasser ist die bedeutendste energetische Komponente noch vor der langwelligigen Ausstrahlung und dem damit im Zusammenhang genannten „Treibhauseffekt“), der latente

Wärmeübergang im Verdunstungs-/Absorptionsprozess kann auch innerhalb von Gebäuden oder Gewächshäusern zur saisonalen Speicherung von Wärme vom Sommer in den Winter oder bei der Gebäudekühlung angewendet werden.

Die Anwendungsbereiche des Betriebswassers sind vielfältig, z. B. für die Toiletten-spülung, für die Gebäudekühlung, in Wasch- und Reinigungsanlagen und in Anlagen zur Bewässerung von Grünflächen. Voraussetzung für die Akzeptanz der Betriebswassernutzung und für einen dauerhaft sicheren Betrieb der Anlagen sind die fachgerechte Planung, Dimensionierung und Bauausführung, eine regelmäßige Wartung, ein verantwortungsbewusster Betreiber sowie die Einhaltung der geltenden Vorschriften. Für die Betriebswassernutzung in häuslichen, gewerblichen und industriellen Bereichen hat sich in den letzten Jahren eine neue Anlagentechnik entwickelt, Kriterien für Planung, Bau, Betrieb und Wartung stehen als Arbeitshilfe in der Broschüre „Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden“ zur Verfügung¹.

Beim Neubau oder Umbau von öffentlichen Bauten und bei öffentlich geförderten Bau-maßnahmen sind für Nutzungsbereiche, in denen Trinkwasserqualität nicht zwingend erforderlich ist, der Einsatz von Betriebswasser und die Installation eines zweiten Leitungsnetzes zu prüfen [Rundschreiben SenStadt VIC Nr. 1/2003].



Dachbegrünung, Regenwasser-nutzung und Urbanes Gewässer am Potsdamer Platz Berlin (Priorität 2, 6 und 3 in Kombination)

Die Dimensionierung von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ist durch eine Langzeitsimulation in Anlehnung an ATV-DVWK 138 planerisch abzusichern. Hierbei kann eine Kombination von verschiedenen Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung berechnet und bewertet werden. Für die Langzeitsimulation stehen Softwareprogramme zur Verfügung. Als Eingangsgrößen sind Niederschlagswerte als Massendaten zu verwenden, die regional-spezifisch vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen werden können. Aus Kostengründen bieten sich auch künstliche Niederschlagsreihen an, die die ortsspezifische Regenspende und Tages- oder Jahreswerte berücksichtigen.

Die Berechnungsergebnisse geben sowohl Aufschluss über die Funktionssicherheit einer Regenwasserbewirtschaftungsanlage bei Starkniederschlägen sowie bei der Betriebswassernutzung über den Anteil von nutzbarem Regenwasser über den berechneten Zeitraum.

Diese beiden Eigenschaften sind voneinander unabhängig und in ihrer Zielsetzung teilweise komplementär. So ist es aus Sicht einer möglichst hohen Nutzungsrate von Regenwasser sinnvoll, Regenwasservolumina in Zisternen möglichst lange zu speichern. Um Starkregenereignisse zu bewirtschaften sind hingegen möglichst leere Zisternen anzustreben.

Die Kombination von Dachbegrünungen und weiteren Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung wie Betriebswassernutzung und/oder Versickerung ist bislang noch nicht zufriedenstellend in den Softwareprogrammen implementiert. Hier fehlen zumeist praxisnahe Verdunstungsberechnungen parallel zu den umfassenden Niederschlagsdaten als Eingangsgröße. Sowohl der nutzbare Anteil der Niederschläge wird durch Dachbegrünungen erheblich beeinflusst wie auch der temporäre Rückhalt bei Starkregen, der erheblich von der Vorsättigung des Substrates abhängig ist¹⁰. Der Anteil der Verdunstung von begrünten Dächern beträgt im Jahresmittel etwa 70% und wird damit meist unterschätzt (vgl. Abbildung Seite 12).

Broschüre „Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden“¹



Blick vom Dach des Instituts für Physik in Berlin-Adlershof auf den Teich im Innenhof, der gleichzeitig der Verdunstung und als Versickerungsanlage für Starkregenereignisse für Starkregenereignisse dient.

Messensoren zur Strahlungsbilanz einer begrünten Fassade im Vergleich zur unbegrünten Fassade (unten)



Gebäudebegrünung (Dach/Fassade)

Gebäudebegrünungen können im Einzelfall nach § 9 (1) Nr. 25 **Baugesetzbuch** (BauGB) oder als Ausgleichsmaßnahme nach § 31 (2) BauGB festgesetzt werden. Gemäß § 1 (5) BauGB sollen Bauleitpläne „eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt ...“ gewährleisten.

Begrünte Bedachungen sind nach § 32 **Bauordnung** für Berlin zulässig, „wenn eine Brandentstehung bei einer Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme nicht zu befürchten ist oder Vorkehrungen hiergegen getroffen werden“.

Bereits 1990 wurden in den Richtlinien für den öffentlich geförderten sozialen Wohnungsbau in Berlin – **WFB 1990** – „**Besondere ökologische Anforderungen**“ definiert, die bei der Planung der Wohngebäude im Sinne des ressourcenschonenden und umweltverträglichen Bauens zu berücksichtigen waren. Damit hatte Berlin sowohl für den Wohnungsneubau als auch für die Modernisierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen im Rahmen der Stadterneuerung bundesweit beachtete Vorgaben gesetzt. Förderungsfähig waren z. B. Vegetationskonzepte für die Fassaden- und Dachbegrünung, die Beratung zur fachgerechten Planung und Ausführung sowie zur Ersteinweisung der Nutzer in den Gebrauch der ökologisch baulichen Maßnahmen und Anlagen.

In Berlin (West) gab es ab 1983 ein „**Hofbegrünungsprogramm**“. Ziel war in erster Linie die Verringerung der Grünflächendefizite in den innerstädtischen Gebieten. Die Förderung innerhalb dieses Programms erfolgte für Maßnahmen der Hofbegrünung, der Fassadenbegrünung und für die extensive Dachbegrünung. Auch im ehemaligen Berlin (Ost) gab es in den 1980er Jahren ein Hofbegrünungsprogramm.

Ab 1990 wurde das 1983 entwickelte Programm im gesamten Berliner Innenstadtbereich durchgeführt und eine Beratung zum Erhalt und zur Pflege der Anlagen abgeschlossen.

In der Laufzeit des Programms von 1983 bis Ende 1995 wurden 1.643 Projekte bewilligt, 740.000 m² Hof- und Fassadenflächen und 65.000 m² Dachflächen begrünt^{12, 13, 15}.

„**Ökologische Kriterien für Bauvorhaben/Wettbewerbe**“ wurden für Berlin im Jahr 2001 erstmals definiert und werden entsprechend fortgeschrieben. Darin heißt es u. a. „Insbesondere in verdichteten Innenstadtbereichen sind Ausgleichsmaßnahmen in Form von begrünten Freiflächen, Fassaden- und Dachbegrünungen auszuweisen. Dachbegrünungen sind vorrangig als Extensivdächer auszubilden. Die Aufbaudicke zur wirksamen Wasserrückhaltung soll mindestens 10 cm betragen“¹⁴.

In der Innenstadt stellt der „**Biotopflächenfaktor**“ (BFF) eine besondere Form der Sicherung von „grünen Qualitäten“, zum Ausgleich von Defiziten im Freiraum und zum Abbau von Umweltbelastungen dar. Der BFF benennt den Flächenanteil eines Grundstücks, der als Pflanzenstandort dient bzw. Funktionen für den Naturhaushalt übernimmt. Für ausgewählte, gleichartig strukturierte Stadtgebiete kann der BFF in einem Landschaftsplan verbindlich festgelegt werden (www.stadtentwicklung.berlin.de/Natur+Grün/Landschaftsplanung).

Der Biotopflächenfaktor hat sich als landschaftsplanerischer ökologischer Kennwert, der das Verhältnis von naturhaushaltswirksamen Flächen zur Grundstücksfläche angibt, bewährt.

Ein Ziel in der frühen Phase der Projektplanung ist es, Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung den örtlichen Gegebenheiten entsprechend zu entwickeln und zu bewerten.

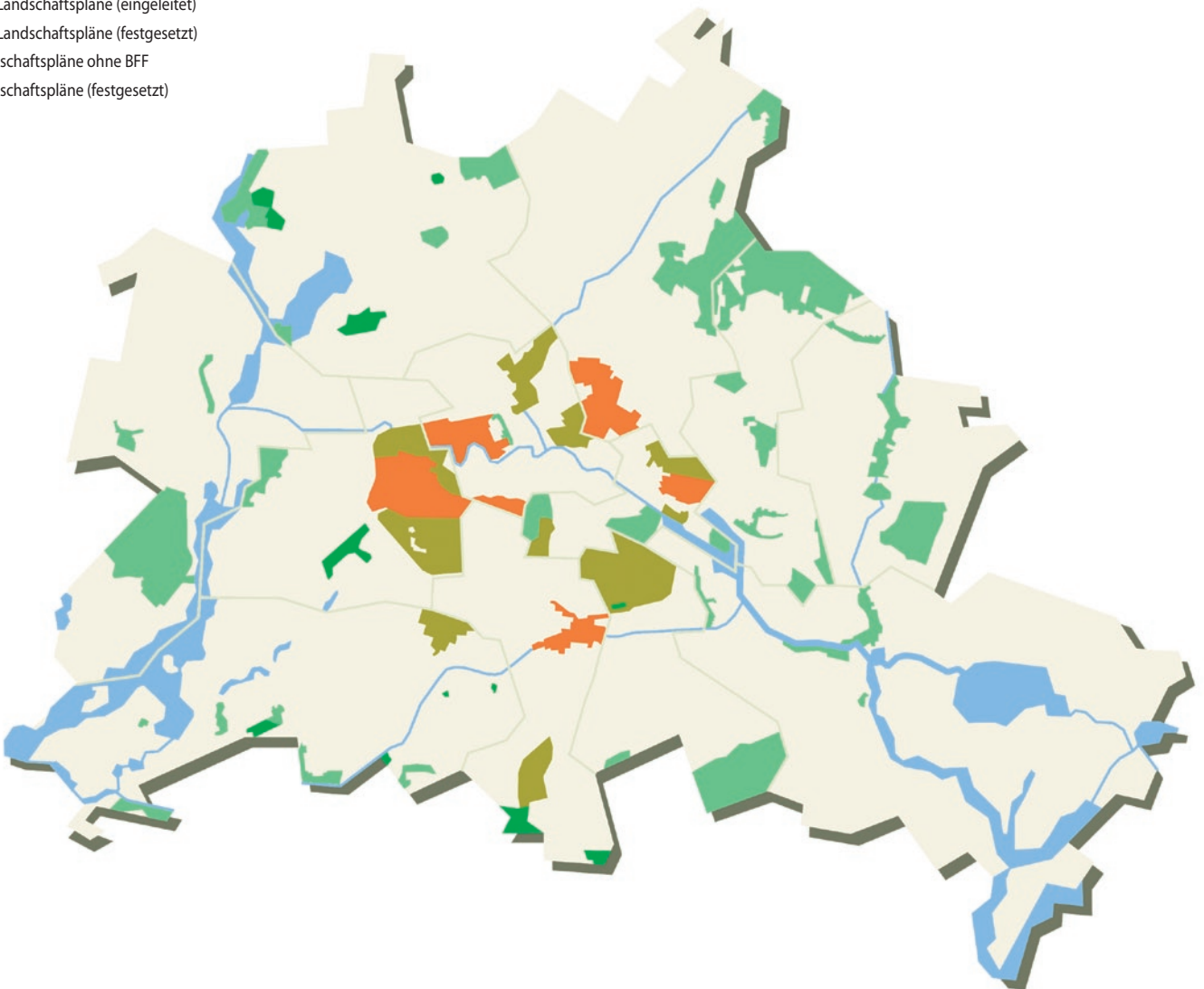
In Berlin wird ein **Niederschlagswasserentgelt** erhoben. Es beträgt zurzeit 1,84 €/m²/Jahr (je m² in den Kanal entwässernde Fläche und Jahr).

Das Niederschlagswasserentgelt wird nach der versiegelten Fläche bemessen, von der das Niederschlagswasser in die öffentliche Abwasserbeseitigungseinrichtung gelangt. Bei der Ermittlung der bebauten und befestigten Flächen wird berücksichtigt, dass Flächen, die nicht oder nur geringen Einfluss auf den Abfluss des Niederschlagswassers haben, nicht oder nur anteilig bei der Berechnung des Entgelts für die Niederschlagswasserbeseitigung angesetzt werden.

Als versiegelte Flächen werden sämtliche betonierte, asphaltierte, gepflasterte oder mit anderen wasserundurchlässigen Materialien versehenen Flächen gewertet.

Berliner BFF-Landschaftspläne

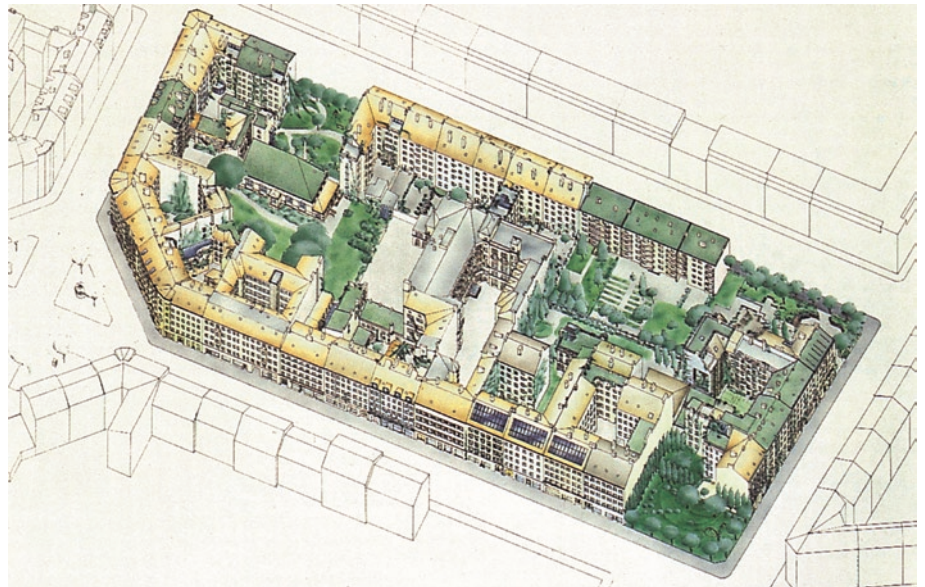
- BFF-Landschaftspläne (eingeleitet)
- BFF-Landschaftspläne (festgesetzt)
- Landschaftspläne ohne BFF
- Landschaftspläne (festgesetzt)



Bei begrünten Dachflächen werden 50% der jeweiligen Fläche bei der Berechnung des Entgelts angesetzt (www.bwb.de).

Die ersten Modellvorhaben bei denen die Themen Regenwasserbewirtschaftung und Gebäudebegrünung untersucht wurden, waren die **Modellvorhaben des experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (EXWOST)** im Forschungsfeld Ökologie und umweltorientiertes Bauen, die durch Bundes- und Landesmittel gefördert und wissenschaftlich begleitet wurden.

Projekte wie der Block 103, der Block 6 oder die Ökohäuser in der Corneliusstraße zählen noch heute zu den „Pionieren“ der Stadtökologie¹⁵.



Block 103 in Berlin Kreuzberg (oben)

Ökohäuser in Berlin Tiergarten (links)



Block 6 nach der Optimierung/Umgestaltung 2006/2007



Dachbegrünung

Gründächer bieten eine ganze Reihe von Vorteilen, die in private Vorteile für die Eigentümer und Bewohner eingeteilt werden können, als auch für die Allgemeinheit gelten.

Zu den Vorteilen gehört neben dem verbesserten optischen Gesamteindruck (Imagefaktor bzw. der erhöhten Aufenthaltsqualität) auch eine verbesserte Wärmedämmung und der Regenrückhalt, der in der Regel eine Reduzierung des Niederschlagswassereingelags bewirkt. Diese Vorteile machen sich in der jährlichen Betriebskostenabrechnung bemerkbar. Als Vorteile für die Allgemeinheit sind die Reduzierung der städtischen Wärmeinsel, die Reduzierung des Regenwasserablaufes und die Entlastung der Kanalisation anzusehen. Einen wesentlichen Aspekt stellen auch die Auswirkungen auf die „Stadt Natur“ dar. Gründächer bieten Lebensräume für spezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Der Aspekt „Erhöhung der städtischen Biodiversität“ ist wichtig, lässt sich aber nicht monetär ausdrücken¹⁶. Eine grünere Stadt wird von den meisten Bewohnern positiv wahrgenommen, dieser Effekt lässt sich schwer finanziell abschätzen. Für einen relativ geringen Mehrbetrag resultiert somit ein vielfacher Vorteil aus der Begrünung.

Der Bau von Dachgärten ist ein Sonderfall und sicher nicht für alle Gebäude möglich. Die höheren Baukosten für die Erstellung können direkt mit einem Viertel der Grundfläche des Dachgartens auf die Miete umgelegt werden. Mit Dachterrassen, oder Dachgärten erhöht sich der Wert einer entsprechenden Immobilie erheblich.

Planung

Mit der Begrünung von Dächern gibt es in Deutschland umfassende Erfahrungen. Seit etwa 1970 werden Gründächer in Deutschland verstärkt gebaut. In den letzten Jahren waren es jährlich etwa 10 Millionen m² Gründächer, die neu errichtet wurden. Der überwiegende Teil, etwa 80% sind extensive Dachbegrünungen. Die übrigen 20% sind Dachgärten oder intensive Dachbegrünungen. Die intensiven Formen sind auf Gebäuden errichtete Gärten mit gartentypischen Pflanzflächen. Die Substrate haben eine Mächtigkeit zwischen 0,5 und 1,0 m. Dachgärten werden gärtnerisch gepflegt. Es werden Pflanzen verwendet, die auch in ebenerdigen Gärten verwendet werden. Ein Unterschied ist jedoch, dass vorwiegend langsam- oder kleinwüchsige Arten bevorzugt werden, damit möglichst langfristig ein gleiches Bild besteht.

Im Gegensatz dazu müssen extensive Dachbegrünungen im Normalfall mit ca. 0,1 m Substrat auskommen. Extensiv bedeutet „geringe Pflege“ aber großflächige extensive Verwendung auf Gebäuden. Bei der Pflanzenauswahl gibt es eine Beschränkung auf angepasste Vegetation, die auch bei Trockenheit überlebt. Die Vegetation sollte aber auch zeitweiligen Wasserüberstau akzeptieren können. Diese Standortverhältnisse schränken die Auswahl ein, andererseits sind das Extremlebensräume für eine Reihe besonderer Pflanzenarten, die in ebenerdigen Lebensräumen wenig Chancen hätten.

An den folgenden Abbildungen lassen sich die prinzipiellen Unterschiede der Gründachvarianten erklären. Von der relativ leichtgewichtigen aber robusten Konstruktion mit etwa 40 kg/m², über das typische Extensivdach mit etwa 0,1 m Substrathöhe, das aber auch mit einem entsprechenden Unterbau zu einem modellierten Naturdach ausgeführt werden kann, bis hin zu der intensiven Dachbegrünung, ist manches gestalterisch und technisch möglich. Je nach statischen Möglichkeiten ist nahezu der Nachbau jedes Landschaftstyps auf dem Dach möglich. Eine besondere Form stellen „Verkehrsdächer“ dar. Das sind belastbare Dächer über Tiefgaragen oder anderen Bauwerken in deren Drainschichten ein entsprechendes Speicherpotential zum Rückhalt von Regenwasser mit eingeplant werden kann.

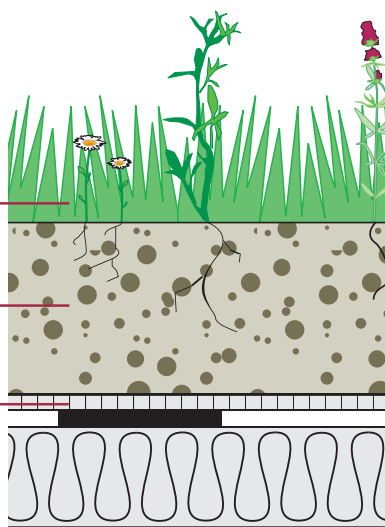
Statische Anforderungen bewegen sich zwischen 50 und 170 kg für extensive Begrünungen. Für Dachgärten sind die Werte nach oben hin offen, allerdings sind 200 bis 300 kg/m² als Mittelwerte für Dachgärten üblich. Das im Substrat gespeicherte Niederschlagswasser ist ein wesentlicher Gewichtungsfaktor der Begrünungen.

Über der Dachkonstruktion ist eine wurzelfeste Bahn aufzutragen. Ein Ablauf ist pro 200 bis 300 m² einzuplanen. Eine Bewässerungsanlage ist bei Intensivbegrünung/Dachgärten erforderlich. Bei extensiven Begrünungen ist die Bewässerungsmöglichkeit hilfreich, wenn einsehbar Dachflächen aus optischen Gründen bewässert werden sollen bzw. zur Kleinklimaverbesserung in den Sommermonaten.

Anspritzbegrünung/
Nassansaat (alternativ
Trockenansaat)

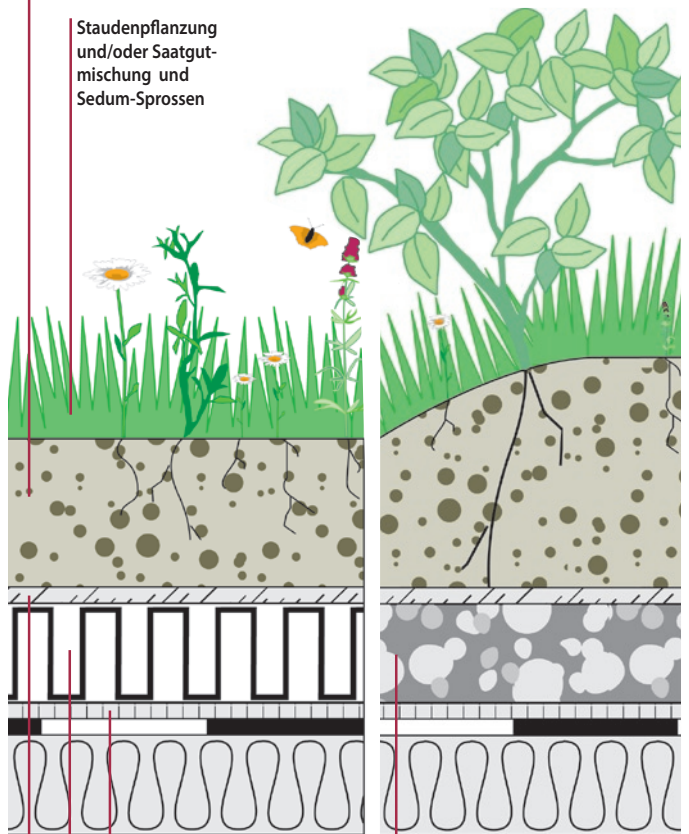
Extensiv-Einschicht-
substrat

Schutz- und
Speichervlies



Extensivsubstrat
Auf mehrschichtige extensive Bauweise
abgestimmtes Substrat mit hoher Wasser-
speicherkapazität und gutem Luftporen-
volumen. Anhögelung bei Bedarf.

Staudenpflanzung
und/oder Saatgut-
mischung und
Sedum-Sprossen



Dränschicht Schüttgut

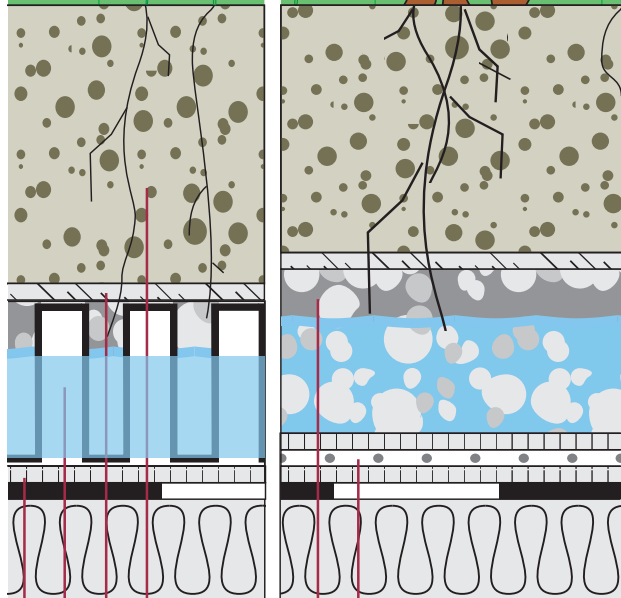
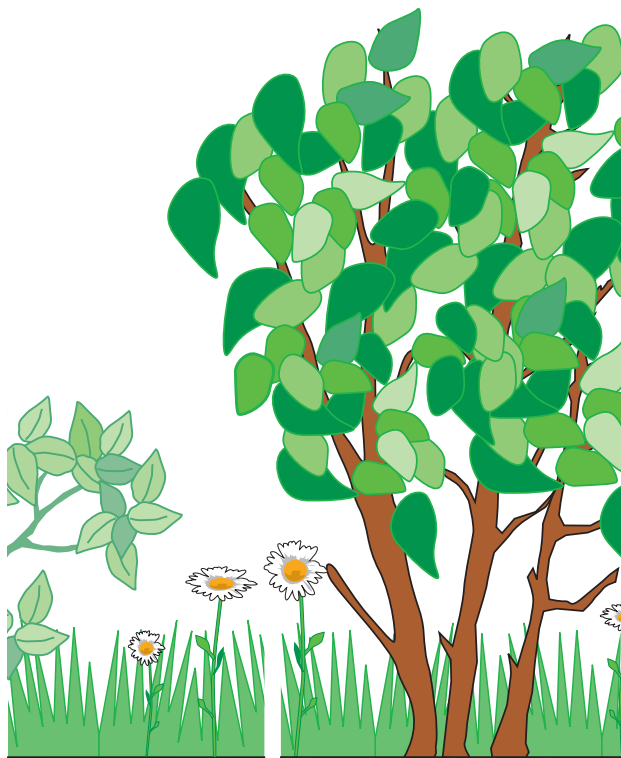
Schutz- und Speichervlies

Festkörperdränage

Filtervlies

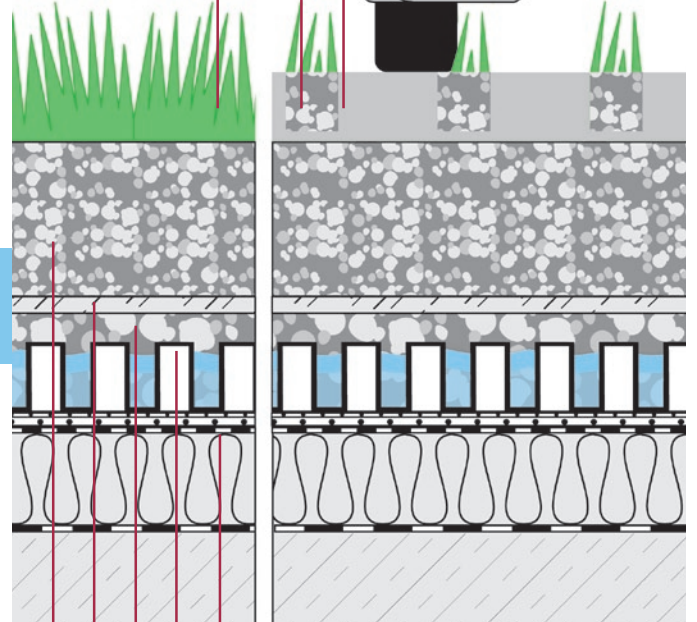
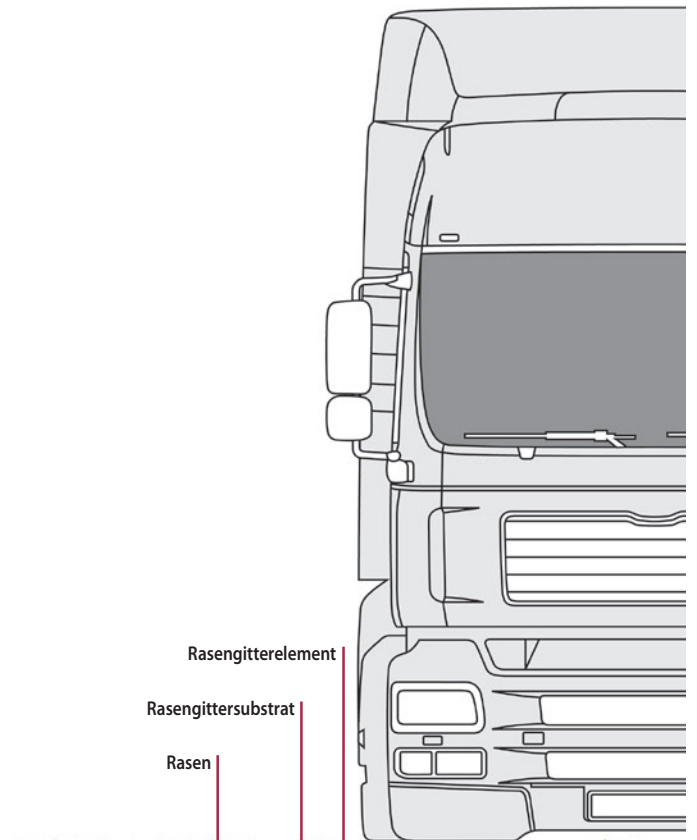
Variante einer extensiven
Einschichtbegrünung¹⁷

Die „Blumenwiesen“,
unterschiedliche Substrat-
höhen, verschiedene
Dränagen sind möglich.¹⁷



Schutz- und Speichervlies
 Festkörperdrainage
 Filtervlies
 Intensivsubstrat
 Alternativ: Rasensubstrat

Wurzelschutzbahn als Anstauwanne
 Dränschicht Schüttgut



Rasengitterelement
 Rasengittersubstrat
 Rasen
 HDPE-Folien
 Festkörperdrainage
 Schotterrasentragschicht
 Filtervlies
 Schotterrasen-Substrat

In Abhängigkeit der Substrathöhe ist hier schließlich eine typische garten- oder „landschaftsähnliche“ Gestaltung auf Dachflächen bei ausreichender Statik möglich¹⁷.

Höchste Lastannahmen auf befahrbaren Gebäudeoberflächen eröffnen für die Gestaltung nahezu unbegrenzte Möglichkeiten. Die Draineelemente und die Schotterrasentragschicht sind siedlungs-

wasserwirtschaftlich relevante Speicherkörper, die bei einer grundstücksbezogenen Kalkulation des Wasserablaufes mit zu kalkulieren sind¹⁷.

Dachneigung

Begrünte Dächer werden normalerweise als „Flachdächer“ ausgeführt, das schließt ein leichtes Gefälle von wenigen Prozent in Richtung Entwässerung ein.

Extensivdächer mit 20 bis 30% Neigung sind kein Problem. Bei höheren Dachneigungen sind entsprechende Schubschwellen einzubauen. Es sollte dann aber auch immer eine geschlossene Vegetationsdecke gleich zu Projektbeginn mit eingeplant werden.

Brandschutz

Gründächer werden wegen der geringen Brandlast als „harte Bedachung“ gerechnet. Untersuchungen hierzu sind Anfang 1980 mit definierten Brandlasten durchgeführt worden. Im Rahmen zukünftiger Diskussionen um die Reduzierung der Brandkassenbeiträge kann die Frage erneut aufgegriffen werden unter dem Aspekt, dass bewässerte Dächer und/oder Dachbepflanzungen mit Sukkulenten als besonders „Brandhemmend“ bewertet werden können.

Substratwahl

Die Substrate der intensiven Dachbegrünung ähneln denen von Gartenanlagen. Sie sind humusreich, locker und meist gut bewässert.

Extensivsubstrate sind grobporig, humusarm, entweder auf der Basis vulkanischer Ausgangsmaterialien oder aus Recyclingprodukten. Extensivdächer werden in der Regel nicht künstlich bewässert. Die genauen Ansprüche an Dachsubstrate sind in der FLL (2008) geregelt und haben auch über Deutschland hinaus Vorbildcharakter erreicht¹⁸.

Bei der Vernetzung mit verschiedenen Formen der Regenwasserbewirtschaftung ist insbesondere auf die Auswahl/Zusammensetzung der Substrate und Baumaterialien zu achten. Zur Vermeidung von Trübung des Dachablaufs durch Mineralisierung sind humusarme bzw. humusfreie Substrate zu verwenden.

Absturzsicherung

Auch extensive Dachbegrünungen müssen von Zeit zu Zeit Inspektionen unterzogen werden. Hierzu sind besondere Sicherungspunkte in ausreichendem Maße auf Dächern zu installieren, um diese Arbeiten gefahrlos ausführen zu können. Stabile Geländer sollten bei der Planung mit kalkuliert werden. Extensive Gründächer werden von Gebäudenutzern gerne aufgesucht, auch wenn es eigentlich verboten ist. Ein nachträgliches Anbringen eines Geländers ist nur sehr schwierig an der Attika möglich. In der Bauphase ist das meist nur ein kleiner zusätzlicher finanzieller Mehraufwand, der über die Jahre die Sicherheit wesentlich verbessert.

Windsog

Dachflächen sind sehr windexponiert. Feinerde kann leicht ausgetragen werden, insbesondere wenn die Substratschicht noch nicht flächendeckend aufgebracht ist. Bauteile können vor allem an Randanschlüssen angehoben werden. Technische Detaillösungen, etwa ein umlaufender Abschluss aus Randsteinen können dem Aufwind entgegenwirken.



Differenziert gestaltete Pflanzflächen als Beispiel für gelungene intensive Dachbegrünungen am Leipziger Platz

Gebäudekühlung und Wärmedämmung

Gründächer sind in den sommerlichen Mittagsstunden deutlich kühler als unbegrünte Dächer. Das wird in der nachfolgenden Abbildung für ein Gründach der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof im Vergleich zu einem benachbarten unbegrünten Bitumendach verdeutlicht. In diesem Fall beträgt die mittels Infrarotsensoren gemessene maximale Oberflächentemperatur des Gründaches ca. 30°C, die des „Bitumendachs“ 55°C.

In den Nachtstunden kühlen Gründächer gegenüber konventionellen „Bitumendächern“ nicht so stark aus, sie haben eine allgemein ausgeglichene Temperaturamplitude. Dieser Effekt trägt zur längeren Haltbarkeit der Dachhaut bei. Die Bitumen-Oberfläche eines konventionellen Daches hat in diesem Fall eine Temperaturamplitude Tag-Nacht von 50 K, die Dachdichtung eines Gründaches nur von 10 K.

Temperaturen allein genügen bei einer Wärme-, bzw. Energiebetrachtung von Gründächern nicht. Die unterschiedliche Durchfeuchtung von Substraten und der variable Vegetationsbesatz führen zu jeweils unterschiedlichen Wärmedurchgangswerten. Aus diesem Grunde wird ein Gründach bisher in der Wärmeschutzbetrachtung nicht berücksichtigt. Die Empfehlungen gehen immer noch dahin, die erforderlichen Wärmedämmungen in den unter der Begrünung liegenden Schichten zu realisieren. Aus diesem Grunde wurden von verschiedenen Herstellern sogenannte Thermodächer empfohlen, die mit typischem Dämmstoff den nachweisfähigen Beitrag leisten¹⁹.

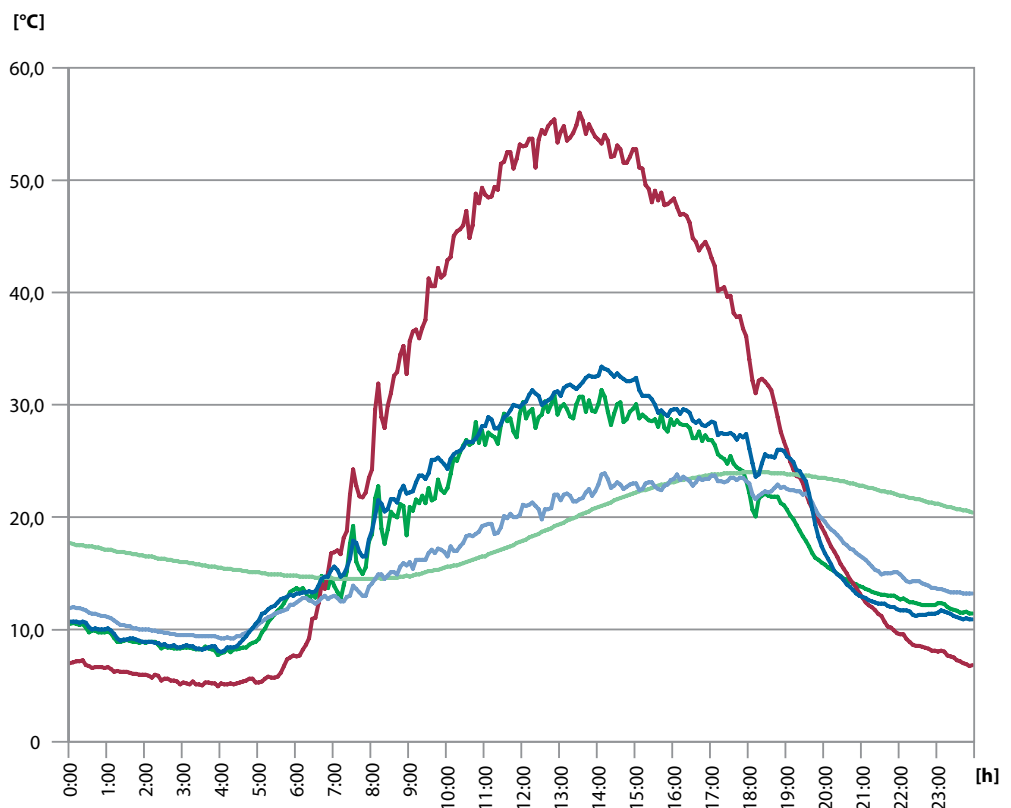
Der Untersuchung des Wärmedurchgangswertes der typischen Substratschicht eines extensiven Gründaches einschließlich einer typischen Vegetationsschicht widmete sich eine Arbeitsgruppe an der Hochschule Neubrandenburg²⁰. Hierbei wurden die Wärmedurchgangseffekte eines Jahres bei unterschiedlichen klimatischen Situationen studiert.

Temperaturverlauf 20.06.2001

Ufa-Fabrik Berlin-Tempelhof

Oberflächentemperaturen am 20. Juni 2001, gemessen als Infrarot-Temperaturen eines begrünten Daches im Vergleich zu einem unbegrünten „Bitumendach“ in der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof. Das unbegrünte Dach zeigt eine Temperaturamplitude von 50K gegenüber 20K des Gründaches und 10K an der Dachdichtung des Gründaches.

- Oberfläche „Bitumendach“
- Oberfläche Gründach
- Dichtung Gründach
- Luft 1m über Gründach
- Luft Oberfläche Gründach



Ein winterlicher positiver Dämmeffekt von etwa 2 bis 10% ist vorhanden. Bedenkt man, dass etwa 22% Wärmeverlust über Dächer erfolgen, dann ist das ein zusätzlicher Dämmeffekt, der in Abhängigkeit des Außenhüllenverhältnisses eines Gebäudes eine weitere, bisher nicht erwartete Einsparung erbringt, die etwa einer zusätzlichen Dämmschicht von einem Zentimeter Dämmstoff entspricht.

Der sommerliche Effekt ist ebenfalls vorhanden. Die erheblichen Temperaturreduzierungen verhindern einen starken Wärmeeintrag in die Gebäude. In tropischen Klimaten, etwa in Singapur, ist dieser Temperatureffekt der sommerlichen Kühlung das entscheidende Argument für extensiv begrünte Dächer. Dieser Effekt bewirkt eine Reduktion der sommerlich bedingten Wärmelast bei einem typischen Gebäude um 60%²¹. Für Gebäude insbesondere mit hoher innerer Wärmelast ergeben sich hier in Zukunft Potenziale bei der Bemessung von Klimaanlageanlagen.

Gründächer und Solaranlagen

Die Stromproduktion mit Solarzellen ist unter anderem eine temperaturabhängige Größe²². Die Kühlung der Photovoltaikzellen ist eine Variante in der Vielzahl von Möglichkeiten, individuelle Anpassungen von PV-Anlagen an einen Standort zu ermöglichen. Die sommerlich mittägliche Aufheizung ist ein Nebeneffekt der solaren Einstrahlung und reduziert dabei die Stromproduktion. Lässt sich nun die PV-Anlage auf einem Gründach geschickt positionieren, könnte die Kühlung einen Mehrertrag liefern. Bislang fehlt allerdings der wissenschaftliche Nachweis, dass sich aus der Kombination von PV und Begrünung ein Mehrertrag ergibt.

Dem potenziellen Mehrertrag steht gegenüber, dass die Vegetation nur dann erfolgreich wächst, wenn das Regenwasser von den Modulen kleinräumig auf die Begrünung geleitet wird und auch ausreichend Sonneneinstrahlung übrig bleibt. Hier bieten sich semitransparente Solarmodule an. Die PV-Module haben die Wirkung von Sonnenschirmen. Die Vegetation unter den Zellen verändert sich

von vollsonnigen Standorten bevorzugenden Arten hin zu eher „Allerweltsarten“. Die Artenzahl wird auf PV-Dächern durch die Erhöhung der Standortvariabilität insgesamt zunehmen. Es sind darüber hinaus Pflegemaßnahmen erforderlich, die zu hoch aufwachsende Pflanzenindividuen, etwa Beifußpflanzen rechtzeitig entfernen, damit die Module nicht verschattet werden.

In der Kombination Dachbegrünung und Photovoltaik stecken viele Möglichkeiten, sie müssen allerdings gut aufeinander abgestimmt werden. Es gibt bereits eine Reihe guter kommerzieller Beispiele von PV-Anlagen auf Gründächern²³. Die flächig aufgebrachte Dachbegrünung bietet beispielsweise die Möglichkeit, die Gestelle für die Paneele sturmfest und durchdringungsfrei auf einer Dachfläche zu verankern.



PV-Anlage auf extensivem Gründach als gelungene Synergie

Photovoltaikmodule auf dem Gründach der UFA-Fabrik in Berlin-Tempelhof (www.ufafabrik.de)



Bau von Gründächern



Potsdamer Platz – Aufbringen des Substrates



Dachbegrünung als „Freiflächenpotential“



Für den Bau von Gründächern sind die einschlägigen Vorschriften nach der **FLL-Dachbegrünungsrichtlinie**¹⁸; die Empfehlungen zu Planung und Bau von Verkehrsflächen auf Bauwerken²⁴ sowie die darin genannten Bezüge zu verwandten Normen zu berücksichtigen.

Die **Gewerkentrennung** zwischen der Dachabdichtung und der Dachbegrünung stellt einen der wesentlichen Punkte dar, an denen Konfliktpotential bestehen kann. Hier gilt es insbesondere eine ausreichende Prüfung auf Dichtigkeit des Unterbaus durchzuführen, um so Diskussionen im Schadensfall vorzubeugen. Bei größeren Projekten wäre der Einbau einer Leckortung, die im Schadensfall aktiviert werden kann, eine sinnvolle und überschaubare Zusatzinvestition.

Während der **Bauüberwachung** ist vor allem darauf zu achten, dass keine Beschädigungen der Dachdichtungen durch Unachtsamkeiten nachgelagerter Gewerke erfolgt. Dachflächen werden gerne von Mitarbeitern in anderen Baugewerken zum Zuschneiden von Materialien oder als Zwischenlager genutzt. Die Verletzlichkeit von Dachdichtungen ist nicht immer allen Handwerkern verständlich. Der Verursacher von Beschädigungen an Dachbahnen ist später nicht mit Eindeutigkeit zu klären.

Eine Dachbegrünung besteht aus einer Vielzahl von Materiallagen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen. Nahtstellen, die geklebt oder verschweißt werden, sind typische Bereiche für Fehlerquellen, die regelmäßige Kontrolle während des Einbaus ist unerlässlich. Eckbereiche und Randschlüsse an Kaminen, Lüftungen sowie jede Form aufsteigender Bauteile sind potentiell Problembereiche.

Von allen gelieferten **Dachmaterialien** sollten die Lieferscheine hinsichtlich Deklaration/Zusammensetzung und repräsentative Proben für spätere Überprüfungen sichergestellt werden. Das gilt für die Dämmschichten bei denen zwischen den besseren, meist teureren und anderen Produkten oft nur durch eine genaue Überprüfung die Unterschiede erkannt werden können. Gleiches gilt für Pflanzsubstrate und die Vegetationstragschicht.

Die Anforderungen sind nach FLL definiert, aber mit bloßem Augenschein nicht zu beurteilen. Sofern die Anforderung in der Ausschreibung entsprechend vermerkt wurde, ist das anhand der Proben zu überprüfen.

Sollte wider Erwarten auf dem **Dachsubstrat** kein ausreichendes Wachstum erfolgen, kann es entweder an dem falschen Substrat liegen, dem falschen oder zu schwachen Pflanzmaterial oder an der nicht korrekt erfolgten Anwuchspflege, wie etwa nicht ausreichende Anfangswässerung im ersten Jahr. In vielen Dichtungsbahnen sind Pestizide enthalten. Hier ist neben der genauen Ausschreibung auch darauf zu achten, was schließlich geliefert wurde.

Das Aufbringen des Substrates und die Bepflanzung sollte besonders aufmerksam begleitet werden. Bei der Bepflanzung ist auf eine ausreichende Qualität der Einzelpflanzen, Rasenmatten oder Sprossen zu achten. Neben der guten **Qualität** dieses **Ausgangsmaterials** ist vor allem auf die über Wochen zu erfolgende Anwuchspflege zu achten. Damit ist während der Sommermonate vor allem die ausreichende Wässerung gemeint. Viel zu häufig ist ein zu kurzer Wasserschlauch die Ursache dafür, dass nicht alle Bereiche eines Daches gleichmäßig und ausreichend tief greifend gewässert werden.

Der Ausfall von Pflanzen in der Anwuchsphase kann somit viele Ursachen haben und muss im Rahmen der Bauüberwachung eindeutig und nachvollziehbar hergeleitet werden. Die FLL spricht von einer **„Entwicklungspflege“**, die in einem Zeitraum von zwei Jahren zu einem Zustand von 90% Pflanzenbedeckung führen soll. Dieses Kriterium ist leicht zu überprüfen, falls dieser Wert unterschritten wird, muss die Ursachenforschung beginnen. Qualifiziertes Fachpersonal, das frühzeitig sich anbahnende Schäden an der Dachbegrünung erkennen kann, sollte jährlich Inspektionen der Dachflächen durchführen und die Ergebnisse protokollieren.

Betrieb und Wartung

Nach erfolgreicher Anwuchspflege ist für die Folgejahre ein **Pflege- und Wartungsvertrag** mit einer Fachfirma abzuschließen. Die auszuführenden Arbeiten sind in diesem Vertrag eindeutig zu beschreiben.

Dachgärten sind ähnlich ebenerdiger Gärten ausführlich zu pflegen. Die Tätigkeiten können von minimalem Pflegeaufwand mit regelmäßiger Bewässerung, Düngung, Schnitt, Nachpflanzung und weiterer Arbeiten bis hin zu zeitaufwändigen Tätigkeiten, etwa dem Pflanzenschutz variieren. Verlässliche Zahlen hinsichtlich des Zeit- und Finanzaufwandes für die Pflege gibt es bisher nicht. Die FLL-Dachbegrünungsrichtlinie¹⁸ spricht von vier bis acht Pflegegängen pro Jahr. Rasenflächen auf intensiv begrüntem Dachgärten sollten zwischen zwei- und zwölfmal im Jahr gemäht werden.

Extensive Dachbegrünungen sind entgegen der landläufigen Meinung ebenfalls nicht komplett frei von Pflege. Eine Minimalpflege ist zu gewährleisten. Diese hängt u. a. auch von den optischen Ansprüchen an extensive Gründächer ab. Zu der Minimalpflege gehört eine jährliche optische Inspektion. Gärtnerische Tätigkeiten sind in Abhängigkeit des gewünschten Gesamteindrucks durch zwei bis vier Pflegegänge zu gewährleisten. Als Basisarbeit ist das Entfernen von spontan angesiedelten „Problempflanzen“ anzusehen. Die sollten so früh als möglich komplett mit dem Wurzelsystem entfernt werden. Dazu gehören alle Formen von Pioniergehölzen, Weidenarten, Birken, aber auch Ahorn, und Kirscheimlinge sind hier häufig vertreten. Bei den krautigen Pflanzen ist eigentlich nur der Steinklee als Problempflanze bekannt. Diese Art kann die übrige Vegetation weitgehend verdrängen. Das Landreitgras ist unter den Gräsern sehr ausbreitungsfreudig, vor allem auf etwas höheren Substratschichten als 12 cm.

Pflanzenausfälle und Nachpflanzungen sind bei der regelmäßigen Pflege einzuschätzen. Einige Arten sollten auf Dächern nicht gepflanzt werden, das sind Arten mit hohem Wasseranspruch oder sehr aggressiven Wurzeln. Zum letztgenannten gehören alle Varianten von Farnen, die beliebt sind, aber besonderer Sicherungsmaßnahmen bedürfen.

Wurde noch vor Jahren die Auffassung vertreten, dass Extensivbegrünungen weitgehend ungedüngt überleben, ist in bestimmten Regionen eine Düngung mit Langzeitdünger in Erwägung zu ziehen. Extensive Gründächer sind, vergleichbar zu Golfplätzen, nicht auf Pflanzenmasse, sondern auf eine geschlossene Vegetationsschicht hin zu entwickeln, das kann eine regelmäßige leichte Düngergabe bedeuten. Eine komplette Vegetationsschicht ist ebenfalls bedeutend für die von Gründächern erwarteten Funktionen der Oberflächenverschattung und der Verdunstungsleistung.

Beim Einsatz der Dachbegrünung in Kombination mit weiteren dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen sind die Konsequenzen der **Düngung** beispielsweise für die Wasserqualität von künstlich angelegten Gewässern vorab zu klären!

Bei der **jährlichen Inspektion** sind frühzeitig Störungen zu erkennen. Das können vor allem Erosionsbereiche sein. Das Nachpflanzen von Fehlstellen, die Beseitigung von Erosionen und das Freihalten von Sicherheitsstreifen können wesentliche Pflegemaßnahmen sein, die regelmäßig erfüllt, nur einen geringen zeitlichen Umfang ausmachen, aber die Funktionsfähigkeit des Gründaches über lange Jahre sicherstellen.

Die Gründächer sind langfristig angelegte Dachsysteme. Sie sollen im Regelfall die gleiche Lebensdauer wie die Gebäude haben. Die Dachbegrünungen halten länger als die garantierten Gewährleistungsfristen, wie wenige noch vorhandene etwa 100 jährige Gründächer zeigen.





Fassadenbegrünung

Fachgerecht ausgeführte und gepflegte Fassadenbegrünungen erfreuen nicht nur durch ihren Anblick im innerstädtischen Bereich und als Vermittler zwischen Bebauung und freier Landschaft. Sie erfüllen darüber hinaus auch ihre Funktion zur Verbesserung des Stadtklimas aufgrund einer erhöhten Verdunstung und vermindern die Rückstrahlungsintensität auf benachbarte Gebäude. Sie gleichen damit besonders in Bereichen mit hohem Versiegelungsgrad Temperaturextreme aus. Begrünungen können Fassaden gegen Witterungseinflüsse schützen und als sommer- und winterlicher Wärme- und Kälteschutz wirken.

Kletterpflanzen können zielgerichtet zur Verschattung eines Gebäudes eingesetzt werden und als natürlicher Sonnenschutz dienen. Vor Glasfassaden verhindern sie im Sommer den Eintrag der Sonnenstrahlung und so eine Überhitzung von Gebäuden. Im Winter dagegen ist die kurzweilige Einstrahlung erwünscht, um Heizenergie zu sparen. Zu diesem Zeitpunkt haben die meisten Pflanzen ihre Blätter verloren. Einige wenige wintergrüne Arten wie das „Immergrüne Geißblatt“ (*Lonicera henry*) schließen sich für diesen Anwendungsfall aus.

Zusätzlich dient die Verdunstungskälte der Pflanzen der Kühlung des Gebäudes durch Senkung der langwelligen Strahlung. Diese entsteht durch hohe Oberflächentemperaturen beispielsweise an einem außenliegenden Sonnenschutz. Ein konventioneller Sonnenschutz reduziert zwar die kurzweilige Einstrahlung in das Gebäude, wandelt die Sonnenstrahlung aber in sensible Wärme und langwellige Strahlung um. Nur die Verdunstung von Wasser führt Wärme real ab und transportiert die Energie latent in höhere Atmosphärenschichten.

Am Institut für Physik konnten exakte Messungen zu den Verdunstungsraten von Kletterpflanzen durchgeführt werden. Hierbei stellte sich die Frage nach dem einzuplanenden Wasserbedarf ebenso wie nach dem Potenzial der Gebäudeklimatisierung. Die Ergebnisse zum Wasserverbrauch waren erstaunlich. Zu Beginn des Projektes konnte nicht abgeschätzt werden, wie hoch die reale Verdunstungsrate einer Kletterpflanze mit 20 m Höhe ist, die aus einem vergleichsweise kleinen Wurzelraum in einer Kübelbegrünung versorgt wird. Die durchschnittliche tägliche Verdunstung betrug 10 bis 15 l/m² Kübeloberfläche (Abbildung Seite 36). Dies entspricht im konkreten Fall einer Verdunstungskühlung von 280 kWh pro Fassade und Tag.

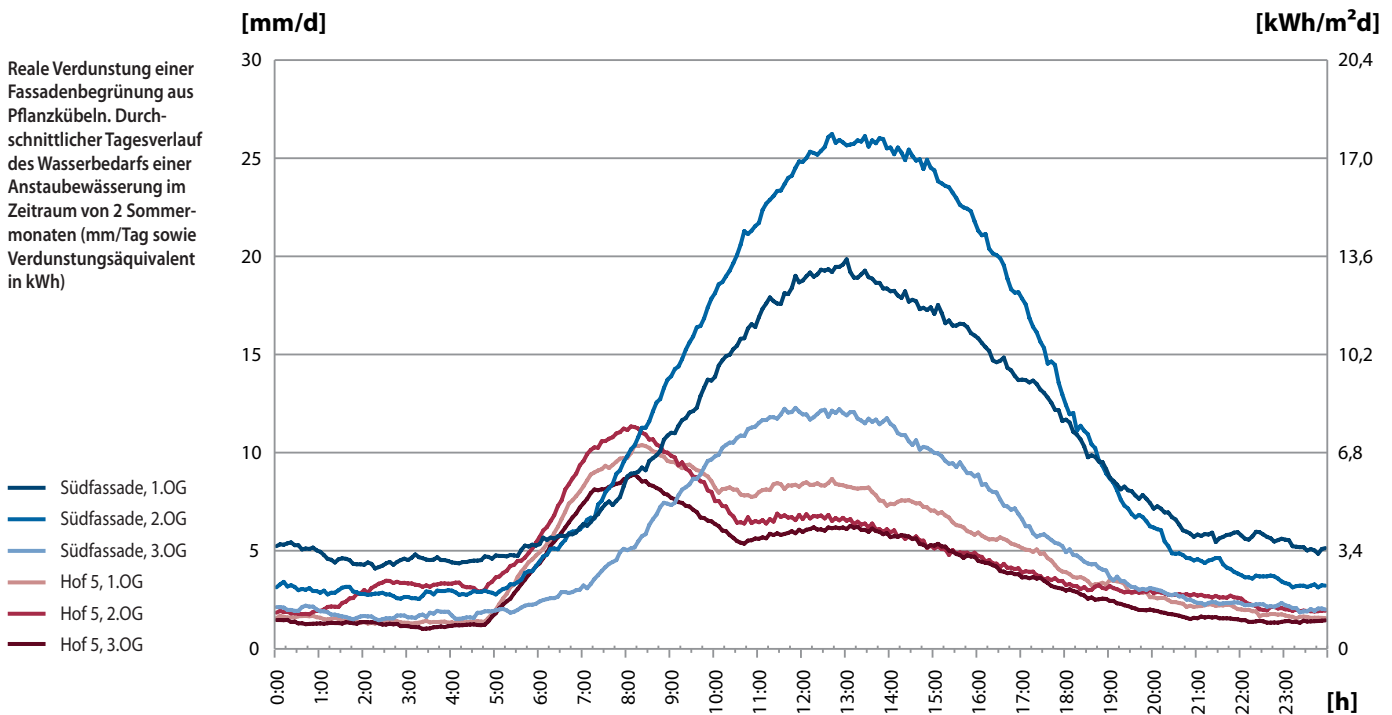
Ein Liter Wasserverbrauch erzeugt eine Verdunstungskälte von 0,68 kWh, dies ist äquivalent zu einem Millimeter Wasser, der von 1 m² verdunstet. Zwar findet die Verdunstung wie bei der Dachbegrünung außerhalb der Gebäudehülle statt, dennoch ergeben sich Vorteile bei der Gebäudeklimatisierung im Vergleich zu einem konventionellen Sonnenschutz. Im Sommer tritt sowohl sensible Wärme als auch langwellige Strahlung in ein Gebäude ein, sei es durch „falsches“ Nutzerverhalten bei Öffnen der Fenster trotz hoher Außentemperaturen oder Wärmebrücken und konventionelle Glasscheiben ohne Sonnenschutzverglasung. Vorteil des konventionellen Sonnenschutzes gegenüber der Begrünung vor einer Glasfassade ist die bedarfsgerechte Steuerbarkeit zwischen trüben und sonnigen Tagen. Nutzergespräche am Institut für Physik haben aber gezeigt, dass dieser Vorteil gegenüber den ästhetischen Qualitäten einer Begrünung vor dem Fenster zurücksteht. Die Nutzer waren grundsätzlich mit einer Begrünung vor dem Fenster eher zufrieden als mit dem konventionellen Sonnenschutz.

Die Kosten für die Bewässerung treten gegenüber den energetischen Einsparungen deutlich in den Hintergrund. Die erzeugte Verdunstungskälte gerade an Tagen mit hohem Kühlbedarf entspricht einem Vielfachen gegenüber den Wasserkosten. Eine genaue Quantifizierung der Kosten und Einsparungen im Vergleich mit einem konventionellen Sonnenschutz ist allerdings schwierig, Messungen innerhalb der Gebäudehülle wurden nicht durchgeführt.

Die folgenden Empfehlungen für die Planung, den Bau und die Wartung von Fassadenbegrünungen basieren auf den Ergebnissen des Monitoring des Instituts für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin in Adlershof und unter Zuhilfenahme einschlägiger Literatur sowie der FLL-Richtlinien und DIN-Vorschriften. Sie sollen als Orientierungshilfe dienen. Detaillierte Angaben, insbesondere zu für den jeweiligen Standort geeigneten Pflanzen und den passenden Kletterhilfen finden Sie in der weiterführenden Literatur (Literaturliste Seite 60).

Durchschnittliche Verdunstung der Fassadenbegrünung

Adlershof Physik 15.07. bis 14.09.2005



Planung

Bei der Planung von begrünten Fassaden ist eine Abstimmung zu betroffenen technischen wie architektonischen Fragen mit den übrigen beteiligten Planern möglichst frühzeitig erforderlich.

Es sollte zunächst die Entscheidung gefällt werden, ob, in welchem Umfang und mit welchem Ziel begrünte Fassaden an dem Gebäude geplant werden sollen. Bei Neubauten sind die Möglichkeiten deutlich besser als bei bestehenden Bauten. Fassaden sind das für jeden sichtbare Aushängeschild des Gebäudes. Begrünung kann zur Identität und Einzigartigkeit beitragen. So sind etwa bei der japanischen „Moss Burger“ – Kette mit Moosen begrünte Fassadenplatten das eindeutige Erkennungsmerkmal dieses Konzerns. Ebenso ist bei Gebäuden im Stile Hundertwassers die Begrünung von Flächen ein wesentliches Element, die Gebäude erkennbar zu prägen. Die Fassadenbegrünungs-Installationen von Patrick Blanc²⁵ sind ebenfalls zu einem Markenzeichen geworden, das zunehmend weltweit gefragt ist.

Es ist eine lange Entwicklung von der ersten Begrünungswelle in den 1980er Jahren, in der überwiegend mit selbsthaftenden Kletterpflanzen, wie dem Wilden Wein, gearbeitet wurde, bis hin zu den Installationen von Patrick Blanc am Lafayette in der Friedrichstraße in Berlin.

Diese Spannweite zeigt aber auch das Potential auf, das in einer Begrünung steckt. War die Direktbegrünung der 1980er Jahre im Rahmen der Hinterhofbegrünung mit dem Kauf geeigneter Pflanzen so gut wie abgeschlossen, bedeuten die aufwändigen Wandinstallationen eine regelmäßige professionelle und kostenintensive Pflege. Stand vor wenigen Jahren noch der stadtoökologische Begrünungsaspekt im Vordergrund, gewinnt der Aspekt des unverwechselbaren Designs immer mehr an Bedeutung. Die Kosten eines Begrünungsdisplays sind vergleichsweise hoch. Sie stellen eine besondere Form moderner Gartenkunst dar. Sie können aufgrund ihrer geringen Verbreitung nur einen geringen Beitrag zur sommerlichen Abkühlung von Städten leisten, aber für das Thema „Grün“ am Gebäude sensibilisieren. Befragungen in Japan haben gezeigt, dass begrünte Fassaden durch Passanten durchweg positiv bewertet werden²⁹. Diese optische Anreicherung der Stadt fällt sowohl positiv auf das Image des Eigentümers bzw. Betreibers der Immobilie, als auch auf die Stadt zurück, die derartige Installationen festsetzte, zum Teil mit Förderprogrammen unterstützt.

Testinstallation für zehn verschiedene Methoden der Fassadenbegrünung in Singapur. Der Test wurde zwischen Oktober 2007 bis November 2008 durchgeführt. Neben Kübelbegrünungen wurden vor allem flächige, als „Living Walls“ bezeichnete Systeme installiert und wissenschaftlich begleitet²⁶.



Gute Anschauungsbeispiele, etwa das Physikgebäude der Humboldt Universität zu Berlin in Adlershof tragen zu einer Verbreitung der Idee der Gebäudebegrünung bei. Erreichbare Beispiele und die Möglichkeit über Detailfragen mit Fachleuten in einen Austausch zu treten, ist bei einem so sensiblen Bauteil, wie den weithin sichtbaren Fassaden für Architekten, von großer Bedeutung. Design ist das eine, die Funktionalität und die Unterhaltungskosten sind die weiteren Seiten dieser Thematik, die beachtet werden müssen.

Die Erfahrungen mit begrünten Fassaden zeigen, dass das vorliegende Regelwerk der FLL zu Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen²⁷ gute Entscheidungshilfen bietet. Pflanzlicher Bewuchs variiert über die Jahre, folgt einer typischen Lebenslinie von klein und unscheinbar über üppig bis hin zu ausgewachsenem Flächenbewuchs.

Im Gegensatz dazu beginnen technische Materialien auf einem guten Niveau und verlieren meist über die Jahre an Qualität bis sie irgendwann ausgetauscht werden müssen. Diese „materialspezifischen“ Lebenskurven stellen eine weitere Herausforderung an die erforderliche Pflege von begrünten Fassaden dar. Das von der FBB veranstaltete erste bundesweite Fassadenseminar im Oktober 2008 in Remscheid griff die bewährten Fassadenbegrünungen auf, es wurde aber deutlich, dass diese neuen Installationen, sei es in Pflanzkübeln, wie am Physikgebäude in Adlershof, oder die Installationen von Patrick Blanc und anderen zu einer erneuten Diskussion um die Vorzüge begrünter Fassaden beitragen²⁸.

In Abwandlung der Kriterien der FLL-Richtlinie für die Fassadenbegrünung soll hier zunächst ein kleiner Entscheidungskatalog vorgelegt werden.

Eine Patrick Blanc Installation an einem Kaufhaus in Berlin.
Links: Ansicht am 29.07.2008;
Rechts: Ansicht in der Winter-
ruhe am 06.03.2009



Zu klärende Fragen bei der Planung einer Fassadenbegrünung, die zu einer Auswahl der richtigen Begrünungsmethode führen:

Größe der begrünbaren Fläche

Sind Fenster auf der Fläche vorhanden?

Oberflächenmaterial der Fassade

- massive Wand (Klinker oder Putzfassade)
- vorgehängte hinterlüftete Fassade

Wozu soll begrünt werden?

- unverwechselbares Fassadendesign
- ökologischer Beitrag
- Verschattung der Oberfläche
- Fassadenbegrünung als Element der Regenwasserbewirtschaftung
- Verdunstung von Niederschlagswasser, Gebäudekühlung

Ist es möglich, eine regelmäßige Pflege sicherzustellen?

- Wie ist die Erreichbarkeit aller Begrünungsinstallationen?
- Ist eine besondere Absturzsicherung erforderlich?
- Ist die Infrastruktur von Bewässerung, Düngereinheiten u. ä. gut erreichbar?

Sollen Kletterpflanzen verwendet werden?

- Sollen ausschließlich ebenerdig wachsende Kletterpflanzen verwendet werden?
- Können Pflanzkübel in die Fassade integriert werden?
- Sollen vertikale Begrünungselemente (keine Kletterpflanzen) verwendet werden?

Gibt es ein bestimmtes Leitbild/Gestaltungswunsch, der bei der Begrünung berücksichtigt werden soll?

- beispielsweise: Pflanzungen in geometrischen Strukturen
- Pflanzungen in organischen Formen
- Sind bestimmte Effekte mit Oberflächentexturen von Pflanzenarten herzustellen?
- Sind bestimmte Blühaspekte gewünscht?
- Darstellung der Jahreszeiten

Soll die Begrünung, einmal errichtet, sich weitgehend selbst erhalten und nur Mindestpflege erfolgen?

Soll die Bepflanzung saisonal an bestimmte Termine bzw. Ereignisse angepasst werden?



Testinstallation zur Fassadenbegrünung

Rechtliche Aspekte

Bei der Planung von Fassadenbegrünungen sind zuerst die rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen, die relevante Aussagen zur Fassadenbegrünung enthalten bzw. diese vorschreiben oder untersagen können. Dies sind insbesondere:

- Baugesetzbuch
- Flächennutzungspläne
- Bebauungs- und Grünordnungspläne
- Vorhaben- und Erschließungspläne
- Denkmalschutz, Gestaltungssatzungen etc.
- Nachbarschaftsrecht

Ökonomische Aspekte

Neben den Kosten für die Planung und den Bau müssen auch bereits die laufenden Kosten für Betrieb und Wartung mit einkalkuliert werden. Hierbei ist je nach Begrünungszweck auch eine Einsparung (z. B. an Energiekosten durch Gebäudeklimatisierung mit Hilfe von begrünten Fassaden und Dächern, Regenwassernutzung zur Bewässerung etc.) zu berücksichtigen und gegenzurechnen.

Folgende Kosten müssen frühzeitig in die Planung mit einbezogen werden:

- Planungskosten für die Begrünung und deren technische, gestalterische und ökologische Voraussetzungen
- Baukosten für die Begrünung und deren bautechnische, gestalterische und ökologische Voraussetzungen
- Kosten für den Betrieb (z. B. automatische Bewässerung und Düngung etc.) und Wartung (z. B. Pflege der Pflanzen, Wartung von Anlagen)
- Pflegeaufwand: Dauer und Frequenz von Betrieb und Wartung müssen realistisch eingeschätzt werden
- Festlegung von Verantwortlichkeiten
- Bereitstellung von qualifiziertem Fachpersonal
- Kontrolle und Optimierung von Betrieb und Wartung

Bautechnische Voraussetzungen

Sowohl bei Neubauten als auch bei bereits bestehenden Gebäuden ist die Eignung von Fassaden zur Begrünung zu prüfen.

Insbesondere sind hierbei folgende Aspekte zu betrachten:

- Material
- Konstruktion
- Zustand

Das FLL-Regelwerk²⁷ gibt einen Überblick zur Begrünung von Fassaden in Abhängigkeit von verschiedenen Konstruktionen und Baustoffen. Anhand dieser Voraussetzungen lässt sich ableiten, ob die Fassade für Selbstklimmer oder für Gerüstkletterer geeignet ist.

Als weitere technische Voraussetzung sollte die Automatisierung der Unterhaltung mit eingeplant werden, um eine kontinuierliche und ausreichende Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gewährleisten zu können:

- Dünger-Dosiergerät
- Automatisches Bewässerungssystem

Ökologische Voraussetzungen

Um einen guten Wachstumserfolg zu gewährleisten, müssen die Standorte auf folgende Aspekte hin überprüft und optimiert werden:

• Bodenqualität

Das Gebäude muss gegen Vernässung geschützt sein. In Gebäudenähe sind die Böden besonders verändert, verdichtet oder/und mit Bauschutt durchsetzt. Die zum Auffüllen der Baugrube verwendeten durchlässigen Sande und Kiese bieten schlechte Wuchsbedingungen mit geringer Wasserkapazität. Großzügiger Bodenaustausch bzw. Bodenverbesserung können notwendig werden. Substrate und Böden sollten im Vorfeld auf toxische Substanzen und Wachstumshemmer untersucht werden.

• Wasserversorgung

Um eine kontinuierliche Wasserversorgung während der Vegetationsperiode sicherzustellen, sollte insbesondere bei größeren Pflanzungen eine automatische Bewässerungsanlage eingebaut werden. Bei der Bewässerung über eine Betriebswasseranlage ist das Bewässerungssystem für die

Pflanzungen von weiteren Betriebswassersystemen zu trennen, um eine zentrale Düngung zu ermöglichen. Die Verwendung von Regenwasser kann eine gute Lösung sein. Es ist jedoch auszuschließen, dass toxische Stoffe sich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Eine Überwachung der Wasserqualität ist insbesondere dann erforderlich, wenn das Wasser mit möglicherweise emittierenden Baumaterialien in Berührung kommt. So ist z. B. Regenwasser, das von Straßen oder „Bitumendächern“ etc. zur Bewässerung aufgefangen wird, unbedingt auf wuchshemmende Eigenschaften (Phytotoxizität) zu überprüfen. „Bitumendächern“ wird oft als sogenannter Durchwurzelungsschutz das Herbizid Mecoprop beigemischt. Es gelangt über den Dachablauf in das Betriebswassersystem oder direkt in die Oberflächengewässer^{46,47} und kann z. B. zu erheblichen Problemen bei der Wachstumsleistung der Pflanzen führen.

• Nährstoffversorgung

Die Düngung der Pflanzung sollte an eine automatisierte Bewässerung gekoppelt werden, um eine kontinuierliche Nährstoffversorgung zu gewährleisten. Bei der Nutzung von Regenwasser sollte ein nitratbetonter Flüssigdünger mit Spurennährstoffen beispielsweise im Verhältnis 8/8/6 mg/Liter NPK gewählt werden. Ein nitratbetonter Dünger ist gegenüber einer ammoniumbasierten Stickstoffgabe wichtig, da Ammonium das ionenschwache Regenwasser versauern würde. Der Dünger muss zudem alle notwendigen Spurennährstoffe enthalten.

Bei einer Kübelbegrünung mit Anstaubebewässerung ist zu beachten, dass es sich um ein geschlossenes System handelt, das bei Überdosierung keinen Austrag in den Untergrund erlaubt. Die Düngergabe auf die Oberfläche des Kübels schließt sich aus, da bei einer Anstaubebewässerung eine umgekehrte Bodenwasserbewegung stattfindet, von unten nach oben. Fester Langzeitdünger auf dem Kübel wird daher nicht in den Kübel mit dem Regenwasser oder durch die Bewässerung eingetragen.

Für die exakte Düngung ist ein Dosiergerät erforderlich, das die notwendige Düngergabe mit dem Bewässerungsvolumen steuert. Dies lässt sich über einen elektronischen Wasserzähler in Verbindung mit einer SPS Steuerung realisieren. Eine Trennung der Betriebswasserleitungen zwischen Bewässerung und weiteren Nutzungen ist erforderlich!

• Licht

Reine Nordlagen oder kontinuierliche Beschattung durch dichte Bebauung oder Bäume sind ungünstig und können nur mit wenigen schattenverträglichen Arten begrünt werden.

• Temperaturen/Windverhältnisse

Fassaden sind besonders an ihren Rändern und Kanten, bei dichter Bebauung aber auch flächendeckend stark dem Wind exponiert. Es sollte daher geprüft werden, ob eine Fassade in Abhängigkeit von ihrer Höhe und der Windrichtung zur Begrünung geeignet ist. Durch Wind können Austrocknung, Frost- und mechanische Schäden verursacht werden. Ebenso ungünstig wirken sich Fassaden oder Bauteile aus, die sich im Sommer stark aufheizen oder Strahlung reflektieren.

Pflanzungen in Kübeln sind besonders frostgefährdet und insbesondere in den Sommermonaten starken Temperaturschwankungen ausgesetzt. Soll dennoch in Kübeln gepflanzt werden, müssen diese ausreichend groß sein und mit dauerhaftem Material isoliert werden. Erdgebundene Standorte sind in jedem Fall zu bevorzugen.

• Immissionsquellen

Luftschadstoffe aus der Umgebung (z. B. in Industriegebieten) können die Pflanzen ebenso schädigen wie die warme Abluft aus Entlüftungsanlagen in unmittelbarer Nähe der Pflanzen.



Das Beispiel Kübelisolierung am Physikgebäude in Adlershof: außen: Faserzement-Beton; mehrere Zentimeter Isolierung sowie ein Kunststoff-Innenkübel für die Bepflanzung.

Gestalterische Aspekte

Die gestalterischen Aspekte einer Fassadenbegrünung müssen frühzeitig in die Planung einbezogen werden. Sie legen das gewünschte Begrünungsziel in Fläche, Höhe, Form, Farbe, Belaubung etc. fest, damit sich das zu begrünende Gebäude visuell in die umgebende Bebauung oder Landschaft einfügt. Die Begrünung (Pflanzen, Rankhilfen, Pflanzgefäße) soll zur Architektur des Gebäudes passen und dessen Stil unterstreichen. Aber erst die ökologische Planung kann gewährleisten, dass die Standortbedingungen für die jeweils gewünschten Arten auch optimal erfüllt sind und das gewünschte Begrünungsziel erreicht werden kann.

Folgende gestalterische Aspekte müssen betrachtet werden:

- Architektur des Gebäudes
- Oberfläche, Struktur, Material der Fassaden
- Nutzung des Gebäudes
- Größe und Aufteilung der Fassaden (Höhe, Gliederung durch Fenster, Balkone, Simse etc.)
- Begrünungsziel (Flächengröße, Höhe, Breite, Farbaspekt, Beschattung, Klimatisierung des Gebäudes)
- Umgebende Architektur bzw. Landschaft, in die sich das zu begrünende Gebäude einpassen bzw. aus der es sich herausheben soll.

Auswahl der Kletterhilfen

Kletterhilfen müssen dauerhaft, tragfähig, standsicher, wartungsarm und auf das Begrünungsziel hin abgestimmt sein.

Bei der Auswahl von Kletterhilfen sind folgende Kriterien zu beachten:

- Pflanzenverträglichkeit der Materialien und der Mittel für ihre Behandlung
- Dauerhaftigkeit des Materials
- Eignung für die gewünschte Pflanzenart (unterschiedliche Ansprüche von Schlingern, Rankern und Spreizklimmern sowie von einzelnen Arten)
- Eignung für den gewünschten Begrünungszweck (z. B. vernetzte Kletterhilfen für flächige Begrünung)
- Gestalterische Aspekte
- Wartungsaufwand
- Kosten

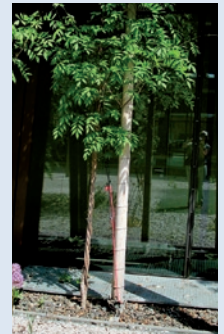
Die unterschiedlichen Kletterformen der Pflanzen stellen jeweils spezielle Ansprüche an die Konstruktion der Rankhilfen:

- Schlinger und Winder bevorzugen senkrechte abrutschsichere Strukturen. Der Abstand kann 30 bis 80 cm betragen. Runde Querschnitte mit einem Durchmesser von 0,4 bis 5 cm sind besonders vorteilhaft. Abrutschsicherungen sind je nach Art im Abstand von 0,5 bis 2 m empfehlenswert.
- Spross- und Blattstielranker bevorzugen gitterförmige Konstruktionen mit Gitterweiten von 10 bis 20 cm und einem Durchmesser von 0,4 bis 3 cm.
- Spreizklimmer bevorzugen horizontale Strukturen mit einem Abstand von 0,4 m oder gitterförmige Konstruktionen mit Abständen zwischen 0,3 bis 0,5 m.

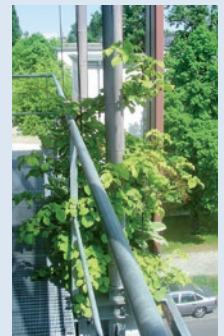
Bei der Konstruktion von Kletterhilfen sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Vertikallasten durch das Gewicht von Kletterhilfen und Bewuchs
- Horizontallasten durch Wind
- Werkstoffbedingte Spannungen durch den Wechsel von Temperatur oder Feuchtigkeit
- Pflanzenverursachte Spannungen, z. B. durch Umschlingung und Dickenwachstum von Wisteria: Hier ist die Möglichkeit zur Entspannung der Kletterhilfen (Seile mit Entspannungsmöglichkeit an ihrem oberen Ende) unbedingt mit einzuplanen
- Dimensionierung von Halterungen, Ankern und Dübeln.

Nähere Angaben zu Materialien, Konstruktionen, Statik und Befestigung sind in der FLL-Richtlinie für Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen nachzuschlagen²⁷.



Blauregen (*Wisteria sinensis*) nimmt die Kletterseile gut an. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Pflanze als starkwüchsiger Schlinger die Seile schnell torsiert. Es ist dringend eine regelmäßige Entspannung der Kletterseile oberhalb der Pflanze erforderlich.



Die Kletterhortensie (*Hydrangea petiolaris*) gehört zu den Wurzelkletterern. Sie nimmt auch Kletterhilfen an, muss dort aber fixiert werden.

Auswahl der Kletterpflanzen

Die meisten Kletterpflanzen stammen aus dem tropischen Bereich. Sie sind in Wäldern angesiedelt, wo sie andere Pflanzen nutzen, um mit minimalem eigenen Aufwand in den Kronenbereich ans Licht zu gelangen. An diesen Standorten finden die Pflanzen ein ausgeglichenes Klima mit geringen Temperaturschwankungen vor, Regen und Wind finden durch das dichte Blätterdach wenig Angriffsfläche. Vor zu starker Austrocknung schützt die Verschattung des Wurzelbereichs durch die Baumkronen.

Diese idealen Standorte finden die Pflanzen an innerstädtischen Fassadenbegrünungen in der Regel nicht vor. Hier sind sie vor allem Wind und Sonne ausgesetzt. Pflanzen sowie Boden trocknen stärker aus. Wind und Starkregen wirken außerdem mechanisch auf die Pflanzen ein. Jede Fassade unterscheidet sich dennoch aufgrund ihrer speziellen Standortbedingungen und dem damit verbundenen Kleinklima von allen anderen.

Die Auswahl der Kletterpflanzen ist am jeweils gewünschten Begrünungszweck, an den Belichtungsverhältnissen und an der Art der verwendeten Kletterhilfen zu orientieren. Wird eine dauerhafte flächendeckende Begrünung angestrebt, sind solche Pflanzen zu wählen, die aufgrund ihres Wachses an entsprechend geeigneten Kletterhilfen eine gute Quervernetzung schaffen.

Um das gewünschte Begrünungsziel zu erreichen, sind die Pflanzenarten besonders sorgfältig auszuwählen. Wird bei Neubauten die Begrünung frühzeitig mit in die Planung einbezogen, können zu begrünende Fassaden entsprechend den Bedürfnissen der Pflanzen gestaltet werden. Zunächst muss entschieden werden, ob die Fassade mit Selbstklimmern oder mit Gerüstkletterpflanzen begrünt werden soll.

Selbstkletternde Pflanzen werden wieder unterschieden in:

- Wurzelkletterer
- Haftscheibenkletterer

Gerüstkletterpflanzen lassen sich unterscheiden in:

- Schlinger, Winder
- Ranker (Blatt-, Blattstiel- und Sprossranker)
- Spreizklimmer

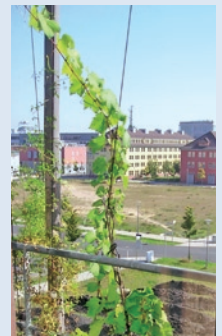
Je nach Art der Kletterpflanzen kann der Pflegeaufwand sehr unterschiedlich sein. Spreizklimmer sollten z. B. festgebunden werden. Für Begrünungen an bestehenden Gebäuden sowie an Neubauten müssen folgende Aspekte bei der Auswahl von Kletterpflanzen berücksichtigt werden:

- Licht- und Wärmeanspruch der Pflanzen muss der Ausrichtung der zu begrünenden Fassade und den damit verbundenen klimatischen Bedingungen (Licht, Wind, Niederschlag, Temperaturen im Tagesgang, Frost) entsprechen.
- Kletterform der Pflanzen muss zur verwendeten Kletterhilfe passen.
- Pflegeaufwand der verwendeten Arten
- Erreichbare Wuchshöhe
- Wuchsstärke
- Wuchsform, Dichte der Begrünung
- Triebdurchmesser in Bezug zum Abstand der Kletterhilfe zur Fassade
- Gestalterische Aspekte (Blüte, Frucht, Blattform, Färbung, wintergrün)
- Ökologische Bedeutung

Nähere Hinweise zu den Kletterpflanzentypen und der Eignung einzelner Arten geben das FLL-Regelwerk zur Fassadenbegrünung²⁷ sowie Fachbücher weiterer Autoren^{32, 33, 34}. Eine Mischung aus mehreren Arten sollte angestrebt werden, wenn Unsicherheit bezüglich der Eignung von Arten an einem Standort besteht. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Pflanzensorten jeder Art, die im Einzelfall eine bessere Eignung hinsichtlich der Standortansprüche gewährleisten. Bei der Mischung von Arten ist darauf zu achten, dass sie sich in ihrer Wuchsform gut ergänzen und nicht behindern.



Die Pfeifenwinde (*Aristolochia macrophylla*) gehört zu den Schlingern. Ihr gesamter Trieb windet sich um das Kletterseil und wächst daran in die Höhe. Bambusstäbe und Metallpfeiler haben einen zu großen Querschnitt, um von der Pflanze umschlungen zu werden.



Der Echte Wein (*Vitis vinifera*) gehört zu den Rankern. Er bildet kleine Ranken am Spross, die sich fest um das Seil wickeln. An den Metallstreben und am Geländer können sie sich nicht halten. Das Kletterseil dagegen nimmt sie gut an.

Bau

Ist die Entscheidung für eine Fassadenbegrünung gefallen, gibt es folgende Varianten:

- Kletterpflanzen (ebenerdig ohne Kletterhilfe – Verwendung von Selbstklimmern)
- Kletterpflanzen (ebenerdig mit Kletterhilfen)
- Kletterpflanzen als Kübelbegrünung (mit Kletterhilfen)
- Fassadenbegrünung mit Vegetationselementen/keine Kletterpflanzen

Die Ausführungsplanung sollte einem geeigneten Fachbetrieb vorbehalten bleiben, um die entsprechenden Normen und Vorschriften zu berücksichtigen^{27, 35, 36, 37}. Nur so sind die entsprechenden Gewährleistungen möglich.

Befestigungen von Kübeln: Je besser die Kübel in die Fassadenkonstruktion integriert sind, desto weniger können statische Probleme auftreten. Gebäudeintegrierten Lösungen ist in jedem Fall der Vorrang gegenüber nachträglich montierten Kübeln zu geben.

Links: Beispiel einer langfristig stabilen Kletterhilfe aus Edelstahl

Rechts: Mit Kletterpflanzen können Räume – Innen- wie Außenräume – vegetationstechnisch gefasst werden



Befüllung der Pflanztröge



Tab. 2
Empfehlungen für
Fassadenbegrünung
in Pflanzkübeln

| Bereich | Auswahl |
|------------------------------|--|
| Geeignete Pflanzenarten | Vorzugsweise Gerüstkletterpflanzen mit begrenztem Größenwachstum. |
| Mindestgröße für Pflanzkübel | So groß wie möglich, etwa 1 m ³ Substrat für verholzende Kletterpflanze wäre ideal. In Singapur wird eine Breite und Tiefe von jeweils 0,5 m vorgeschrieben, vorher gilt es nicht als Kübelbegrünung. Die FLL hat bisher keine Mindestgrößen definiert. Begrünungen in Kübeln sind mit einer Kübeldämmung zu versehen. |
| Substrat | Substrate der extensiven Dachbegrünung nach FLL ¹⁸ mit einem geringen Anteil an organischer Substanz. Bei der Realisierung einer Anstaubewässerung ist als zusätzliche Anforderung eine hohe Kapillarität von Substrat wie auch Filtervlies von Bedeutung. |
| Bewässerung | Automatisiert, Anstaubewässerung mit regelmäßiger Funktionskontrolle oder automatischer Verbrauchsmessung; Tröpfchenbewässerung hat die Tendenz des Verstopfens und Versinterns, im Substrat verlegte Leitungen sind schlecht kontrollierbar; unterschiedlicher Wasserbedarf je nach Himmelsrichtung, Pflanzhöhe, Pflanzenart. Möglichst individuelle Steuerung einzelner Pflanzkübelgruppen. |
| Düngung | Regelmäßig kleine Mengen (NPK = Stickstoff, Phosphor, Kalium und Spurennährstoffe) in der Wasserversorgung, Flüssigdünger ist Festdünger vorzuziehen. Bei Regenwassernutzung ist Nitrat als Stickstoffquelle dem Ammonium vorzuziehen. Ammonium führt im basenarmen Regenwasser zur Versauerung. Es ist außerdem auf eine stickstoffreduzierte Düngung gegenüber Phosphor und Kalium zu achten, da Regenwasser bereits Nitrat enthält. |
| Pflanzenschutz | Rechtzeitige Kontrollen, gesunde Pflanzen sind weniger anfällig, allerdings stellt ein Kübelstandort immer einen Extremstandort dar, der schädlingsanfällig ist. Auswahl der Mittel nach den jeweils gültigen Sicherheitsbestimmungen für den Arbeitsplatzschutz, da die Stoffe sehr leicht über die Fenster in die Gebäude gelangen können. Eine Belastung für die Gebäudenutzer ist auszuschließen. Die Verwendung von „Nützlingen“ sollte chemischen Verfahren gegenüber der Vorzug gegeben werden. |

Zum Bau gehört auch die Erstbepflanzung der Begrünung. Zu den bekanntesten Kletterpflanzen gehören die in der nachfolgenden Tabelle genannten Gattungen und Arten. In der nachfolgenden Tabelle wird eine Kurzeinschätzung zum Wuchsort und zum Pflegeaufwand gegeben: Efeu ist die bekannteste

Kletterpflanze. Als Selbstklimmer mit stark lichtfliehenden Trieben wurde sie beim Projekt Physikgebäude Adlershof nur auf den Betonflächen eines frei stehenden Lüftungskanals verwendet.

Tab. 3
Übersicht häufiger und
geeigneter Kletterpflanzen

| Art | Abbildung | Klettermodus/ Eignung | Standort, Empfehlungen | Pflegeaufwand |
|---|---|-----------------------------------|---|--|
| Efeu <i>Hedera helix</i> |  | Wurzelkletterer | Halbschatten bis Schatten. Nur für massive, große Fassaden zu empfehlen. | Hoch, 2–3 x im Jahr Rückschnitt empfohlen. Kann ebenfalls vor dem Gebäude in die Fläche wuchern. |
| Blauregen <i>Wisteria sinensis</i> |  | Schlinger | Sonnig bis Halbschatten. Massive Kletterhilfe erforderlich, (z. B. Edelstahlprofile) | 2–3 x im Jahr starker Rückschnitt notwendig. |
| Trompetenblume <i>Campsis radicans</i> |  | Wurzelkletterer, Spreizklimmer | Sonnig, warm, geschützt, keine Stau-nässe. Kletterhilfe erforderlich, dekorativer Rahmen für Südportale | Moderater Rückschnitt |
| Wilder Wein <i>Parthenocissus tricuspidata</i> |  | Haftscheiben- kletterer | Massives Mauerwerk, große Gebäude | Sehr wenig Pflege erforderlich. |
| Echter Wein <i>Vitis</i> div. Sorten |  | Sprossranker | Sonnig, warm, geschützt. Dekorativ an Spalieren, weniger zur flächigen Begrünung | 2–3 x im Jahr ist ein Schnitt erforderlich. |

| Art | Abbildung | Klettermodus/ Eignung | Standort, Empfehlungen | Pflegeaufwand |
|--|---|-----------------------------------|--|---|
| Heckenkirsche <i>Lonicera div.</i> |  | Schlinger | Lichter Schatten bis Halbschatten, hohe Luftfeuchte, kalkfrei, Hitze und Trockenheit nicht verträglich. Dekorative Blüten, in gelb oder rot, an Pergolen | Rückschnitt erforderlich |
| Kletter-Hortensie <i>Hydrangea petiolaris</i> oder <i>H. anomala ssp. petiolaris</i> |  | Wurzelkletterer, Spreizklimmer | Kühle, feuchte Lagen, halbschattig, saurer Boden. Langsam wachsend, dekorative Scheinblüten. | Lichtfliehende Triebe, Rüsselkäferbefall möglich. Triebe sind aufgrund schlechterer Klettereigenschaften zu führen. |
| Waldrebe <i>Clematis spec.</i> |  | Blattstielranker | Sonnig, wärmeliebend, trockenheitsverträglich, z. T. windgeschützter Standort erforderlich. | Im unteren Bereich schnell verkahlend. |
| Pfeifenwinde <i>Aristolochia macrophylla</i> |  | Schlinger | Sonnig bis Halbschatten, windgeschützt, nährstoffreich. Mittlere Wuchshöhen. | Ausreichend feuchter Boden erforderlich, kann üppig werden, muß z. T. im Wuchs gelenkt werden. |

Pflanzarbeiten

Für gehölzartige Kletterpflanzen gelten die FLL-„Gütebestimmungen für Baumschulpflanzen“³⁸, für staudenartige Kletterpflanzen gelten die FLL-„Gütebestimmungen für Stauden“³⁹. Es ist weiterhin die DIN 18916 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten“³⁶ zu beachten.

Die Triebe der Kletterpflanzen müssen voneinander gelöst und fächerförmig an die zu begrünenden Flächen bzw. Kletterhilfen herangeführt und artgerecht daran befestigt werden. Die Befestigungen müssen regelmäßig kontrolliert und nach Bedarf entfernt, gelockert oder erneuert werden, um ein Einschneiden bzw. Herabfallen von Trieben zu verhindern.

Offene Vegetationsflächen sollten gemulcht oder unterpflanzt werden. Bei der Unterpflanzung ist zu bedenken, dass sie eine Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe bedeuten kann. In der Abbildung links ist das Beispiel einer Unterpflanzung mit Funkien (*Hosta spec*) zu sehen.



Hosta spec. Funkien bilden hier eine üppige Unterpflanzung der Fassadenbegrünung im Kübel.

Bodenarbeiten

Für Boden- und Pflanzarbeiten ist DIN 18915 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten“³⁵ zu beachten.

Ungeeigneter Boden in ebenerdigen Standorten muss ausgetauscht bzw. verbessert werden. Die Pflanzlöcher müssen ausreichend groß sein (mind. 0,5 m² groß und 0,5 m tief, durchwurzelbarer Raum mind. 1 m³). Sie sollten für mehrere Pflanzen als zusammenhängender Pflanzstreifen angelegt werden. Dieser muss dauerhaft luft- und wasserdurchlässig sein. Versiegelte Flächen sollten auf ein Minimum begrenzt werden, Beläge um die Pflanzungen sind dauerhaft luft- und wasserdurchlässig auszuführen.

Betrieb und Wartung

Um den funktionsfähigen Zustand langfristig zu erhalten, sind regelmäßige Überprüfungen der technischen Komponenten der Fassadenbegrünung erforderlich. Dazu gehören die Befestigungsteile der Pflanzkübel, die Kletterhilfen sowie die Einrichtungen der Bewässerung und Düngung.

Die Entwässerung ist auf Verstopfungen hin zu überprüfen. Der Pflanzenschutz sollte nur nach Augenschein und als gezielte Maßnahme erfolgen um den Mitteleinsatz auf das absolut notwendige Mindestmaß zu begrenzen.

Die FLL-Richtlinie²⁷ hat bisher noch keine generalisierten Aussagen zur Pflege verabschiedet. Es fehlen bisher Richtwerte für Fassadenbegrünungen. Das Projekt „Physikgebäude Adlershof“ ist in diesem Zusammenhang hilfreich gewesen. Hier sind erste Näherungswerte für die Pflege von Kübelbegrünungen ermittelt worden. Es hat sich gezeigt, dass etwa drei bis vier Pflegedurchgänge in der Vegetationsperiode erforderlich und ausreichend sind. Die Einschätzung des erforderlichen Zeitaufwandes musste aber regelmäßig nach oben korrigiert werden, da die Zugänglichkeit auch bei diesem bewusst mit Fassadenbegrünung gebauten Projekt nicht an allen Fassaden unproblematisch möglich ist.

Die Anzahl der Pflegegänge bei Living-Wall Systemen sind in Abhängigkeit der Art der Bepflanzung vergleichbar zu denen von aufwändigen Stauden- und Sommerblumenbepflanzungen. Eine wöchentliche Kontrolle ist erforderlich. Weiterer Arbeitsaufwand regelt sich nach den gestalterischen Ansprüchen an die Begrünung.

Pflegemaßnahmen

Alle Pflegemaßnahmen sind von kompetenten Mitarbeitern einer Fachfirma durchzuführen. Dabei ist die DIN 18919 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen“³⁷ zu beachten. Schnittmaßnahmen und das Befestigen der Bepflanzung an Kletterhilfen muss den pflanzenspezifischen Anforderungen entsprechen. Für hochwertige Bepflanzungen, wie beispielsweise einer Kübelbegrünung, muss Fachpersonal eingesetzt werden, die die Grundregeln der Bauwerksbegrünung beherrscht und nachweislich Erfahrung besitzt⁴⁰.

Bewässerung

Die Bewässerung sollte, insbesondere bei größeren Pflanzungen und bei Kübelbepflanzung, automatisch erfolgen und ihr einwandfreies Funktionieren regelmäßig kontrolliert werden. Es wird empfohlen, die Bewässerung mit einer kontinuierlichen Überwachung des Wasserverbrauchs durch die Steuerung zu kombinieren. Hierdurch ist der Wasserbedarf auch für einzelne Bewässerungsabschnitte zu kontrollieren und auf Fehlsteuerungen zu überprüfen.

Düngung

Die Düngung muss, insbesondere bei größeren Pflanzungen und bei Kübelbepflanzung, automatisch erfolgen und ihr einwandfreies Funktionieren regelmäßig kontrolliert werden. Für die Auswahl der Dünger sind die Ansprüche der jeweiligen Pflanzen, die Eigenschaften des Substrates bzw. des anstehenden Bodens sowie die Qualität des Bewässerungswassers zu berücksichtigen. Bei Anstaubbewässerung ist eine Flüssigdüngergabe mit der Bewässerung erforderlich. Eine Düngung von oben auf das Substrat wäre aufgrund der umgekehrten Bodenwasserbewegung nicht effektiv. Handelsübliche Flüssig-Volldünger (NPK = Stickstoff, Phosphor, Kalium und Spurennährstoffe) bieten, über entsprechende Dosiereinheiten eingebracht, eine sichere und wenig arbeitsintensive Lösung. Bei einer Bewässerung mit basenarmem, jedoch nitrathaltigem Regenwasser ist ein stickstoffreduzierter Dünger auf Nitratbasis zu empfehlen. Ammonium als Stickstoffquelle würde im ionenarmen Wasser zur Versauerung führen. Ab Ende Juli sollte keine Düngung mehr durchgeführt werden, da dies die Aushärtung der Pflanzentriebe und deren Frosthärte beeinträchtigen würde.



Gut entwickelte Fassadenbegrünung in Kübeln, das Projekt Physikgebäude Berlin-Adlershof im Jahr 2006

Eine „Living Wall“ Testinstallation in Australien



Hydrangea petiolaris und Lonicera periclymenum Kletterhortensie (Hydrangea) (Kletterhortensie, links) braucht als Spreizklimmer eher waagerechte Strukturen. An den Seilen muss sie dauerhaft festgebunden werden.

Wald-Geißblatt (Lonicera, rechts) als Schlinger kommt gut mit den Seilen zurecht. Die Abstände zwischen den Seilen sind hier jedoch zu groß und die Pflanzen müssen hin und wieder daran geführt werden.



Auf diesem schwerzugänglichen Pflanzkübel konnten sich Unkräuter etablieren. Sie stellen in den relativ kleinen Pflanzkübeln eine

starke Konkurrenz zu den Kletterpflanzen und dem gepflanzten Unterwuchs dar.

Führen und Festbinden von Pflanzen

Es muss mindestens zweimal jährlich die dauerhafte Befestigung kontrolliert und nach Bedarf erneuert werden. Die Kontrollen der Befestigungen lassen sich leicht in die regelmäßigen Pflegegänge integrieren. Daraus sich ergebene Maßnahmen sind je nach Bedarf durchzuführen. Die kurzzeitigen Befestigungen, das Führen der neuen Triebe an die Rankhilfen sowie das Entfernen von nicht mehr erforderlichen Befestigungen soll nach Bedarf zwei- bis viermal jährlich durchgeführt werden (z. B. im Mai, Juni, August, Oktober).

Pflanzenschnitt

Ein Rückschnitt ist unbedingt erforderlich im Bereich von technischen Einrichtungen (Regenfallrohre, Markisen, Rollädenkästen, Blitzschutzeinrichtungen, Antennenkabeln, Bewässerungsleitungen etc.) sowie Fenstern, Dachtraufen und Lüftungsöffnungen.

Schnittmaßnahmen zur Unterhaltungspflege sind nach Zeitpunkt, Häufigkeit und Ausführung dem jeweiligen Begrünungsziel und den Pflanzenarten anzupassen. Detaillierte Informationen sind den einzelnen Arten entsprechend der Literatur zu entnehmen^{27, 32, 33, 50, 51}.

Pflanzenschutz

Eine dem Standort nicht optimal angepasste Bepflanzung sowie unzureichende Wasser- und Nährstoffversorgung begünstigen das Auftreten von Schadorganismen wie z. B. Dickmaulrüssler und dessen im Boden lebende Larven, Blattläuse, Milben, Minierfliegen, Thripse und Zikaden sowie Pilzkrankungen, z. B. Mehltau. Daher sind zwei bis drei Begehungen von im Pflanzenschutz fachkundigen Personen im Jahr erforderlich, um den Befall durch tierische und pilzliche Schadorganismen zu erfassen und fachlich korrekte Bekämpfungsmaßnahmen durchführen zu können. Eine kontinuierliche Qualifizierung der Pflegemitarbeiter ist zu empfehlen⁴⁰.

Eine Schädlingsbekämpfung sollte nur nach Bedarf durchgeführt werden. Wenn möglich, ist auf Pestizide weitgehend zu verzichten, wenn z. B. Schaderreger auch mit Nützlingen (z. B. Raubmilben gegen Spinnmilben, insektenpathogene Nematoden gegen Larven des Dickmaulrüsslers) unschädlich gemacht werden können.

Über günstige Zeitpunkte der Begehungen sowie über Maßnahmen des Pflanzenschutzes können Auskünfte, z. B. beim Pflanzenschutzamt Berlin, eingeholt werden.

Entfernen von „Unkraut“

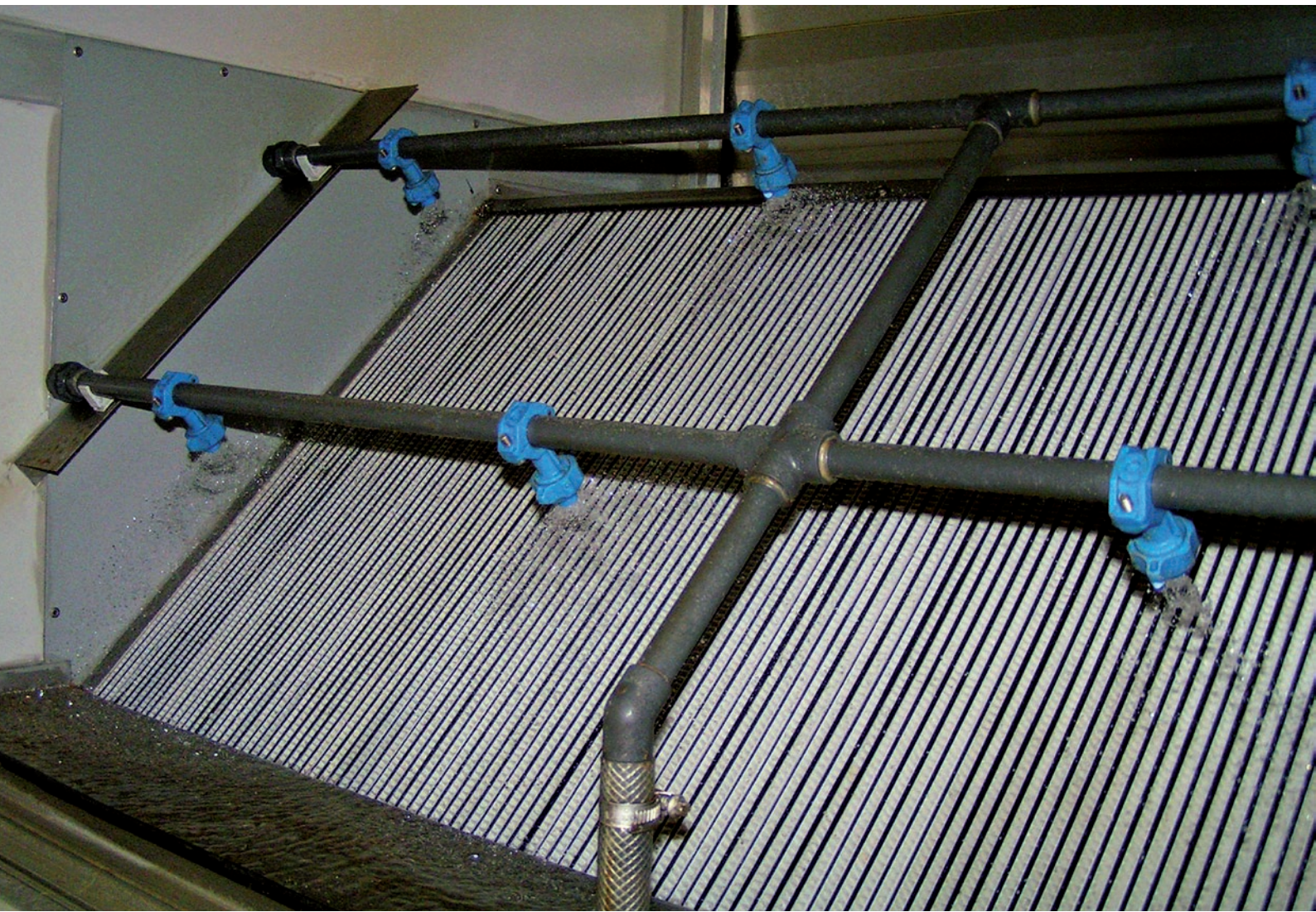
Viermal jährlich sind unerwünschte Kräuter, Stauden und Gehölze zu entfernen, z. B. im Mai, Juni, August und Oktober. Damit sind unbedingt fachkundige Personen zu betrauen, die über eine entsprechende Artenkenntnis verfügen. „Unkraut“ muss insbesondere vor der Ausbildung der Samen entfernt werden.

Unkräuter treten gegenüber den Fassadenpflanzen direkt als Konkurrenz auf und sollten entfernt werden. Es ist weiterhin nicht ausgeschlossen, dass sich Schadorganismen unkontrolliert entwickeln und auf die Bepflanzung übergehen können⁴⁰.

Für jedes Projekt muss ein individueller Arbeitsplan abgestimmt werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Eindruck zu den Zeitpunkten und dem Umfang von Pflege- und Wartung am Physikgebäude Adlershof. Diese kann als Muster für vergleichbare Projekte angesehen werden, da bisher vergleichbare Informationen in der Literatur fehlen. In der Summe ergibt sich ein Arbeitsumfang von 152 Stunden pro Jahr für 300 Kletterpflanzen in 150 Pflanzkübeln sowie 75 erdgebundene Pflanzen.

Tab. 4
 Jährliche Pflege- und
 Wartungsumfänge am
 Beispiel Physikgebäude
 in Berlin-Adlershof

| | April/Mai | Juni/Juli | September | November | Zeitungfang |
|--|---|--|--|---|---|
| 1. Allg. Bestandskontrolle sowie Systemkontrolle der Bewässerungsanlage | Inbetriebnahme der Bewässerung | Überprüfung der ordnungsgemäßen Versorgung aller Kübel, Vitalität der Pflanzen | Überprüfung der ordnungsgemäßen Versorgung aller Kübel, Vitalität der Pflanzen | Entleerung der Bewässerungsanlage | Je 2 Std. pro 2. u. 3. Termin, 8 Std. pro Termin 1 und 4 20 h |
| 2. Wartung/Mängelbeseitigung (Magnetventile, Schwimmerschalter, Dichtigkeit) | Beseitigung von Undichtigkeiten, Austausch von Magnetventilen | | Reinigung der Schwimmerschalter | | 4 Std. Wartung, 12 Stunden Instandsetzung 16 h |
| 3. Nährstoffversorgung | kontinuierlich mit dem Bewässerungswasser | | | | Systemkontrolle 4 h |
| 4. Schnittmaßnahmen 4.1 Rückschnitt 4.2 Ausdünnung | | Schnitt bei Wisteria | | Winterschnitt bei Vitis, ggf. Entfernung abgestorbenen Zuwachses, 2 Schnitt bei Wisteria. | 4 – 8 Std. pro Termin 12 h |
| 5. Befestigung überprüfen, Entspannung | | X Entspannung bei Wisteria | | X Entspannung bei Wisteria | 8 h |
| 6. Nachpflanzung | | | X | | 10 h |
| 7. Pflanzenschutz | kontinuierlich | | | | 40 h |
| 8. Beseitigung von Unkraut/Unrat | X | X | X | | 14 Std. pro Termin 42 h |



Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

Für Deutschland wird nach einer EU-Studie mit einer Zunahme an klimatisierter Fläche auf das zwölfwache im Zeitraum 1990 bis 2020 gerechnet⁴¹. Hieraus ergibt sich eine prognostizierte Zunahme des Energieverbrauchs um 225% in diesem Zeitraum. Der spezifische Energieverbrauch für Strom, Wärme und Kälte liegt für Bürogebäude deutschlandweit bei etwa 500 kWh/m² und Jahr. „... Werte von bis zu 1000 kWh/m²a sind keine Seltenheit.“⁴² Der Gebäudekühlung kommt bei Gebäuden mit hoher technischer Ausstattung und damit hohen Stromverbräuchen eine Schlüsselrolle zu. Zudem werden die Anforderungen an den sommerlichen Sonnenschutz bei der Gebäudehülle oft nur unzureichend oder gar nicht erfüllt. Häufige Ursache für hohe Energieverbräuche im Sommer liegen z. B. in großen Glasfassaden, die nur unzureichend mit einem außen liegenden Sonnenschutz ausgestattet sind, sowie in der fehlenden nächtlichen Auskühlung. Diese ist begründet durch fehlende nächtliche Lüftung und mangelnde Speichermassen innerhalb der Gebäudehülle, durch abgehängte Decken bzw. die nicht vorhandenen Speichermassen bei Glasfassaden.

Während in den Wintermonaten die solare Einstrahlung und die Abwärme aus der technischen Gebäudeausstattung über eine Wärmerückgewinnung genutzt werden kann bzw. den Heizenergiebedarf direkt reduziert, ist diese Wärme in den Sommermonaten mit möglichst geringem primärenergetischen Aufwand an die Atmosphäre abzugeben. Das am weitesten verbreitete Konzept ist Kompressionskälte aus Strom.

Ein weiteres Konzept ist die Kühlung aus Solarenergie („solare Kühlung“) oder KWK-Abwärme (Fernwärme bzw. dezentrale BHKW's) über Absorptionskältemaschinen. Dieses zunächst sinnvoll erscheinende Konzept, aus nicht nutzbarer KWK-Abwärme oder solarer Wärme im Sommer Kälte zu generieren, kann jedoch zu extrem hohen Betriebskosten führen.

Gründe hierfür sind:

- der Wirkungsgrad der Anlagen (Kälteproduktion im Verhältnis zur benötigten Wärme) mit 40 bis 70%
- Zirkulationsverluste innerhalb eines Gebäudes (bis zu 70%) aufgrund von großen Leitungsquerschnitten bei kleiner Temperaturspreizung
- Kosten für Wasser, Abwasser und Salz bei der Rückkühlung
- Kosten für Wartung und Reparatur
- Stromkosten für die benötigte Antriebsenergie der Anlagen, der Rückkühlung und der Zirkulation

Die Bedeutung der Verdunstung von Wasser

Die Verdunstung von Wasser stellt die einzige Form einer realen Kühlung dar. Bei der Verdunstung von Wasser werden 680 kWh/m^3 an Energie verbraucht. Dieser Wert bezieht sich auf die Verdunstung bei 30°C . Bei 100°C sind es 630 kWh/m^3 . Damit ist die Verdunstung global gesehen auch die größte energetische Komponente der Umwandlung der solaren Einstrahlung. Fehlt die Verdunstung, wie in urbanen Räumen, wird die Solarstrahlung statt in die Verdunstung von Wasser in sensible Wärme und langwellige Strahlung umgesetzt. Gebäude in Städten sind von diesem urbanen Hitzeinseleffekt betroffen; innere Wärmelasten werden in den Sommermonaten nicht ausreichend abgeführt. Die Lösung ist in der Regel eine Klimaanlage, bei der die Kälte meist technisch über Strom erzeugt wird. In der Gesamtbilanz entsteht hierbei allerdings nicht Kälte im eigentlichen Sinne, sondern es findet eine Verschiebung von Energie statt. Wärme wird über eine Wärmepumpe einer Seite entzogen und auf ein anderes Medium übertragen. Da hierbei Strom verbraucht wird, wird mehr Wärme erzeugt als Kälte. Der Wirkungsgrad dieses Prozesses ist abhängig vom Wirkungsgrad der Anlagen und liegt in der Regel zwischen 1,8 und 4,0. Gebäude über Strom zu kühlen verschärft das Problem der urbanen Hitzeinsel.

Die einzige Lösung Wärme real abzuführen, ist die Verdunstung von Wasser. Die Energie wird hierbei latent gebunden und transportiert. Sie wird dort wieder freigesetzt, wo der Wasserdampf kondensiert, in der Regel in der Atmosphäre bei der Wolkenbildung. Dort wird die Energie langwellig in den Weltraum abgestrahlt bzw. gelangt als Teil der atmosphärischen Gegenstrahlung langwellig wieder auf die Erdoberfläche. Der sogenannte Treibhauseffekt ist eine fiktive populärwissenschaftliche Erklärung und besteht in der Realität aus einem komplexen Wechselspiel von langwelligem, kurzwelligem und latenten Energietransportprozessen zwischen Erdoberfläche, Atmosphäre und Weltraum.

Der mit Abstand größte Einfluss auf das lokale Klima resultiert aus der Landnutzung. Insbesondere urbane Gebiete stellen hierbei den größten „Eingriff“ durch Versiegelung und Mangel an Vegetation dar.

In Städten kann das von Dachflächen und sonstigen versiegelten Flächen ablaufende Regenwasser gesammelt und zur Gebäudekühlung genutzt werden. Um die Luftfeuchtigkeit innerhalb eines Gebäudes nicht zu erhöhen und auch keine hygienischen Risiken durch einen Verdunstungsprozess in der Raumluft einzugehen, bietet sich die indirekte Verdunstungskühlung an. Hierbei wird Wasser nicht in die Zuluft zum Gebäude versprüht, sondern in die Abluft, bevor diese das Gebäude verlässt. Hierbei wird die Abluft beispielsweise von 26°C auf 16°C abgekühlt. Über einen Wärmetauscher (Luft zu Luft, meist als Plattenwärmetauscher realisiert) wird die Zuluft mit der Abluft vorgekühlt, ohne dabei direkt miteinander in Kontakt zu treten (Abbildung rechts). Der Wärmetauscher ist in der Regel derselbe, der im Winter für die Wärmerückgewinnung genutzt wird. Man spricht bei dieser Art der Gebäudeklimatisierung von einer „adiabaten Abluftkühlung“.

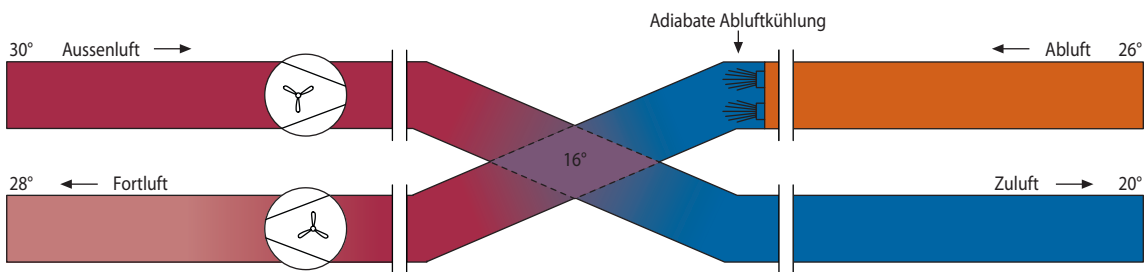
Klimaanlage mit adiabater Abluftkühlung über Regenwassernutzung



Grundlagen der adiabaten Abluftkühlung Funktionsprinzip

Basis der adiabaten Abluftkühlung ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Herzstück ist ein Luft zu Luft Wärmetauscher, der beispielsweise als Plattenwärmetauscher die Abluft von der Zuluft trennt, die Wärme oder Kälte aber überträgt. Im Winter werden Plattenwärmetauscher für die Wärmerückgewinnung aus der Abluft benötigt. Im Sommer kann derselbe Wärmetauscher bei der Kühlung eingesetzt werden. Alle Hauptkomponenten der adiabaten Abluftkühlung sind damit ohnehin vorhanden, die einzige zusätzliche Komponente ist die Befeuchtung der Abluft über ein Betriebswassersystem, bevor die Abluft den Wärmetauscher passiert. Als Betriebswasserressource kann Regenwasser genutzt werden.

Die Verdunstung von Wasser zur Gebäudeklimatisierung ist eine kostengünstige und effektive Methode. Bei Außentemperaturen von bis zu 30°C kann die Zuluft auf 20 bis 22°C gekühlt werden, ohne auf technisch erzeugte Kälte zurückgreifen zu müssen. Auch bei höheren Außentemperaturen kann eine erhebliche Energieeinsparung erzielt werden. Bei 38°C Außentemperatur besteht eine Energieeinsparung bei einer untersuchten Anlage von etwa 70% gegenüber konventionellen Systemen. Bei der Planung von Gebäuden kann daher durch die Kombination der adiabaten Abluftkühlung mit Maßnahmen der passiven Gebäudekühlung, wie Fassaden- und Dachbegrünung sowie dem Konzept der Nachtauskühlung, ein vollständiger Verzicht auf konventionelle Kälteversorgung erzielt werden.

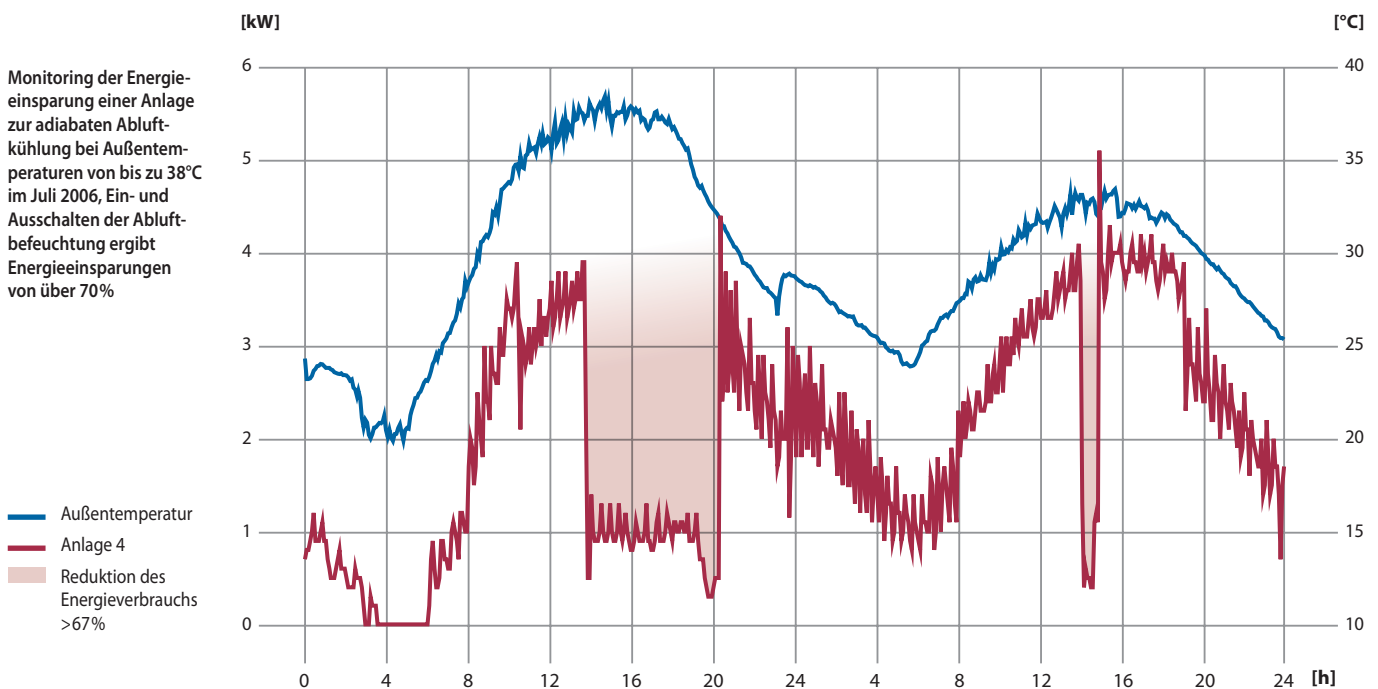


Das Prinzip der adiabaten Abluftkühlung in Klimaanlagen. Die enthaltenen Temperaturen dienen beispielhaft der Darstellung des Prozesses der Abluftkühlung und stellen nur eine Variante der möglichen Betriebszustände dar.

In der unten aufgeführten Abbildung ist die Energieeinsparung dargestellt, die sich durch die adiabate Abluftkühlung am heißesten Tag der Jahre 2005 bis 2008 ergab. Zur Sicherstellung der Funktionalität sind die Lüftungsanlagen in diesem untersuchten Demonstrationsobjekt mit einem konventionellen Erhitzer und Kühler ausgestattet. Das kalte Wasser wird in diesem Fall über zwei Absorptionskältemaschinen aus Fernwärme bereitgestellt. Die adiabate Abluftkühlung dient der Einsparung von Betriebskosten, die sich aus dem konventionellen Kühlungskonzept ergeben (Fernwärme, Wasser, Abwasser, Salz). Die Effizienz der adiabaten Abluftkühlung lässt sich überprüfen durch das An- bzw. Abschalten der Befeuchtung. Die Zuluft wird hierbei automatisch auf ein konstantes Temperaturniveau geregelt.

Bei der Regenwassernutzung als Ressource für die adiabate Abluftkühlung sind weitere Synergien zu erzielen, da Regenwasser einen geringen Salz-/Kalkgehalt aufweist. Bei der Verwendung von Regenwasser anstelle von Trinkwasser in den Klimaanlagen wird zugleich Wasser und Abwasser gespart. Zudem wird Regenwasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf Niederschlag-/Verdunstung zurückgeführt. Dies hat erhebliche positive Auswirkungen auf das lokale Mikroklima und reduziert durch die Initiierung von Verdunstungs- und Kondensationsprozessen das Phänomen der globalen Erwärmung. Während konventionell Kälte durch die Nutzung von Strom mit einem schlechten Wirkungsgrad erzeugt wird und das Problem der urbanen Hitzeinsel hierbei verschärft, verbessert die adiabate Abluftkühlung das Mikroklima im

Energieverbrauch mit bzw. ohne adiabater Abluftkühlung



Gebäudeumfeld. Auch die sog. „solare Kühlung“ hat gegenüber der adiabaten Abluftkühlung erheblich höhere Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten zur Folge, der Wasserverbrauch und die Absalzung zur Rückkühlung beträgt innerhalb des Prozesses etwa das achtfache gegenüber der adiabaten Abluftkühlung. In der konventionellen Kältebereitstellung treten zudem erhebliche Zirkulationsverluste auf, die in bislang untersuchten Systemen mehr als 50% der bereitgestellten Kälte betragen. Dies ist bedingt durch die geringe Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei der Kältebereitstellung von beispielsweise 4/8°C oder 6/12°C und die damit verbundenen größeren Rohrleitungsquerschnitte und Fließmengen, verglichen zur Zirkulation von Warmwasser. Zirkulationsverluste entfallen bei der adiabaten Abluftkühlung, da die Kälte direkt in der Lüftungsanlage erzeugt wird.

Eine besonders hohe Effizienz kann durch die sogenannte Wiederbefeuchtung der Abluft innerhalb des Wärmetauschers erzielt werden. Hierbei wird der Verdunstungsprozess kontinuierlich in der Abluft durchgeführt. Im Idealfall verlässt die Abluft den Wärmetauscher im Temperaturniveau der Aussenluft bei einer Luftfeuchte von 100%.

Nutzung von Regenwasser bei der adiabaten Abluftkühlung

Die adiabate Abluftkühlung hat sich insbesondere durch die Verwendung von Regenwasser als besonders gute Alternative zu einer konventionellen Gebäudekühlung erwiesen. Hintergrund für die erhebliche Betriebskosteneinsparung ist:

1. Regenwasser hat eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit als Indikator für einen sehr geringen Salzanteil. Gegenüber der Verwendung von Trinkwasser zur Erzeugung von Verdunstungskälte wird nur halb soviel Wasser benötigt und kein Abwasser erzeugt.
2. Die Verdunstung von Wasser ist energetisch extrem positiv zu bewerten. Bei der Verdunstung eines Kubikmeters werden etwa 680 kWh an Verdunstungskälte erzeugt. Gegenüber der Verwendung von Strom oder Fernwärme zur Gebäudekühlung ergibt sich ein Einsparpotenzial 70 bis 90% pro Jahr. Das Einsparpotenzial ist primär abhängig von der Innenraum- bzw. Abluftfeuchte sowie der technischen Realisierung der Anlage.

Sollte Trinkwasser bei der adiabaten Abluftkühlung Verwendung finden, ist das regelmäßige Absalzen erforderlich, um Kalkablagerungen am Wärmetauscher und den Düsen zu vermeiden. Es bietet sich an, das entstehende Abwasser in einem weiteren Betriebswasserkreislauf, beispielsweise für die Toilettenspülung, zu verwenden. Grundsätzlich sind weitere Verbraucher bei der Betriebswassernutzung parallel zur adiabaten Abluftkühlung sinnvoll, da die Anlage nur zeitweise im Sommer in Betrieb ist.

Durch eine intelligente Steuerung sollte der Abluftkühlung Vorzug bei der Betriebswassernutzung gegenüber anderen Verbrauchern eingeräumt werden. Beispielsweise ist die Toilettenspülung oder Bewässerung von Grünanlagen vorzeitig auf Trinkwassernutzung umzustellen, um Regenwasser für einen längeren Zeitraum für die Abluftkühlung zur Verfügung zu stellen. Die Trennung der Verbraucher erfordert zwei getrennte Betriebswassersysteme mit unabhängigen Druckerhöhungsanlagen.

Planung und Bau

Stand der Technik, Regelwerke

Bei der Planung einer Gebäudekühlung über eine Lüftungsanlage ist die DIN EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme“⁴⁸ zu berücksichtigen. Für die adiabate Abluftkühlung existieren derzeit keine weitergehenden technischen Regeln. Gegenüber einer konventionellen Gebäudekühlung über Lüftungsanlagen fehlt bei der adiabaten Abluftkühlung die Entfeuchtung der Zuluft. Dies ist bedingt durch die geringeren Temperaturunterschiede zwischen vorgekühlter Abluft und der Zuluft im Vergleich zu einem Kühler, der beispielsweise mit 4°C Vorlauftemperatur operiert. Hierbei wird der Taupunkt der Zuluft unterschritten und die Luft (unter Aufwendung von Energie auch für die latente Wärme) getrocknet. Sollte aus Gründen der Behaglichkeit auf eine Trocknung der Zuluft nicht verzichtet werden können, ist eine energieoptimierte Variante die Entfeuchtung über Salzlösungen. Die Salzlösung kann solar getrocknet werden. Als Solelösung hat sich Lithiumchlorid durchgesetzt.

Eine Weiterentwicklung der Entfeuchtung über Salzlösungen stellt das System „Watergy“ dar, das die hohen energetischen Potenziale in der Nutzung der latenten Wärmeenergie als Saisonspeicher zur Einlagerung der sommerlichen Wärmegewinne in den Winter zu Heizzwecken ermöglicht. In dieser Anwendung wird Magnesiumchlorid als Wärmeträgermedium verwendet, das vergleichsweise kostengünstig zur Verfügung steht. Die adiabate Abluftkühlung im Sommer kann hier über das Solesystem erfolgen, das im Winter wiederum der Gebäudeheizung dient (www.watergy.de).



UV-Desinfektion des Betriebswassers

Hygieneanforderungen

Für die Nutzung von Betriebswasser in Gebäuden gelten keine rechtlich formulierten Qualitätsanforderungen bzw. Anforderungen an die Überwachung. Als Orientierung für die Qualitätsziele des Betriebswassers für die adiabate Kühlung werden die in der Broschüre „Innovative Gebäudekonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden“ (Hrsg. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2003)¹ veröffentlichten Werte empfohlen.

- Für die Regenwassernutzung ohne Aufbereitung sind vor allem gering belastete, glatte Dachabdeckungen geeignet.
- Problemdächer (z. B. bevorzugte Vogelrastplätze) sind nicht oder nur mit entsprechender Aufbereitung an Regenwassernutzungsanlagen anzuschließen.
- Die Zusammensetzung der verwendeten Baustoffe für die Flächen, auf denen Regenwasser anfällt und gesammelt wird, ist zu beachten. So erzeugen z. B. unbeschichtete Metall- und einige Bitumendächer einen erhöhten Eintrag von Schwermetallen oder problematischen organischen Verbindungen. Sie sind nicht zu empfehlen.
- Bei Gründächern steht bedeutend weniger Niederschlagswasser für die Nutzung zur Verfügung. Eine geeignete Substratauswahl und Bepflanzung der Dachflächen trägt dazu bei, dass keine nennenswerten Einträge von Fremdstoffen oder mineralisierten organischen Verbindungen in die Zisterne erfolgen.

Aus Gründen der **hygienischen Absicherung** der adiabaten Abluftkühlung ist Vorsorge zu treffen, dass kein Kontakt des Betriebswassers und damit der Abluft zur Zuluft besteht. Hierfür sind mehrere Maßnahmen möglich:

- Um bei eventuellen Undichtigkeiten des Wärmetauschers den Übertritt von Abluft in die Zuluft zu verhindern, wird eine **Druckumkehr** innerhalb der Anlagen bei der Planung **empfohlen**. Dies bedeutet jeweils den Einbau von Schubventilatoren vor den Anlagen für die Zuluft, sodass ein Überdruck der Zuluft gegenüber der Abluft entsteht.
- Das **Betriebswasser** sollte (einmal täglich oder wöchentlich) **entleert** werden, sobald die adiabate Abluftkühlung außer Betrieb geht.
- **Zuluft und Abluft**/Fortluft sind außerhalb des Gebäudes möglichst weit voneinander **getrennt zu führen**, so dass die Fortluft nicht in die Zuluft übertreten kann.
- Für eine vollständige Trennung von Abluft und Zuluft ist in Substitution zu Plattenwärmetauschern auch ein **Wärmeträgermedium** möglich (z. B. Wasser). Die Effizienz der Kälteübertragung kann hierbei jedoch beeinträchtigt sein, ebenso das Verfahren der Wiederbefeuchtung innerhalb des Wärmetauschers.

Grundsätzlich wird zu den o.a. Maßnahmen der Sicherstellung der Trennung Zu-/Abluft eine UV-Desinfektion des Betriebswassers mit DVGW-geprüften/zertifizierten Anlagen empfohlen. Eine weitere UV-Entkeimung wird dezentral im Umlauf der Anlagen empfohlen, um eine mögliche Wiederaufkeimung auszuschließen. In die Anlagen zur adiabaten Kühlung sind Möglichkeiten zur Beprobung der Betriebswasserqualität einzubauen (kurzer Metallhahn mit Kugelventil). Diese Probenentnahmestelle kann gleichzeitig der manuellen Entleerung dienen.

Betrieb und Wartung

Zur Identifizierung von Fehlsteuerungen und zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen ist der Einbau von Wasser- und Energiemengenzählern bei der adiabaten Abluftkühlung zu empfehlen. Wenn möglich, sollten die Zählerleinrichtungen mit der Gebäudeleittechnik verbunden werden, um zeitlich hochauflösende Funktionsweisen erfassen und auswerten zu können. Es ist sowohl die Nachspeisung des Betriebswassers wie auch der Abschlag/die Absalzung zu erfassen. Zur Überprüfung der Effizienz der Abluftbefeuchtung sollen kombinierte Lufttemperatur-/Luftfeuchtefühler gemäß der folgenden Tabelle in die Lüftungsanlage integriert werden.

Um die Effizienz und die korrekte Funktion der Anlagen zu überprüfen, müssen insbesondere der Zeitpunkt der Betriebswassernachspeisung und der Abwasseranfall kontrolliert werden. Die regelmäßige Erfassung von Energiemengenzählern im Kühler und Erhitzer der Klimaanlage geben zudem Aufschluss über die Effizienz der Funktion und damit der Gesamt-Energieeinsparung.

Zur Reduzierung des Schmutzwasserentgelts ist die Regenwassermenge zu erfassen, die als Betriebswasser für die Abluftkühlung genutzt wird. Die Reduzierung des Niederschlagswasserentgelts aufgrund der Betriebswassernutzung ist den örtlichen Gegebenheiten entsprechend zu prüfen und zu beantragen.

Weitere Hinweise zu Planung, Bau, Betrieb und Wartung von raumluftechnischen Anlagen sowie hygienische Anforderungen an die Anlagen sind den VDI-Richtlinien 3803 und 6022 zu entnehmen.

| Größe | Parameter | Einheit |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|
| Außenluft | Temperatur | °C |
| Zuluft | Temperatur, Luftfeuchte | °C, % |
| Abluft | Temperatur, (Luftfeuchte) | °C, (%) |
| Fortluft | Temperatur, Luftfeuchte | °C, % |
| Betriebswassernachspeisung | Menge | m ³ |
| Abwasseranfall | Menge | m ³ |
| Leitfähigkeit des Betriebswassers | el. Leitfähigkeit | µS |

Tab. 5
Einbau von Zähl-, Meß- und Regeleinrichtungen, an einer Anlage zur adiabaten Abluftkühlung



Wanne mit Betriebswasser, über die die adiabate Abluftkühlung zirkuliert, Nachspeiseventil mit mechanischem Schwimmer im Vordergrund, Leitfähigkeitsmessung in der Druckleitung im Hintergrund

Literatur, Quellen

- 1** Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2003) „Innovative Wasserkonzepte, Betriebswassernutzung in Gebäuden“
- 2** DWA-Arbeitsblatt A 138 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2005): „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Hennef, 59 S.
- 3** DWA-Merkblattes M 153 (2007): „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“ Hennef, 40 S.
- 4** Niederschlagswasserfreistellungsverordnung NWFreiV vom 24.08.2001. Veröffentlicht im Gesetz- und Verordnungsblatt für Berlin, 57. Jahrgang, Nr. 37 vom 12.09.2001. <http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/nwfreiv.pdf>
- 5** Kravčík, M.; J. Pokorný, J. Kohutiar, M. Kováč, E. Tóth (2007): „Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm“. Municipalia. <http://www.waterparadigm.org/>
- 6** Schmidt, M. (2004) „Gebäudebegrünung als Element der Energieeinsparung und Regenwasserbewirtschaftung“. Wissenschaftliche Zeitschrift TU Dresden, 1 bis 2/2004. S.168 – 173.
- 7** SenStadt (2007): Faltblatt Ökologisches Bauen – Modellvorhaben Neubau Institut für Physik in Berlin-Adlershof. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/downloads/faltblatt_institut_physik.pdf
- 8** Schmidt, M. (2005) The interaction between water and energy of greened roofs. Proceedings world green roof congress, Basel, Switzerland, 15. bis 16.09.2005 <http://www.gebaeudekuehlung.de>
- 9** 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 <http://www.gebaeudekuehlung.de>
- 10** Knoll, Sören (2000): Das Abflussverhalten von extensiven Dachbegrünungen. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Berlin Nr. 136, Dissertation, 153 S.
- 11** Koalitionsvereinbarung Berlin zwischen SPD/PDS für die Legislaturperiode 2006 bis 2011
- 12** Köhler, M., M. Schmidt (1997): Hof-, Fassaden- und Dachbegrünung. Ergebnisse einer zwölfjährigen Begrünungsutopie. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 105, TU Berlin. 188 S. ISBN 3-7983-1757-7
- 13** Vortrag-Hofbegrünungsprogramm Berlin, Thomas Pawelec, Pflanzenschutzamt Berlin
- 14** Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2006) Ökologische Kriterien für Bauvorhaben/Wettbewerbe, Stand Juli 2006
- 15** Reichmann, B. (2009) Stadtökologische Modellvorhaben und Gebäudebegrünung in Dachbegrünung in der modernen Städtearchitektur. Tagungsband Internationaler Gründach-Kongress, Nürtingen 2009, S. 135 – 144
- 16** Köhler, M. (2006): Extensive Gründächer – Rechenbare Vorteile in der Eingriffseglung. Stadt + Grün 55 (9): 40 – 44.
- 17** Mann, G. (2008): Standardwissen Dachbegrünung. Garten und Landschaft, 1: 32 – 33
- 18** FLL (Hrsg.) (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2008): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen-Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn, Eigenverlag.
- 19** Appl, R. (1989): Rechenbare Vorteile begrünter Dächer. Proc. Internat. Dachgärtner Symposium. 10.01 bis 10.16.
- 20** Köhler, M. und Malorny, W. (2009): Wärmeschutz durch extensive Gründächer. In: Venzmer, H. (Europäischer Sanierungskalender 2009), Beuth (Berlin), 195 – 212.
- 21** Wong, N. H.; Tan, P. Y., Chen. Y.; (2007): Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. Building and Environment 42: 25 – 54
- 22** Krauter, S. (2006): Solar Electric Power Generation-Photovoltaik Energy Systems. Springer. Berlin, Heidelberg, 271 S.
- 23** Köhler, M., W. Wiartalla und R. Feige (2007): Positive Interaction Between PV-Systems and Extensive Green roofs. In: GRHC (ed.) The Green Roof Infrastructure Monitor. www.greenroofs.org. Spring 2007, p. 13 – 14.

- 24** FLL (Hrsg.) (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2005): Empfehlungen zu Planung und Bau von Verkehrsflächen auf Bauwerken, Bonn, Eigenverlag.
- 25** Blanc, P. (2008) Vertical gardens Norton, 192 S.
- 26** Köhler, M. (2008): Wenn Wänden Leben eingehaucht wird. Dach+Grün 17 (2): S. 26 – 31.
- 27** FLL (Hrsg.) (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2000): Richtlinie für Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. FLL, Bonn 2000, Regelwerk, 54 S.
- 28** FBB (Hrsg.) (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) (2008): Erstes Symposium Fassadenbegrünung, 59 p., <http://www.fbb.de/Aktuell/SympFassade08/Tagungsb-Fassaden2008.pdf>
- 29** Nakamura, K. (2008) Vertical Green Wall in Japan and Future Technology Development. Proc. CUGE Seminar, NPark, Singapore, Oct. 2008.
- 30** DIN 1989-1 „Regenwassernutzungsanlagen-Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung“. Beuth Verlags GmbH
- 31** DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau) (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblätter Nr. 238/1996. Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser, Bonn. 107 S.
- 32** Gunkel, Rita: Fassadenbegrünung. Ulmer, 2004
- 33** Günther, Harri: Klettergehölze. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1987
- 34** Köhler, Manfred (1993): Fassaden- und Dachbegrünung. Ulmer
- 35** DIN 18915 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten), 8/2002
- 36** DIN 18916 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten), 8/2002
- 37** DIN 18919 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen), 8/2002
- 38** FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2004): Gütebestimmungen für Baumschulpflanzen. FLL, Bonn 2004, 60 S.
- 39** FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2004): Gütebestimmungen für Stauden. FLL, Bonn 2004, 15 S.
- 40** Jäckel, B., Alt, S., Hess, E. (2008): Ergebnisse zum Gesundheitszustand der Objektbegrünung des Lise-Meitner-Zentrums (Institut für Physik der Humboldt-Universität); Pflanzenschutzamt Berlin, Bericht (unveröffentlicht)
- 41** EECCAC (2003): Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners. REPORT for the DGTREN of the Commission of the E.U, 2001, Volume 1, 52 pp.
- 42** Landesenergieprogramm Berlin 2006 – 2010: <http://www.berlin.de/sen/umwelt/klimaschutz/landesenergieprogramm>
- 43** UIS Berlin (2007): Digitaler Umweltatlas Berlin, Karte 01.02 Versiegelung (Ausgabe 2007). http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/db102_01.htm#A3
- 44** UIS Berlin (2007): Digitaler Umweltatlas Berlin, Karte 02.13 Oberflächenabfluss, Versickerung, Gesamtabfluss und Verdunstung aus Niederschlägen (Ausgabe 2007). www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_text/kb213.doc
- 45** GTZ (2007): Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries. Deutsche Gesellschaft für Technologische Zusammenarbeit, Eschborn. 32 pp. <http://www.gtz.de>
- 46** M. Burkhardt, T. Kupper, S. Hean, R. Haag, P. Schmid, M. Kohler und M. Boller (2007): Biocides used in building materials and their leaching behavior to sewer systems. Water Science & Technology Vol 56 No 12 pp 63 – 67 IWA Publishing 2007, www.eawag.ch.
- 47** UBA Texte 09/2009: Biozide in Gewässern: Eintragungspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen. 50 S. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3811.pdf>
- 48** DIN EN 13779 (2007): „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme“. Beuth Verlag, 2007, 72 S.
- 49** DWA-Arbeitsblatt A 117 „Bemessung von Rückhalteräumen“ Hennef 2006, 39 S.
- 50** Joyce, David (1991): „Das große Buch vom Pflanzenschneiden“. Weltbild GmbH
- 51** Lorberg, H.: Katalog 2002/2003. VWI Verlag GmbH, 2002
- 52** Schmidt, M. (2003) Energy saving strategies through the greening of buildings. Proc. Rio3, World energy and climate event. Rio de Janeiro, Brasil 2003. <http://www.rio3.com>
- 53** Schmidt, M. (2006) Rainwater harvesting for stormwater management and building climatization. Proceedings RWHM Workshop, IWA 5th World Water Congress and Exhibition, Beijing, China, pp 132 – 138.
- 54** Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2002) „Maßnahmenkatalog zur Reduzierung der Wasserkosten im öffentlichen Bereich“.

Links

<http://www.gebaeudekuehlung.de>
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de>
<http://www.a.tu-berlin.de/gte>

Absorption Aufnahme und Auflösung von meist gasförmigen Stoffen (Luft, Schadstoffgase etc.) in anderen Stoffen (z. B. Wasser, Filter).

Absorptionskältemaschine Eine Kältemaschine, bei der im Gegensatz zur Kompressionskältemaschine die Verdichtung durch eine temperaturbeeinflusste Lösung des Kältemittels erfolgt. Man bezeichnet dies auch als thermischen Verdichter. Das Kältemittel wird in einem Lösungsmittelkreislauf bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff absorbiert und bei höheren Temperaturen desorbiert. Bei dem Prozess wird die Temperaturabhängigkeit der physikalischen Löslichkeit zweier Stoffe genutzt. Voraussetzung für den Prozess ist, dass die beiden Stoffe in dem verwendeten Temperaturintervall in jedem Verhältnis ineinander löslich sind.

Abwärme Anfallende Wärmeenergie, die bei chemischen, physikalischen oder technischen Prozessen als (oft unerwünschtes) Nebenprodukt (Koppelprodukt) erzeugt wird.

Adiabatische Zustandsänderung Ein thermodynamischer Vorgang, bei dem ein System von einem Zustand in einen anderen überführt wird, ohne thermische Energie mit seiner Umgebung auszutauschen.

Adiabate Kühlung In der Klimatechnik eingesetztes Verfahren um mit Verdunstungskälte Räume zu klimatisieren. Das Verfahren wird indirekt angewandt, indem ein anderer Luftstrom als der zu kühlende Luftstrom befeuchtet wird. Verdunstungskälte ist eine erneuerbare Energie, da zur Kälteerzeugung nur Luft und Wasser als Quellen genutzt werden. Das Prinzip dieses Vorgangs ist das selbe wie beim Schwitzen, bei dem durch die Schweißabsonderung Wasser verdunstet. Die für die Verdunstung notwendige Wärme wird der Umgebung entzogen, was dazu führt, dass die Haut des Menschen abkühlt.

Adsorption Anreicherung von Stoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten an der Oberfläche eines Festkörpers, allgemeiner an der Grenzfläche zwischen zwei Phasen. Adsorption unterscheidet sich von der Absorption, bei der die Stoffe in das Innere eines Festkörpers oder einer Flüssigkeit eindringen.

Adsorptionskältemaschine Die Anlagerung an einen Feststoff wird in der Verfahrenstechnik als Adsorption bezeichnet und die Desorption dementsprechend als Lösen von einem Feststoff. In einer Adsorptionskältemaschine wird das Kältemittel so gewählt, dass mit der Ad- bzw. Desorption eine Aggregatzustandsänderung einhergeht. Da die Adsorption des Kältemittels eine Kondensation beinhaltet, wird sie von niedriger Temperatur und hohem Druck begünstigt, verringert das Volumen des Kältemittels und setzt Energie in Form von Wärme frei.

Aktive Bodenzone belebte Bodenzone; Mikroorganismen in dieser Bodenzone nutzen organische und anorganische Stoffe für ihren eigenen Stoffwechsel, wandeln dabei diese Stoffe um bzw. bauen sie dadurch ab.

Albedo Maß für das Rückstrahlvermögen von diffus reflektierenden, nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Quotient aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge.

Beste verfügbare Technik (BVT) Der Begriff BVT stammt aus dem angelsächsischen Rechtsbereich (best available technique – BAT), hierunter werden Anlagen verstanden, die dem „neuesten Stand der Entwicklung“ entsprechen und unter „wirtschaftlich vertretbaren Verhältnissen“ für die Betreiber zugänglich sind. Die EU-Kommission versucht durch die Nutzung dieses Begriffs den im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) verwendeten Begriff „Stand der Technik“ zu ersetzen.

Betriebswasser Nach DIN 4046: Gewerblichen, industriellen, landwirtschaftlichen oder ähnlichen Zwecken dienendes Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften, wobei auch Trinkwasserqualität enthalten sein kann. Nach DIN 1989: Wasser für häusliche und gewerbliche Einsatzbereiche, welches keine Trinkwasserqualität haben muss. Hier: Aufbereitetes Regenwasser für Verwendungszwecke in denen keine Trinkwasserqualität erforderlich ist. Es kann z. B. für die Toiletenspülung, Kühlzwecke, Wasch- und Reinigungsanlagen oder zur Bewässerung von Grünanlagen genutzt werden.

Biotopflächenfaktor (BFF) Instrument zur Sicherung von „grünen Qualitäten“ in der Berliner Innenstadt. Er kann in Berlin als Rechtsverordnung in einem Landschaftsplan festgelegt werden. Er trägt zur Standardisierung und Konkretisierung von Umweltqualitätszielen bei und benennt den Flächenanteil eines Grundstückes, der als Pflanzenstandort dient bzw. sonstige Funktionen für den Naturhaushalt übernimmt.

Biozide Unter den Begriff „Biozide“ fallen alle Chemikalien zur Bekämpfung von Schadorganismen auf chemische/biologische Wege, z. B. Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel und alle Schädlingsbekämpfungsmittel.

Blockheizkraftwerk (BHKW) Ein BHKW besteht aus Motoren oder Gasturbinen, die die bei der Stromerzeugung gewonnene Abwärme als Nahwärme für die Raumheizung und die Warmwassererzeugung nutzen. Ab Leistungsklassen >5 oder 10 MW spricht man nicht mehr von BHKW, sondern von KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Koppelung).

Boden ist die oberste (meist nur 20 bis 40 cm Dicke) überbaute und nicht überbaute Schicht der festen Erdkruste, einschließlich des Grundes fließender oder stehender Gewässer, soweit sie durch menschliche Aktivitäten beeinflusst werden kann. Der Boden nimmt

eine Vielzahl von nicht substituierbaren natürlichen Funktionen für den Menschen wahr. So dient er der Nahrungsmittelproduktion, als Siedlungs- und Verkehrsfläche, nimmt Abfälle und Emissionen auf, weiterhin werden zahlreiche Regelungs- und Lebensraumfunktionen wahrgenommen.

Dachabflusswasser Das von Dachflächen abfließende Niederschlagswasser, welches durch Reaktionen mit dem Dachmaterial und den Ablagerungen auf dem Dach eine veränderte Qualität hat.

Demonstrationsvorhaben Im Rahmen von Pilotprojekten werden Demonstrationsvorhaben in großtechnischem Maßstab gefördert, die erstmalig aufzeigen, in welcher Weise fortschrittliche Verfahren zur Vermeidung oder Verminderung von Umweltbelastungen verwirklicht werden können.

Energie ist die Fähigkeit eines Körpers Arbeit zu verrichten. Sie wird in der gleichen Einheit wie Arbeit in Joule gemessen (1 KJ = Tausend Joule, 1 MJ = 1 Million Joule). Eine andere gebräuchliche Energieeinheit ist die kWh (Kilowattstunde). Oft werden die Energieeinheiten auch in Primärenergieeinheiten angegeben (1 kg Steinkohleneinheit SKE = 29.308 KJ = 8,14 kWh; 1 kg Rohöleinheit RÖE = 41.868 KJ = 11,63 kWh; 1 m³ Erdgas = 31.736 KJ = 8,82 kWh). 1 Joule entspricht einer Wattsekunde (Ws).

Eutrophierung (Überdüngung) ist eine Überdüngung von Gewässern, die zur Folge hat, dass sich das Wachstum der Wasserpflanzen aber auch der Algen beschleunigt. Gewässerschäden treten dadurch ein, dass der Sauerstoffbedarf immer größer wird und zum Sauerstoffmangel in den Gewässern führt. In einem fortgeschrittenen Stadium führt das Absterben der Wasserpflanzen zur Fäulnis und zur Bildung giftiger Stoffe wie Ammoniak und Schwefelwasserstoff. Die E.

entsteht durch ein Überangebot von Nährstoffen (meist Nitrat und Phosphat) aus Düngemitteln der Landwirtschaft und durch Abwässer. Die Folge ist ein Rückgang des Fischbestandes bis hin zum Fischsterben. Regenwasserabfluss von versiegelten Flächen verursacht in Gebieten mit getrennter Kanalisation für Regenwasser und Schmutzwasser einen kontinuierlichen Eintrag von Nährstoffen in die Oberflächengewässer, während in Gebieten mit Mischkanalisation die Starkregenereignisse die Gewässerbelastung verursachen.

Extensive Dachbegrünung kostengünstige Begrünungen, besonders für Dächer mit geringen Lastreserven geeignet, bei denen keine Nutzung vorgesehen ist. Geringe jährliche Pflegeintensität, die Bewässerung beschränkt sich meist auf die Anwuchspflege. Die mineralische nährstoffarme grobporige Substratschicht beträgt ca. 5 bis 12 cm.

FBB Die Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. ist ein Zusammenschluss von Wissenschaftlern, Planern, Ausführenden, Produzenten und Kommunen der an Dachbegrünungen beteiligten Fachrichtungen, der sich die Förderung von Dachbegrünungen zum Ziel gesetzt hat. Dabei werden im Sinne des Verbraucherschutzes insbesondere die Sicherstellung praxistauglicher Qualitätskriterien sowie eine umfassende und objektive Informationspolitik angestrebt.

FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Die FLL ist Herausgeber verschiedener Richtlinien zum Thema Gebäudebegrünung, die u.a. von der FBB unterstützt wird. In den Richtlinien werden wichtige gewerkeüberschneidende Zusammenhänge dargestellt. Die Schriftenreihe der FLL umfasst vielfältige Regelwerke und Veröffentlichungen zur Planung, Herstellung, Entwicklung und Pflege von Anlagen, die entsprechend dem aktuellen Stand der Technik fortgeschrieben werden.

Gewässerschutz Ziel des Gewässerschutzes in Deutschland ist es, allorts Gewässer mit guter ökologischer Qualität zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Dazu müssen die Gewässer, aber auch ihre Ufer und ihr Umfeld so erhalten bzw. wieder hergestellt werden, dass sich die für den jeweiligen Naturraum typischen Lebensgemeinschaften dort entwickeln können.

Grundwasser Grundwasser ist das Wasser im Untergrund. Diese unsichtbare Ressource ist ein wesentliches Element des Wasserkreislaufs und erfüllt wichtige ökologische Funktionen. Zudem ist es die wichtigste Trinkwasserressource. Das Grundwasser muss vor Verunreinigungen geschützt werden. Die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips ist dabei von großer Bedeutung.

Intensive Dachbegrünung Ein Synonym für Dachgärten. Auf nicht erdgebundenen Flächen werden gartenähnliche Vegetationsflächen angelegt und meist gärtnerisch gepflegt. Auch Intensive Dachgärten können unter ökologischen Aspekten, etwa der Regenwasserbewirtschaftung optimiert werden, sofern entsprechende Drainage- und Speicherschichten unterhalb der Pflanzflächen und Terrassen angelegt sind.

KWK-Anlagen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen beruhen darauf, Abwärme bei der Stromerzeugung auszukoppeln und für Heizzwecke und Warmwasser zu nutzen. Hierdurch kann der Wirkungsgrad der eingesetzten Primärenergie von 30 bis 40% auf 60 bis 90% gesteigert werden. Im Sommer kann die Wärme über Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen in Kälte umgewandelt werden.

Lysimeter Offene bewachsene Bodenzylinder zur Messung von Niederschlag, Versickerung und Verdunstung. Sie sind in den Boden eingelassen und schließen mit der Umgebung glatt ab. Lysimeter stehen in der Regel auf einer Waage, um den Wasserhaushalt zeitnah exakt zu bestimmen. Das Sickerwasser kann qualitativ und quantitativ analysiert werden.

Monitoring systematische Erfassung, Beobachtung oder Überwachung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme. Die Funktion des Monitorings besteht darin, bei einem beobachteten Ablauf bzw. Prozess steuernd einzugreifen, sofern dieser nicht den gewünschten Verlauf nimmt bzw. bestimmte Schwellwerte unter- bzw. überschritten sind. Monitoring ist deshalb ein Sondertyp des Protokollierens.

Nachhaltige Entwicklung auch als zukunftsfähige, dauerhaft aufrechterhaltbare oder dauerhaft umweltgerechte Entwicklung bezeichnet, ist die deutsche Übersetzung des 1992 in Rio in der Agenda 21 festgelegten neuen Entwicklungsleitbildes „sustainable development“ (SD). Sie wird hier definiert als eine Entwicklung, die für alle heutigen Menschen und künftigen Generationen hohe ökologische, ökonomische und sozial-kulturelle Standards im Rahmen der Grenzen des Umweltraums anstrebt. N. E.: Eine Entwicklung, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und soziale Sicherheit mit der langfristigen Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang bringt.

Natürliche Ressourcen Unter n. R. werden alle Bestandteile der Natur verstanden, die dem Menschen Nutzen stiften. Hierzu gehören: Nicht erneuerbare Ressourcen (Rohstoffe, Primärenergieträger, Boden bzw. Fläche, genetische Ressourcen), Erneuerbare Ressourcen (Pflanzen, Tiere, Wasser, Luft und Wind) sowie quasi unerschöpfliche Ressourcen (jedenfalls für menschliche Zeiträume) wie die Strahlungsenergie der Sonne. Weiterhin ihre zahlreichen für das menschliche Leben existenziellen Funktionen (Senkenfunktion, d. h. die Aufnahme von Emissionen und Abfällen), die Lebensraumfunktion und die Aufrechterhaltung der natürlichen Systeme (Stoff- und Lebenskreisläufe).

Niederschlagswasser Das durch Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel usw.) anfallende, von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser, im wesentlichen Regenwasser.

Ökologie Lehre von den Beziehungen der Lebewesen zu ihrer biologischen Umwelt (vom griech. oikos „Wohnung“ und logos „Lehre“). Der Begriff stammt von Ernst Haeckel, der ihn als „Die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen zur umgebenden Außenwelt“ definierte. Die Ökologie (Teilbereich der Biologie) wurde zunächst als Lehre vom Haushalt der Natur definiert. Heute wird sie umfassender als Wissenschaft von den wechselseitigen Beziehungen zwischen den Organismen und Umweltfaktoren verstanden.

Primärenergieträger Unter Primärenergieträgern werden Stoffe oder Energiefelder und unter der Primärenergie der Energieinhalt der Primärenergieträger und der Energieströme verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden und aus denen direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Sekundärenergie oder -träger gewonnen werden können (z. B. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse, Windkraft, Solarstrahlung, Erdwärme).

Rankhilfen Technische Konstruktionen, die es Kletterpflanzen erlauben, senkrechte Flächen Fassaden zu bewachsen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass es sehr unterschiedliche Arten von Klettermechanismen gibt. In unserem Falle sind „Blattstielanker“ bevorzugt verwendet, die sich mit jungen Trieben auch um Seile legen können. Zu breite Profile führen nicht zum gewünschten Erfolg. Andere Arten, sind Spreizklimmer, die sich mit ihren starren Sprossen an vorhandenen Strukturen verhaken können.

Regenwasser Nach DIN 1989: Wasser aus natürlichem Niederschlag, das nicht durch Gebrauch verunreinigt wurde.

Retention Abflusshemmung und -verzögerung.

SPS-Steuerung Speicherprogrammierbare Steuerung; flexible Steuermodule, die Steuerungsaufgaben jeglicher Art in Abhängigkeit von digitalen und analogen Eingangsgrößen ausführen. Sie können u.a. bei der Steuerung von Betriebswasseranlagen und Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung sowie für Bewässerungszwecke eingesetzt werden.

Stand der Technik In Rechtsnormen verwendeter Begriff für den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren und Anlagen zur Begrenzung von Umweltbelastungen.

Stoffeinträge in die Natur Unter St. werden alle festen und gasförmigen (Schad-)stoffe verstanden, die durch die Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung von Rohstoffen und Energie freigesetzt werden und die natürlichen Kreisläufe (inkl. den Menschen) belasten können.

Trinkwasser Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel und dient auch dem sonstigen Hausgebrauch. 99% der deutschen Bevölkerung beziehen es von der öffentlichen Wasserversorgung, welche die hohen Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnung erfüllt. In Deutschland entfallen rd. 4% der gesamten Wassernutzung auf die Versorgung mit Trinkwasser. Durchschnittlich verbraucht jeder Bundesbürger 130 Liter pro Tag. Der Wassergebrauch liegt damit im europäischen Vergleich auf niedrigem Niveau.

Umwelt Der Begriff wird vielfältig definiert. In seiner umfassendsten Begriffsbestimmung bedeutet Umwelt die Gesamtheit der existenzbestimmenden Faktoren (inkl. der physischen, psychischen, technischen, ökonomischen und sozialen Beziehungen und Bedingungen). Hier als Gesamtheit der, den menschlichen Lebensraum definierenden, natürlichen Gegebenheiten verstanden.

Umweltbelastungsarten Die U. können in folgende Kategorien unterteilt werden: (1) Schadstoffhaltige feste, flüssige, gasförmige Stoffe. Als Unterkategorie können die Umweltchemikalien – gesundheits- und umweltschädliche Stoffe in Produkten und Nahrungsmitteln – angesehen werden. (2) Lärm, Erschüttern und umweltbelastende Abwärme und Strahlungen. (3) Zerstörung der natürlichen Lebenskreisläufe durch Landschaftsveränderungen, Überbauungen und Erosion. (4) Übernutzung der natürlichen Ressourcen über das Maß der Regenerationsfähigkeit hinaus (z. B. Überfischung, Abholzung). Im weiteren Sinne wird hierunter auch die Verschwendung der nicht regenerierbaren Rohstoffe und Primärenergieträger verstanden.

UV-Anlage Das Betriebswasser der Regenwassernutzungsanlage wird mit Hilfe ultravioletter Strahlung (UV) entkeimt. „Ultraviolette Strahlung wird zur Behandlung von Wasser, Luft und Oberflächen eingesetzt. Bei der Trinkwasseraufbereitung werden mit UV-Strahlung Krankheitserreger und die Keimzahl im Wasser zuverlässig reduziert. Eine Zugabe von Chemikalien ist nicht erforderlich.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft ist am 22.12.2000 in Kraft getreten. Mit ihr fiel der Startschuss für eine Gewässerschutzpolitik in Europa, die über Staats- und Ländergrenzen hinweg eine koordinierte Bewirtschaftung der Gewässer innerhalb der Flusseinzugsgebiete bewirken wird.

Abbildungsverzeichnis

Adler & Schmidt Kommunikations-Design
Grafiken 15, 16, 17

Berichtedatei Senatsverwaltung für
Stadtentwicklung
23

I. Hübner
42, 43, 48, 50

M. Köhler
29, 33, 37, 38, 41, 44, 46, 47, 49, 50

M. Kravčik
15

G. Mann, FBB
26, 27

B. Reichmann
**Titelseite, 14, 15, 20, 23, 31, 32, 33, 38,
39, 58, Rückseite**

M. Schmidt
**Titelseite, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17,
18, 19, 24, 30, 31, 32, 34, 36, 44, 52, 54,
55, 56, 59**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung I E 1
22

K. Teschner
14, 23, 33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1
Prioritätenliste für dezentrale Regenwasser-
bewirtschaftungsmaßnahmen **17**

Tabelle 2
Empfehlungen für Fassadenbegrünung in
Pflanzkübeln **45**

Tabelle 3
Übersicht häufiger und geeigneter Kletter-
pflanzen **46**

Tabelle 4
Jährliche Pflege- und Wartungsumfänge am
Beispiel Physikgebäude in Berlin-Adlershof **51**

Tabelle 5
Einbau von Zähl, Meß- und Regeleinrich-
tungen, an einer Anlage zur adiabaten Abluft-
kühlung **59**

**Senatsverwaltung
für Stadtentwicklung**

Herausgeber

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Kommunikation
www.stadtentwicklung.berlin.de

in Kooperation mit



Technische Universität Berlin



Hochschule Neubrandenburg

Projektleitung

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Abteilung VI, Ministerielle Angelegenheiten des Bauwesens
Dipl.-Ing. Brigitte Reichmann
Württembergische Straße 6, 10707 Berlin
Tel: 030. 9012-8620, Fax: 030. 9012-8560
email: brigitte.reichmann@senstadt.berlin.de

Projektbearbeitung

Technische Universität Berlin
Institut für Architektur
Fachgebiet Gebäudetechnik und Entwerfen,
Prof. Claus Steffan
Sekt. A59, Straße des 17. Juni 152, 10623 Berlin
Tel: 030. 314-23301, Fax: 030. 314-26079
email: gte@tu-berlin.de, Claus.Steffan@TU-Berlin.de

Dipl.-Ing. Marco Schmidt,
Tel: 030. 314-21820, Fax: 030. 314-26079
email: marco.schmidt@tu-berlin.de

Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich LGGB
Fachgebiet Landschaftsökologie, Vegetationskunde,
Prof. Dr. Manfred Köhler
Postfach 11 01 21, 17041 Neubrandenburg
Tel: 0395. 5693-302, Fax: 0395. 5693-299
email: koehler@hs-nb.de

Dipl.-Ing. Ines Hübner

Dipl.-Ing. Brigitte Reichmann,
email: brigitte.reichmann@senstadt.berlin.de

Mit Dank für die fachliche Unterstützung von Kolleginnen
und Kollegen der Humboldt-Universität zu Berlin, dem
Pflanzenschutzamt Berlin, dem Landesamt für Gesundheit
und Soziales Berlin

Copyright

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Eine Verwertung wird ausschließlich für nichtkommerzielle
Zwecke gestattet, dabei sind der Herausgeber sowie der
Verfasser und die Quelle anzugeben.
Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtig-
keit und Vollständigkeit von Daten und Einzelergebnissen.

Layout

Adler & Schmidt Kommunikations-Design, Berlin

Druck

allprint GmbH, Berlin
Gedruckt auf zertifizierter Recyclingqualität
Inhalt: 150g/m² RecyMago plus von Igepa
Umschlag: 250g/m² EuroBulk von Papier Union

Schutzgebühr 5,- €

ISBN 978-3-88961-140-6

Berlin, März 2010



»Die Zukunft liegt nicht darin,
dass man an sie glaubt oder nicht glaubt,
sondern darin,
dass man sie vorbereitet.« *(Erich Fried)*