



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades  
Dipl.- Ing. (FH) im Studiengang Landschaftsarchitektur und Umweltplanung  
der Hochschule Neubrandenburg

**„Voraussetzung und Notwendigkeiten für die Planung  
von Bäumen auf Gründächern  
für die Standorte Deutschland und Singapur“**

Verfasst von:

***Thomas Sommerfeld***

Betreuung:

Herr Prof. Dr. Manfred Köhler – Hochschule Neubrandenburg  
Herr Prof. Dipl.-Ing. Thomas Oyen – Hochschule Neubrandenburg

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0067-4

Neubrandenburg, den 24.06.2010

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ziel der Arbeit.....	1
<b>2. VORAUSSETZUNGEN UND NOTWENDIGKEITEN FÜR DIE PLANUNG VON GEHÖLZEN AUF GRÜNDÄCHERN</b> .....	<b>3</b>
2.1 Technische Grundlagen.....	3
2.2 Geltende Richtlinien für bewachsene Dächer.....	5
2.2.1 Intensivbegrünung.....	5
2.2.2 Funktionsschichten.....	8
2.2.3 Regelschichtdicken aus „FLL-Richtlinien Dachbegrünung“.....	12
<b>3. KLIMA DER PLANUNGSGEBIETE „DEUTSCHLAND UND SINGAPUR“</b>	<b>13</b>
3.1 Klimazonen für Deutschland.....	13
3.1.1 Durchschnittliche Klimadaten für Deutschland der letzten fünf Jahre .. .....	14
3.2 Klimazonen für Singapur.....	16
3.2.1 Durchschnittliche Klimadaten für Singapur der letzten fünf Jahre....	17
<b>4. GRUNDLAGEN DER WURZELENTWICKLUNG UND BAUMPFLANZUNGEN AUF GRÜNDÄCHERN</b> .....	<b>18</b>
4.1 Notwendigkeit der Wurzelentwicklung.....	18
4.1.1 Verbesserung der Lebensbedingungen für Bäume.....	19
4.1.2 Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Wurzelschäden....	20
4.2 Wurzeltypen.....	22
4.3 Notwendigkeit bei Baumpflanzungen.....	23
4.3.1 Baumgrubenherstellung.....	24
4.3.2 Baumgrubenherstellung, Fertigteile zur Grubensicherung und - abdeckung.....	25
4.4 Maßnahmen zur Verbesserung und zum Schutz des offenen Traufbereiches.....	28
<b>5. ANFORDERUNGEN AN DIE VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b> .....	<b>30</b>
5.1 Korngrößenverteilung.....	31
5.2 Struktur- und Lagerungsstabilität / Kornform.....	32
5.3 Wasserdurchlässigkeit.....	33
5.4 Wasserspeicherung / Wasserkapazität.....	34
5.5 Frostbeständigkeit / Witterungsbeständigkeit.....	34
5.6 Gesamtporenvolumen, Porengrößenverteilung und Luftgehalt.....	35

5.7	pH-Wert.....	36
5.8	Salzgehalt .....	36
5.9	Kalkgehalt (Carbonat).....	36
5.10	Pflanzenverträglichkeit / phytotoxische Stoffe.....	37
5.11	Gehalt an Nährstoffen und Adsorptionskapazität.....	37
5.12	Gehalt an organischer Substanz und C/N Verhältnis.....	38
5.13	Gehalt an keimfähigen Samen und regenerationsfähigen Pflanzenteilen .....	38
5.14	Ausbildung und Herstellung von Vegetationsschichten.....	39
<b>6.</b>	<b>LASTANNAHMEN.....</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>SUBSTRAT .....</b>	<b>43</b>
7.1	Substrate auf der Basis von natürlichen organischen Stoffen für die Planungsgebiete Deutschland und Singapur.....	44
7.2	Bodenbelüftung und Bodenstrukturverbesserung .....	47
7.3	Herstellende Unternehmen von Dachbegrünungssubstraten.....	48
7.3.1	VulkaTec Riebensahm GmbH – Pflanzsubstrate & Filtermaterialien	48
7.3.2	OPTIGRÜN International AG – Die Dachbegrüner .....	50
7.3.3	ZinCo GmbH - Ingenieurwerkstatt + Gründachsysteme.....	51
7.3.4	Paul Bauder GmbH & Co.KG – Flachdach .....	53
7.3.5	Clasen & Co. Baumschulen GmbH.....	54
<b>8.</b>	<b>ENTWÄSSERUNG .....</b>	<b>55</b>
8.1	Entwässerung für Deutschland und Singapur .....	55
8.1.1	Entwässerung innerhalb der Vegetationsfläche .....	58
8.1.2	Entwässerung außerhalb der Vegetationsfläche.....	59
8.1.3	Getrennte Entwässerung .....	59
8.2	Dachentwässerung mit Druckströmung .....	59
8.2.1	Funktionsprinzip der Druckentwässerung .....	59
8.3	Vorteile für Dachentwässerungen mit Druckströmung .....	64
<b>9.</b>	<b>BEWÄSSERUNG .....</b>	<b>64</b>
9.1.1	Bewässerung mit dem Schlauch .....	65
9.1.2	Bewässerung mit dem Schlauch und Regner .....	66
9.1.3	Bewässerung mit dem Sprühschlauch .....	66
9.1.4	Unterflur-Tröpfchenbewässerung.....	66
9.1.5	Bewässerung mit der Beregnungsanlage .....	69
9.1.6	Bewässerung durch Wasseranstau in der Dränschicht.....	69

<b>10.PLANUNGS- UND AUSFÜHRUNGSHINWEISE.....</b>	<b>71</b>
10.1 Wurzelballenverankerung von Großgehölzen .....	71
10.2 Lastquelle „Winddruck“ .....	76
10.3 Erosionsschutz.....	78
<b>11.GEEIGNETE GROßGEHÖLZE.....</b>	<b>79</b>
11.1 Großgehölze für Singapur.....	80
11.2 Großgehölze für den Mitteleuropäischen Raum.....	98
<b>12.WARTUNG UND PFLEGE .....</b>	<b>111</b>
12.1 Fertigstellungspflege (vor Abnahme) .....	111
12.2 Entwicklungs- und Unterhaltungspflege (nach Abnahme).....	111
12.3 Wartung .....	112
12.4 Die erste Bewässerung .....	113
<b>13.KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE BEI GRÜNDÄCHERN .....</b>	<b>114</b>
13.1 Ökologische und Ökonomische Vorteile für Deutschland und Singapur . .....	116
<b>14.RESÜMEE .....</b>	<b>117</b>
<b>15.LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>119</b>
<b>16.ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>124</b>
<b>17.PLANVERZEICHNIS .....</b>	<b>125</b>
<b>18.DANKSAGUNG .....</b>	<b>126</b>
<b>19.EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>127</b>

## 1. Einleitung und Zielsetzung

### 1.1 Ziel der Arbeit

Die Diplomarbeit widmet sich der Bauwerksbegrünung „Planungsvoraussetzungen und Notwendigkeiten von Bäumen auf Gründächern“.

Die Dachbegrünung als Gewerk beim Hausbau beinhaltet sowohl den Vorgang des Bepflanzens von Dächern, als auch die bestehende Gesamtheit der Pflanzen einschließlich des notwendigen Unterbaus auf einem begrünten Dach.

Diese Entwicklung geht von der *extensiven* Form bis insbesondere auf die *intensive* Dachbegrünung.

Die zweite Form der Begrünung weist eine dickere Durchwurzelungsschicht auf und gewährleistet eine kontinuierliche Wasserversorgung. Daher können für diese Begrünungsart mittelhohe Bäume herangezogen werden.

Für mich ist Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit, dem Bauherrn, Planer und Ausführenden im privaten, gewerblichen / industriellen und im öffentlichen Bereichen, Entscheidungshilfen für die Beurteilung, Planung, Ausführung und Unterhaltung von Baumpflanzungen und Sicherungen auf Dachbegrünungen zu geben, um die objektspezifisch kostengünstige Bauweise einsetzen zu können. Die Schwerpunkte liegen bei:

- der Darstellung der Begrünungsform „Aufwendige Intensivbegrünung“ entsprechend dem erreichten Stand der Technik und der Entwicklung,
- dem Herausstellen der unterschiedlichen Nutzungsfunktionen, Wirkungen und Ansprüche in Abhängigkeit von der Ausbildung der Begrünung und der potentiellen Möglichkeiten,
- der Darstellung und Bewertung der Vegetationsschichten und bautechnischen Anforderungen an Schichtbaustoffe und an Bauweisen in Abhängigkeit von der Flachdachkonstruktion und den zu pflanzenden Bäumen,
- der Darstellung und Bewertung der Anforderungen an Ausbildungsformen der Baumwurzel und die Sicherungsprinzipien,
- der Bewertung von Bauweisen und Ausbildungsformen in Hinblick auf Maßnahmen der Pflege und Unterhaltung und

2. Voraussetzungen und Notwendigkeiten für die Planung von Gehölzen auf Gründächern

- dem Aufzeigen besonderer Problembereiche und Maßnahmen.



**Abbildung 1: Bauwerksbegrünung, Fusionopolis in Singapur**

Quelle: (Beobuild-Forum, 2010)

## **2. Voraussetzungen und Notwendigkeiten für die Planung von Gehölzen auf Gründächern**

### **2.1 Technische Grundlagen**

Bei der Planung von Bäumen auf Gründächern sollte man sich unabhängig davon, ob es sich um den Bau eines neuen oder den Umbau eines vorhandenen Gebäudes handelt, darüber im Klaren sein, wie die Dachkonstruktion, Systemaufbau und Baumauswahl aufeinander abgestimmt werden können.

Um die erforderlichen Funktionen auf Dauer sicherzustellen, müssen Architekten und Statiker allerdings bereits bei der Planung insbesondere die gewerkübergreifenden Anforderungen berücksichtigen. Dazu gehört z.B. die notwendige Konstruktionshöhe aller Funktionsschichten für Verkehrsflächen und intensive Begrünungen, die maximale Dachlast, die Art der Dachabdichtung, die Druckstabilität der Wärmedämmung sowie weitere bautechnische Voraussetzungen.

Die bei Neubauten prinzipiell gegebene Möglichkeit, das Bauwerk und die Bepflanzung in einer frühen Planungsphase aufeinander abzustimmen und zu optimieren, ist bei der Bepflanzung vorhandener Dächer nicht möglich. Hier muss die Bepflanzung an die vorgegebenen Verhältnisse angepasst werden. Dazu sind zunächst eine Reihe von baustatischen und bauphysikalischen Fragen durch Architekten und Bauingenieure zu klären. In der Regel sind zum Beispiel nur relativ geringe zusätzliche Lasten anstelle einer Bekiesung durch die Begrünung möglich, so dass nur leichte, dünnschichtige Bauweisen in Frage kommen.

Für die Frage, in welchem Maße sich ein Bauwerk zur Begrünung eignet, ist zu klären, welche Eigenarten und Ausbildungsformen sowie Anforderungen vorliegen bezüglich:<sup>1</sup>

- Dachneigung,
- Dachbauweise,

---

<sup>1</sup> Vgl. (Die Plattform zur Dachbegrünung, 2010)

- Dachabdichtung,
- Stoffverträglichkeit,
- Wasserdampfdiffusionsverhalten,
- Nutzung und Beanspruchung,
- Lastannahme,
- Dachentwässerung,
- An- und Abschlüssen,
- Windbelastung

Für die Vegetationsausbildung sind die örtlichen Rahmenbedingungen bezogen auf die nachfolgenden Faktoren zu untersuchen:

- Lastannahme,
- Begrünungsbauweise,
- Vegetationsausbildung,
- Stoffverträglichkeit,
- Niederschlagsverteilung,
- Entwässerung,
- Besonnung und Beschattung,
- Windbelastung,
- Belastung durch Rückstrahlung oder Wärmestau,
- Frostgefährdung und
- Immissionsbelastung

Nicht zuletzt sind auch wirtschaftliche Überlegungen anzustellen. Es ist zum Beispiel zu untersuchen, ob Optimierungsmöglichkeiten durch Änderungen der Lastannahmen bestehen oder ob die Kosten-Nutzen-Relation, insbesondere bei zahlreichen Dachdurchdringungen und Bauwerksfugen auf kleiner Flächenausdehnung und Randlänge, die Begrünung solcher Teilflächen rechtfertigt.

Die richtige technische Umsetzung von Dachbegrünungen ist nicht immer ganz einfach. Es sollten daher Richtlinien von Fachinstituten, wie die Dachbegrünungsrichtlinien der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn und die Flachdachrichtlinien des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks zu Rate gezogen werden.



## **2.2 Geltende Richtlinien für bewachsene Dächer**

Wichtigste Basis, da am häufigsten zitiert und in der DIN verankert, sind die *FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.* „Richtlinien für die Dachbegrünung“. Es gilt die jeweils neuste Ausgabe, derzeit 2008. Diese Richtlinien beruhen u.a. auf folgenden Normen:

- VOB Teile A/B/C sowie die dadurch geltenden DIN Normen
- DIN 1055 Lastannahmen für Bauten, Teile 1-5
- DIN 1986 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke Teile 1/2
- DIN 4095 Baugrund, Dränung zum Schutzbaulicher Anlagen
- DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Teile 1/4/5
- DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau Teil 1-5
- DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
- DIN 18531 Dachabdichtungen
- DIN 18195 Bauwerksabdichtung Teil 1-6
- DIN 18336 Abdichtungsarbeiten
- DIN 18320 Landschaftsbauarbeiten
- DIN 18915-18919 Vegetationstechnik im Landschaftsbau
- Berufsgenossenschaftliche Anforderungen (Absturzsicherungen etc.) sowie diverse Produkt- und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller
- weitere Normen aus den angrenzenden Bereichen

### **2.2.1 Intensivbegrünung**

Eine derartige Dachbegrünung ist nicht bei jedem Hausbau möglich und auch nur durch regelmäßige gärtnerische Pflege dauerhaft zu erhalten. Intensive Dachbegrünungen verfügen über Pflanzungen von Stauden und Gehölzen, sowie Rasenflächen und Bäumen. Die Möglichkeiten der Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt sind sie bei entsprechender Herstellung der Bodenvoraussetzungen auf dem Dach mit normalen Gartenbereichen vergleichbar. Intensive Dachbegrünungen sind allerdings nur auf Flachdächern und Tiefgaragen sinnvoll.

## 2. Voraussetzungen und Notwendigkeiten für die Planung von Gehölzen auf Gründächern

Bei einer intensiven Dachbegrünung wird für das Dach ein vollwertiger Bodenaufbau verlangt, der sogar eine Baumbepflanzung möglich macht.

Die verwendeten Pflanzen stellen hohe Ansprüche an den Schichtaufbau und an die regelmäßige Pflege mit ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung. Die Höhe des Gesamtaufbaus beträgt etwa 25-200 cm, das Gewicht etwa 300-1.200 kg/m<sup>2</sup>, siehe *Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*. Bei größeren Gehölzen ist besonders auf die Standsicherheit der Bepflanzung zu achten.

Auch bezüglich der Bewässerung für ein derartiges Dach sind besondere Maßnahmen zu treffen. Die Bewässerung kann in den Hausbau integriert werden und durch ein unterirdisches Bewässerungssystem mit Unterflurregner und Tröpfchenbewässerung oder über Schlauch und Steckverbindungen erfolgen.

**Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung**

### 2.2.2 Funktionsschichten

Bei der Dachbegrünung hat sich im Laufe der Zeit ein schichtweiser Aufbau der Vegetationsfläche bewährt und als Standard herausgebildet. Jede Schicht der Dachbegrünung erfüllt eine spezifische Funktion und wird den jeweiligen Standortbedingungen bzw. Begrünungsarten entsprechend angepasst.

In Anlehnung an die „Grundsätze für Dachbegrünungen“ (FLL 2008) werden die Funktionsschichten wie folgt definiert:<sup>2</sup>

- *Vegetationstragschicht*

Die Vegetationstragschicht, *siehe Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*, ist die Grundlage für das Pflanzenwachstum. Sie ist aufgrund ihrer physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften, die intensive durchwurzelbare Schicht der Dachbegrünung. Die Vegetationsschicht muss in der Lage sein, verschiedene Parameter wie Wasserspeicherfähigkeit, Luftporenvolumen und Nährstoffspeicher zu erfüllen. Andererseits muss eine hohe Wasserdurchlässigkeit gewährleistet sein, um bei Starkregen eine Überflutung der Flächen auszuschließen. Weiter muss eine hohe Raumstabilität gegeben sein, um ausreichend Wurzelraum zu haben.<sup>3</sup>

Die Dicke der Vegetationstragschicht liegt zwischen 25 und 200 cm und ist abhängig von der gewählten Vegetationsform. Bei einem Schichtaufbau ab circa 35 cm ist es notwendig, den Gehalt an organischer Substanz insgesamt zu reduzieren. Bei einem Schichtaufbau über ca. 50 cm wird zusätzlich ein Untersubstrat / Unterboden aus rein mineralischen Bestandteilen eingesetzt. Die Wasserversorgung / -speicherung erfolgt innerhalb des Substrates, einer externen Bewässerung. Als Ersatz für das Dachgartensubstrat ist es möglich, natürliche Ober- und Unterböden zu verwenden. Da aber Ober- und / oder Unterböden Feinteile besitzen, die die Filterschicht und Sickerschicht verschlämmen oder zusetzen

---

<sup>2</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010)

<sup>3</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 135 - 136)

können, ist auf der Filterschicht ein „Stufenfilter“ aus der Wasserspeicher-  
matte einzubauen. Ebenso kann durch Verwendung der Wasserspeicher-  
matte über die Wasserspeicherung von 40 l/m<sup>2</sup> der Austrock-  
nung des natürlichen Bodens entgegengewirkt werden. Die Funktionsfä-  
higkeit kann unter Beachtung der Bodengruppe objektbezogen durch ein  
Prüfzeugnis belegt werden.<sup>4</sup>

▪ *Filterschicht*

Die Filterschicht, *siehe* Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung,  
*Seite 7*, verhindert, dass feinere Boden- und Substrateile aus der Vege-  
tationsschicht in die Dränschicht eingeschlämmt werden und somit die  
Wasserdurchlässigkeit dieser Schicht beeinträchtigt wird. Das hierfür  
verwendete Kunststoffvlies (100-200 g/m<sup>2</sup>) ist ebenfalls gut wasserdurch-  
lässig und gut durchwurzelbar. Die Porenöffnungsweite der Filtervliese / -  
gewebe ist auf die Körnungslinie von Dachgartensubstrate abgestimmt.  
In der Regel sind Filtervliese / -gewebe der Geotextil-Robustheitsklasse  
1 mit einer Stempeldurchdrückkraft von  $\geq 0,5$  kN und einer Öffnungswei-  
te ( $O_{90w}$ ) von  $< 200 \mu$  (0,2 mm) ausreichend. Die Durchwurzelung der  
Sickerschicht darf nicht behindert werden. Beim Einsatz von Filtervliesen  
/ -geweben als Filterschicht unter Oberboden- / Unterboden-Gemisch  
müssen gesonderte Maßnahmen zur Feinteilrückhaltung vorgenommen  
werden. Filtervliese / -gewebe sind mit einer Überlappung von mindes-  
tens 10 cm zu verlegen. Das Filtervlies / -gewebe sollte im Randbereich  
bei An- und Abschlüssen bis zur Oberkante des vegetationsfreien  
Sicherheitsstreifens hochgeführt werden, um Ausspülung von Feinteilen  
in die Sickerschicht zu verhindern. Werden Filtervliese als Bestandteile  
von Dränanlagen / Drainageschichten lose auf z.B. Schüttstoffen oder  
Geospacers verlegt, müssen sie CE-markiert sein (DIN EN 13252).<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010)

<sup>5</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 138)

- *Dränschicht*

Die Dränschicht, *siehe Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*, nimmt aufgrund ihres Hohlraumvolumens überschüssiges Wasser auf und leitet es zur Vermeidung von Staunässe in die Ablaufvorrichtungen ab. Da die Dränschicht bei entsprechender Ausrichtung auch als zusätzlicher Wurzelraum dienen kann, sollten die verwendeten Materialien bedingt Wasser speichern können. Je nach Dachgefälle können offenporige mineralische Stoffe, wie z.B. Lava und Blähschiefer, oder aber Dränmatten, welche darüber hinaus auch die Dränschicht zugunsten des Vegetationsschichtdicken reduzieren verwendet werden.<sup>6</sup>

- *Schutzschicht / Schutzlage*

Die Schutzschicht, *siehe Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*, ist ein Bauteil zum andauernden Schutz einer Abdichtung gegen statische, dynamische und thermische Beanspruchung. Schutzschichten können in Einzelfällen Nutzschichten des Bauwerks bilden. Diese Vorgaben gelten entsprechend für die Durchwurzelungsschicht. Schutzschichten sind gemäß DIN 18195-10 „Bauwerksabdichtungen; Schutzschichten und Schutzmaßnahmen“ auszuführen. Die hierbei zu verwendenden Stoffe sind in DIN 18195-2 „Bauwerksabdichtungen; Stoffe“ aufgeführt. Wird entsprechend den Vorgaben der DIN 18195-10 ein Nachweis / Prüfzeugnis über die Schutzfunktion gefordert, so muss die Trenn- und Schutzfolie dies nach DIN EN 13719 „Geotextilien und geotextilverwandte Produkte-Bestimmung der langfristigen Schutzwirksamkeit von Geotextilien im Kontakt mit geosynthetischen Dichtungsbahnen“ erbracht werden.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 139 - 140)

<sup>7</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 139 - 140)

- *Trenn- und Gleitschicht*

Trennschichten, *siehe Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*, schirmen chemisch unverträgliche Materialien im Schichtaufbau voneinander ab. In ähnlicher Weise verhindern Gleitschichten ein unerwünschtes Klebeverhalten und/oder verringern die Scherbelastung zwischen zwei Schichten. Um diese auszuschließen ist der Einbau einer Gleitschicht bestehend aus mindestens zwei Gleitlagen erforderlich. Gleitlagen können je nach Werkstoff auch weitere Funktionen übernehmen, z.B. als Schutz- und / oder Trennlage.<sup>8</sup>

- *Durchwurzelungsschutzschicht*

Der Durchwurzelungsschutz, *siehe Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung, Seite 7*, kann bei entsprechender Eignung durch die Dachabdichtung selbst erfolgen z.B. bei Abdichtungen, die aus PVC, EPDM oder Bitumen mit Kupfereinlage hergestellt sind und die FLL-Prüfung zur Durchwurzelungsfestigkeit bestanden haben. Wenn die Dachabdichtung nicht wurzelfest ist, muss eine FLL-geprüfte Wurzelschutzfolie Beschädigungen der Dachabdichtung durch ein- oder durchdringende Pflanzenwurzeln dauerhaft verhindern. Diese Folie wird oberhalb der Dachabdichtung verlegt. Die Überlappungen der Wurzelschutzfolie werden mit Heißluft zusammengesweißt.

Die Wurzelschutzfolie ist über die Oberkante von vegetationsfreien Sicherheitsstreifen, Vegetationsflächen und begehbaren Belägen hochzuführen und mit der Abdichtung zu befestigen. Dies gilt entsprechend auch für andere aufgehende Bauteile und Dachdurchdringungen. Bei einer Umkehrdachkonstruktion wird die Wurzelschutzfolie unter die Wärmedämmung direkt auf die Dachabdichtung verlegt. Die Wurzelschutzfolie besteht aus einer 0,8 mm dicken modifizierten LDPE Folie. Sie ist gemäß dem FLL- „Verfahren zur Untersuchung der Wurzelfestigkeit von Bahnen und Beschichtungen für Dachbegrünungen“ als wurzelfest ge-

---

<sup>8</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 140 - 141)

prüft. Durch die Lieferung in Planen bis zu 200 m<sup>2</sup> wird eine schnelle Verlegung garantiert.<sup>9</sup>

### 2.2.3 Regelschichtdicken aus „FLL-Richtlinien Dachbegrünung“

Die Dicke des Schichtaufbaues ist von der Dachbauweise, der angestrebten Vegetationsform und von der Stoffart der Schichten abhängig.

In der *Abbildung 2: Aufbaudicken bei Intensivbegrünung, Seite 13*, sind die Aufbaudicken für die Intensivbegrünung angegeben.

Die regionalen klimatischen Verhältnisse und die objektspezifischen Gegebenheiten, die sich teilweise erheblich voneinander unterscheiden, erfordern eine geringere oder höhere Bemessung der Aufbaudicken innerhalb der dargestellten Spannbreiten.<sup>10</sup>

Bei der Bemessung des Schichtaufbaus sind grundsätzlich folgende Punkte zu berücksichtigen.

- die Ansprüche der Vegetation
- die Eigenschaften der verwendeten Stoffe
- die Dachneigung
- die Exposition der Dachfläche
- die regionalen klimatischen Verhältnisse
- die objektbezogenen Standortbedingungen
- die baustoffspezifischen Flächenlasten
- die angestrebte Wasserrückhaltung

---

<sup>9</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 140 - 141)

<sup>10</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010), S. 33



### 3. Klima der Planungsgebiete „Deutschland und Singapur“

Durchwurzelbare Aufbaudicke in cm		18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200
Intensivbegrünung	Rasen																
	Niedrige Stauden / Gehölze																
	Mittelhohe Stauden / Gehölze																
	Hohe Stauden / Sträucher																
	Großsträucher / Kleinbäume																
	Mittelhohe und hohe Bäume																
	Hohe Bäume																

Abbildung 2: Aufbaudicken bei Intensivbegrünung

Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010)

## 3. Klima der Planungsgebiete „Deutschland und Singapur“

### 3.1 Klimazonen für Deutschland

Diese beiden Klimazonen können unterschiedlicher gar nicht sein. Das Gebiet von Deutschland gehört insgesamt zum warmgemäßigten Regenklima der mittleren Breiten. Mit überwiegend westlichen Winden werden das ganze Jahr über feuchte Luftmassen vom Atlantik herangeführt, die zu Niederschlägen führen. Der ozeanische Einfluss, der von Nordwest nach Südost abnimmt, sorgt für relativ milde Winter und nicht zu heiße Sommer. Gelegentlich wird die Westströmung jedoch durch zum Teil recht langlebige Hochdruckgebiete blockiert. Dann kann es auch zu sehr kalten Wintern kommen und die Sommer können heiß und trocken werden.<sup>11</sup>

Durch die topographische Struktur des Landes mit seinen Mittelgebirgen, die verschieden flache Landschaften einschließen, wird das Klima stark strukturiert. Für die Temperatur ist die Abhängigkeit von der Geländehöhe der dominierende Einfluss. Hinzu kommt der Abstand vom Meer. Für den Niederschlag ist die Lage der Gebirge relativ zur Hauptwindrichtung von besonderer Bedeutung, denn im Luv der Berge wird durch die erzwungene Hebung der Luft verstärkt Wolkenbildung und Niederschlag ausgelöst, während sich im Lee der Gebirge durch das Absinken der Luft die Wolken auflösen, so dass relativ trockene Ge-

<sup>11</sup> Vgl. (MSN-Wetter, 2010)

biere entstehen. Daneben ist auch hier die Entfernung zum Meer und insbesondere die Zahl der Gebirgsrücken, die die Luft auf ihrem Weg vom Meer her überqueren musste und an denen sie bereits Teile ihres Wasserdampfvorrats ausregnen konnte, ein weiteres Kriterium für die Höhe der Niederschläge.<sup>12</sup>

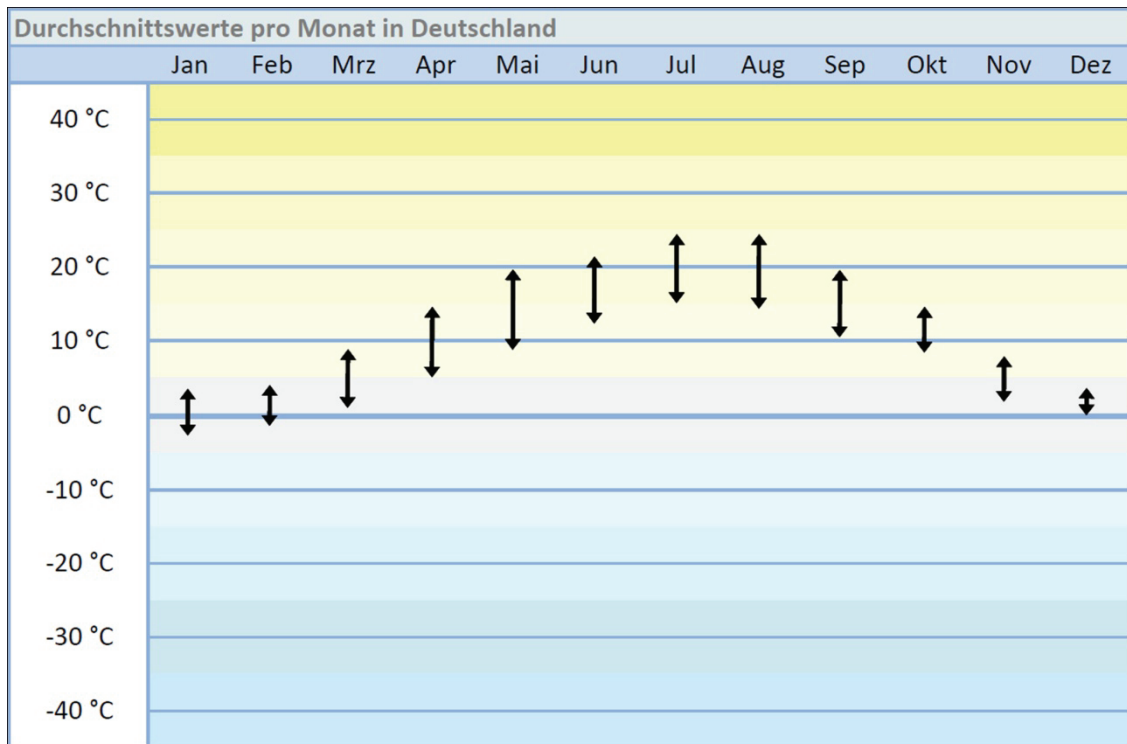
### 3.1.1 Durchschnittliche Klimadaten für Deutschland der letzten fünf Jahre

Durchschnittswerte pro Monat in Deutschland						
Monat	Durchs. Tiefsttmp.	Durchs. Höchsttmp.	Durchs. Niederschl.	Sonnen. Std	Regen. Tg	Feuchtigkeit
Januar	-3 °C	3 °C	33.40 mm	2 h	17 d	84%
Februar	-1 °C	4 °C	31.30 mm	3 h	15 d	82%
März	2 °C	8 °C	30.08 mm	4 h	12 d	73%
April	5 °C	14 °C	23.20 mm	6 h	13 d	68%
Mai	8 °C	19 °C	35.60 mm	7 h	12 d	66%
Juni	13 °C	22 °C	47.60 mm	8 h	12 d	70%
Juli	15 °C	24 °C	48.90 mm	7 h	14 d	74%
August	14 °C	24 °C	39.60 mm	7 h	14 d	77%
September	11 °C	19 °C	35.30 mm	6 h	12 d	80%
Oktober	7 °C	14 °C	26.90 mm	4 h	14 d	83%
November	3 °C	7 °C	32.50 mm	2 h	16 d	87%
Dezember	0 °C	3 °C	35.50 mm	1 h	15 d	87%

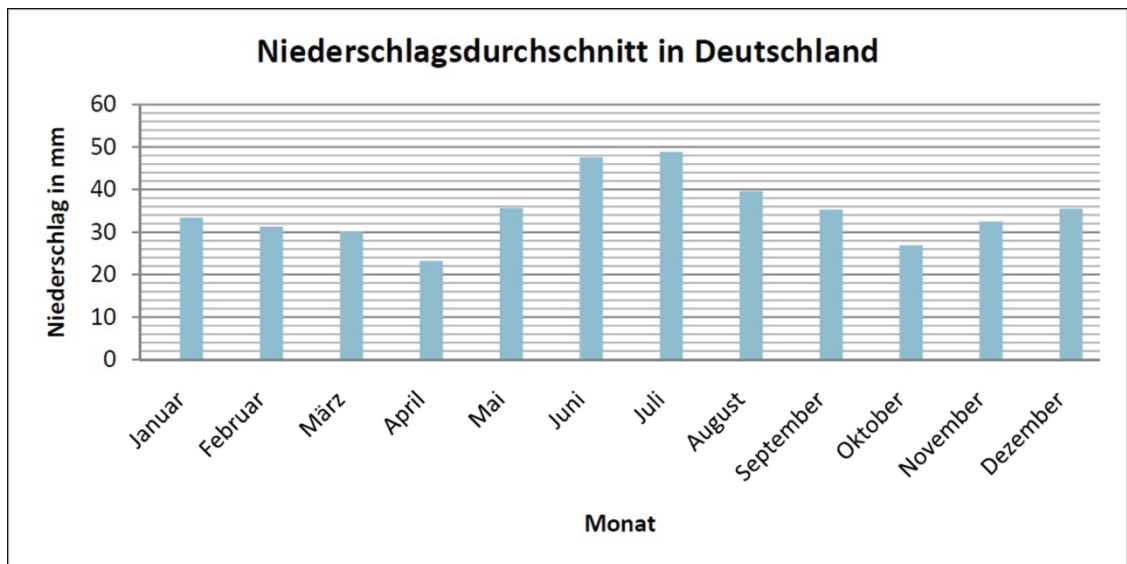
**Abbildung 3: Durchschnittliche Klimadaten für Deutschland**  
 Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)

<sup>12</sup> Vgl. (HYDROSKRIPT; [www.hydroskript.de/html/\\_index.html?page=/html/hykp0406.html](http://www.hydroskript.de/html/_index.html?page=/html/hykp0406.html), 2010)

### 3.Klima der Planungsgebiete „Deutschland und Singapur“



**Abbildung 4: Durchschnittliche Temperaturen für Deutschland**  
 Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)



**Abbildung 5: Niederschlagsdurchschnitt in Deutschland**  
 Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)

### **3.2 Klimazonen für Singapur**

Das regenreiche, tropisch-feuchte Klima Singapurs ist durch Schwüle und eine hohe Luftfeuchtigkeit geprägt. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Inselstaat nahezu unmittelbar am Äquator und somit direkt im Tropengebiet liegt. Die Lage in der feuchtheißen Klimazone beim Äquator ist ganzjährig spürbar, zumal es anders als bei uns keine unterschiedlichen Jahreszeiten im klassischen Sinne oder bedeutende Schwankungen der Temperaturen gibt. Während die Luftfeuchtigkeit stets konstant sehr hoch bleibt, variieren in Singapur zwei Perioden. Zum einen herrscht von etwa März bis Oktober eine Trockenzeit vor, in denen Temperaturen von bis zu 33 Grad erreicht werden können. Zum anderen können die Temperaturen während der Regenperiode von November bis Februar bis auf 23 Grad sinken.

Zu unerwarteten Regenschauern starker Intensität kann es das ganze Jahr hindurch kommen. Oftmals wird dies von Gewitter begleitet, was besonders in den Stunden des frühen Nachmittages vorkommt. In dem Zeitraum von November bis Januar, wenn der Nordost-Monsun vorherrscht, kann es gelegentlich über mehrere Tage kräftigeren Niederschlag geben. Im Vergleich zum übrigen Jahr kühlen die Temperaturen dann jedoch nur gering ab. Liegt ein kräftiger, lang anhaltender Regenfall vor, kann häufig eine Luftfeuchtigkeit von hundert Prozent gemessen werden. Während der Niederschlag im Dezember und April besonders intensiv ausfällt, gelten Februar und Juli als die Monate mit der meisten Trockenheit. Nahezu ganzjährig liegen die Tagestemperaturen in Singapur meist bei knapp über 28 Grad Celsius, wobei die nächtliche Abkühlung eher niedrig ausfällt. Nur selten weichen die Temperaturen von der Spanne zwischen 23 und 34 Grad Celsius ab.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Vgl. (SINGAPUR REISEINFO, 2010)

### 3.2.1 Durchschnittliche Klimadaten für Singapur der letzten fünf Jahre

Durchschnittswerte pro Monat in Singapur						
Monat	Durchs. Tiefsttmp.	Durchs. Höchsttmp.	Durchs. Niederschl.	Sonnen. Std	Regen. Tg	Feuchtigkeit
Januar	23 °C	30 °C	197.40 mm	5 h	17 d	84%
Februar	23 °C	31 °C	82.10 mm	6 h	11 d	83%
März	24 °C	31 °C	127.40 mm	6 h	14 d	83%
April	24 °C	31 °C	126.50 mm	6 h	15 d	86%
Mai	24 °C	32 °C	137.30 mm	6 h	15 d	86%
Juni	24 °C	31 °C	101.90 mm	6 h	13 d	85%
Juli	24 °C	31 °C	130.40 mm	6 h	13 d	84%
August	24 °C	31 °C	113.40 mm	6 h	14 d	85%
September	24 °C	31 °C	126.70 mm	6 h	14 d	85%
Oktober	24 °C	31 °C	122.40 mm	5 h	16 d	86%
November	23 °C	31 °C	208.10 mm	5 h	18 d	88%
Dezember	23 °C	31 °C	225.50 mm	4 h	19 d	89%

Abbildung 6: Durchschnittliche Klimadaten für Singapur

Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)

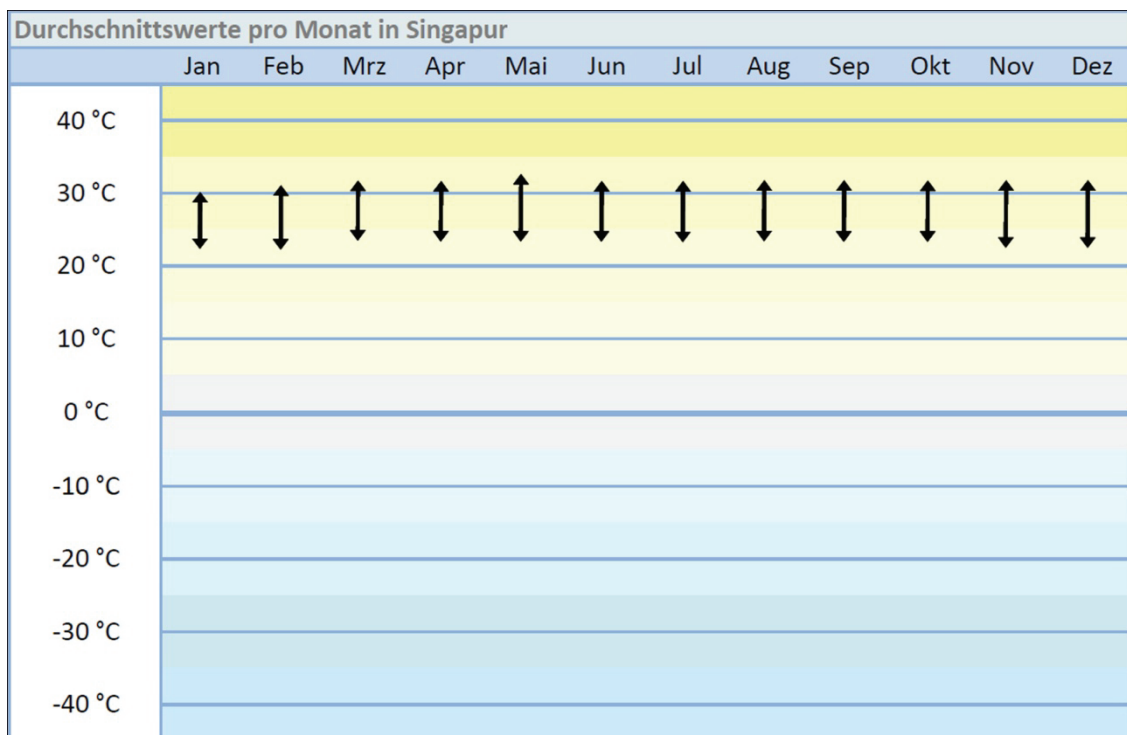


Abbildung 7: Durchschnittliche Temperaturen für Singapur

Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)

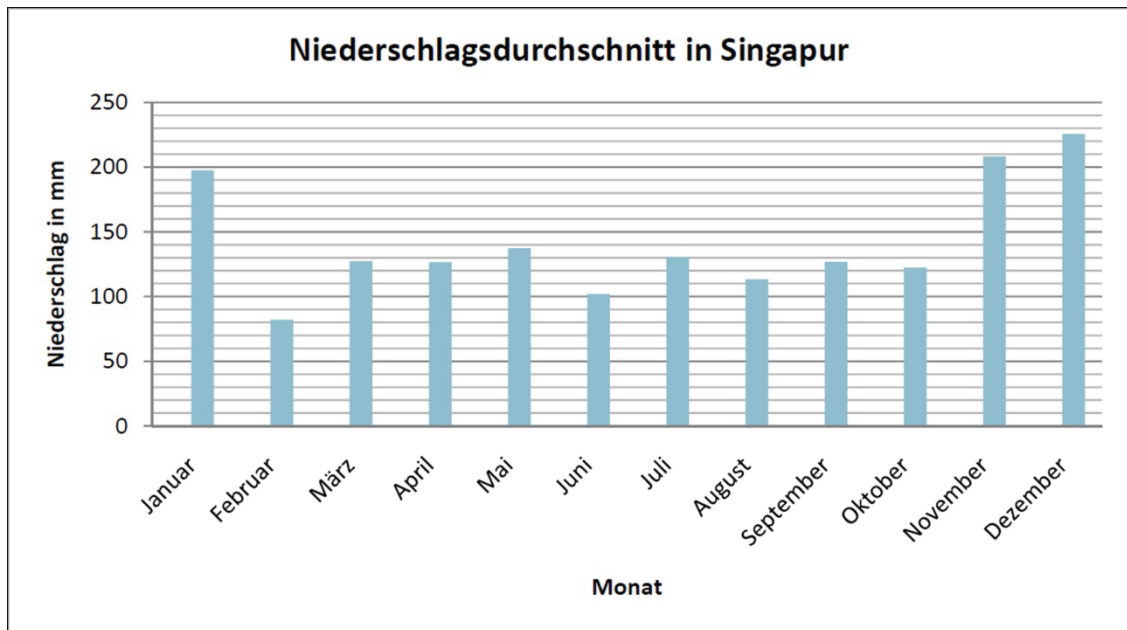


Abbildung 8: Niederschlagsdurchschnitt in Singapur

Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an (MSN-Wetter, 2010)

## 4. Grundlagen der Wurzelentwicklung und Baumpflanzungen auf Gründächern

### 4.1 Notwendigkeit der Wurzelentwicklung

Anders als der Mensch, der sich bewegen kann, um an seine Nahrung zu kommen, muss der Baum als Individuum sich an seinem vorgegebenen Standort ernähren. Er kann nicht selbständig auswählen und den Standort wechseln. Er muss sich den gegebenen Standortverhältnissen anpassen. Dies tut er, um zu überleben, mit erstaunlichen Leistungen.

Die Wurzel ist nach Blatt und Spross das dritte Grundorgan der Pflanze. Sie unterscheidet sich vom Spross vor allem dadurch, dass sie niemals Blätter trägt und keine Gliederung in Knoten und Internodien aufweist. Zur Wahrnehmung ihrer vielfältigen Funktionen für Vitalität, Wachstum und Standsicherheit des Baumes ist sie mit anatomischen, morphologischen und physiologischen Eigenschaften ausgestattet. Auch ist sie in der Lage, sich auf jeweilige Standortbedingungen einzustellen und sich Veränderungen in einem gewissen Rahmen

anzupassen. Endogene und exogene Faktoren beeinflussen das Wachstum, so dass sich unterschiedliche Wurzelsysteme entwickeln.<sup>14</sup>

Ein ausgebildetes Wurzelsystem enthält Wurzeln aller Altersstufen. Sie können zunächst nach ihren Funktionen differenziert werden. Zu den Skelettwurzeln werden alle sekundär verdickten, meist langlebigen Wurzeln ohne Sorptionsfähigkeit gezählt, Faserwurzeln sind die jüngsten Wurzelverzweigungen, die als Aufnahmeorgan zur Ernährung des Baumes dienen und sich zu Skelettwurzeln entwickeln. Sie werden dabei von kurzlebigen Wurzelhaaren unterstützt. Weiterhin ist analog zur Verzweigung in der Krone eine nach ihrem Durchmesser in Stark-, Derb-, Grob-, Schwach-, Fein- und Feinstwurzeln möglich. Ihnen liegt eine gleiche Entwicklungsgeschichte zugrunde, die bei den Feinstwurzeln beginnt.<sup>15</sup>

Baumstandorte auf Gründächern sind räumlich begrenzt. Eine ungehinderte Wurzelausbreitung ist daher nicht gegeben. Bei seitlichen Einschränkungen entwickeln sich halbseitige und bei geringen Aufschüttungen entwickeln sich flache Wurzelteller.

Durch baumpflegerische Maßnahmen können wir dem Baum helfen. Wir können seine standörtliche Situation auf unterschiedlichste Art und Weise verbessern.<sup>16</sup>

#### **4.1.1 Verbesserung der Lebensbedingungen für Bäume**

Mit zunehmender Belastung durch höhere Verkehrsdichte, Bebauung und schädliche Umwelt- und Umfeldbedingungen, haben sich die Lebensbedingungen der Bäume ständig verschlechtert. Gehölze, wie Sträucher und Bäume, benötigen einen ausreichenden Lebensraum um gedeihen zu können. Deshalb wurden eine Reihe von Richtlinien, Verordnungen und Vorschriften zum Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen erlassen.

---

<sup>14</sup> Vgl. (BI-FACHZEITSCHRIFTEN, 2010)

<sup>15</sup> Vgl. (BAUMPRÜFUNG-Das digitale Nachschlagewerk über Bäume, 2010)

<sup>16</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992)

Biologisch teilt sich das Lebewesen Baum in Wurzelwerk, Stamm und Krone auf, mit den jeweiligen zugeordneten Funktionen. Dem Wurzelwerk kommt allgemein eine besondere Bedeutung zu. Zum einen verankert das Wurzelwerk den Baum im Boden, des Weiteren, was genauso von existenzieller Notwendigkeit ist, sorgt es für die Wasser- und Nährstoffaufnahme.

Das Wurzelsystem kann seine vielfältigen Funktionen für einen Baum nur dann erfüllen, wenn es in jeder Lebensphase, entsprechend seiner individuellen Wachstumsansprüche, ausreichende Bedingungen vorfindet. Auch darf es keinen nachhaltigen Beeinträchtigungen ausgesetzt werden. Sind erst einmal Wuchsdepressionen oder sogar Schäden eingetreten, können gärtnerische und baumpflegerische Maßnahmen häufig nur noch schadensbegrenzend wirken. Auf gefährdeten Standorten kommt daher vorbeugenden Schutzmaßnahmen in der Wurzelentwicklung eine zentrale Rolle zu.<sup>17</sup>

#### **4.1.2 Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Wurzelschäden**

Die Vermeidung einer Wurzelschädigung ist der ideale Wurzelschutz. Vorbeugende Wurzelschutzmaßnahmen beginnen daher bereits in der Grünplanung, der Standortvorbereitung und der Pflanzung. Analog zur Kronenerziehung werden im Jugendstadium die entscheidenden Voraussetzungen für den Aufbau eines guten Wurzelsystems als Grundlage für eine vitale Gehölzentwicklung und eine erfolgreiche Etablierung am neuen Standort gegeben. Aufgrund der räumlichen Enge und der vielen konkurrierenden Nutzungen müssen Baumpflanzungen auf Gründächern besonders sorgsam vorgenommen werden.

In der Planungsphase müssen daher zunächst alle Einschränkungen eines Standortes erkannt, die Möglichkeiten der Standortverbesserungen geprüft, sowie die Auswirkungen der vorgesehenen Umfeldgestaltung – gerade auch mit Blick auf die Wurzelentwicklung der Bäume – beobachtet werden. Neue Pflanzstrategien und ein erweitertes Spektrum an Substraten und Baumaterialien zum Schutz und zur gezielten Steuerung des Wurzelwachstums können grundsätzlich die Wachstumsbedingungen auf Gründächern verbessern. Dennoch ist

---

<sup>17</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992)



primär eine Baumart auszuwählen, die am Standort für einen langen Zeitraum ein gesundes Baumwachstum erwarten lässt. Eine qualitative hochwertige Baumschulware, eine sachgerechte Pflanztechnik, sowie eine fachgerechte Pflege sichern in der Anwuchsphase die vitale Gehölzentwicklung am zu begrünenden Standort.<sup>18</sup>

Die Wachstumsvoraussetzungen sind hier für Bäume häufig unzureichend. Hierbei muss festgestellt werden, wie sehr der Wurzelraum eingeschränkt ist. Bäume sind in unterschiedlichem Maße fähig, ihr artspezifisches Wurzelsystem der jeweiligen Standortsituation anzupassen und bilden daher jeweils kompakte oder weitläufige bzw. oberflächennahe oder tiefgründige Wurzelsysteme aus. Die Wurzelsysteme entwickeln sich auf verdichteten, feuchten oder sauerstoffarmen Böden oberflächennah und sind hier zahlreichen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Auch der in der Praxis weit verbreitete zweischichtige Bodenaufbau, bei dem in der Regel nur der Oberboden organische Substanz enthält, fördert die Wurzelentwicklung nahe der Bodenoberfläche. Bei Verzicht der organischen Substanz und Verwendung eines strukturstabilen Substrates lässt sich bei einschichtiger Bauweise hingegen eine tiefergehende Durchwurzelung auf Grund der besseren Wasser- und Sauerstoffgehalte erzielen.

Baumpflanzungen auf versiegelten Flächen mit starker Beanspruchung wie auf Tiefgaragen und Gründächer sind nutzungsbedingt durch erhebliche Bodenverdichtungen beeinträchtigt. Eine bautechnische Stabilisierung des Wurzelraumes durch Beton-Fertigteile soll bereits bei der Pflanzung die Verdichtung verhindern. Bei allen Bauweisen sind die inneren Bodenbereiche durch freischwebende Abdeckungen geschützt, so dass die Baumscheiben begehrbar sind, der Druck aber nicht in das Erdreich der Baumgrube weitergegeben wird.

Untersuchen von Praxisfällen zeigen, dass auf diese Weise eine Bodenverdichtung des Pflanzsubstrates verhindert und eine gute Wurzelentwicklung ermöglicht wird. Es scheint zweckmäßig, nicht nur ein geeignetes Substrat zur Füllung

---

<sup>18</sup> Vgl. (Karl Schnelting, 1992, S. 44 - 45)

der Pflanzkörbe zu verwenden, sondern auch das Umfeld für eine mögliche Durchwurzelung vorzusehen.<sup>19</sup>

## 4.2 Wurzeltypen

Grundsätzlich geht man von drei Grundtypen der Wurzel Ausbildung aus. Diese Grundtypen können den verschiedenen Baumarten zugeordnet werden. Dies gilt jedoch nur für den natürlichen Baumstandort. Im Straßenbereich muss die Zuweisung der Wurzelformen zum Teil stark relativiert werden.<sup>20</sup>

Die drei Grundtypen sind:

- Flachwurzler
- Herzwurzler
- Pfahlwurzler

### *Flachwurzler*

Fichte, Pappel, Baumhasel, Weide und Rosskastanie sind heimische Baumarten, die eine Flachwurzel ausbilden. Diese können zum Teil mehr als 40-50 m weit ausstreichen, wobei dies vom Alter des Baumes und von den Standortbedingungen abhängt. Die Flachwurzeln gehen, je nach Bodensubstrat, ca. 0,4 - 0,6 m (in Ausnahmefällen bis zu 1,0 m) tief in den Boden ein und erstrecken sich dann horizontal.

Im Jungalter bilden diese Baumarten zunächst eine Pfahlwurzel, bevor sie ihre artgerechte Flachwurzel ausbilden.

Bäume mit Flachwurzeln sind windwurfgefährdeter als Herz- oder Pfahlwurzler, da sie weniger Widerstand gegen die auftretenden Windkräfte besitzen. Bei starken Stürmen werden diese Bäume meist mit dem gesamten Wurzelteller entwurzelt.

### *Herzwurzel*

---

<sup>19</sup> Vgl. (Malek & Wawrik, 1985, S. 88)

<sup>20</sup> Vgl. (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 2010, S. 14)

Eiche, Linde, Platane, Ahorn und Buche sind die heimischen Baumarten, die eine Herzwurzel ausbilden. Diese Bäume werden in der Regel sehr groß und kräftig. Mit der Ausbildung der großen Kronenwerke bilden diese Baumarten auch dementsprechend starke Wurzelwerke aus. Um das Gewicht der Krone und die auftretenden Wind- und Schneelasten ausgleichen zu können, bilden diese Baumarten das Herzwurzelsystem, das durch die Kombination aus kräftigen, tief und seitlich angeordneten Wurzeln dem Baum zu einem optimalen Halt verhilft.<sup>21</sup>

#### *Pfahlwurzel*

Kiefer und Eibe sind die heimischen Baumarten, die eine Pfahlwurzel ausbilden. Diese Baumarten bilden eine Wurzel senkrecht unter der Stammachse aus. Es handelt sich hierbei um genetische Informationen, die es dem Baum auf seinem ursprünglich sehr trockenen Standort ermöglichen, an tiefer gelegenes Grund- oder Schichtwasser zu gelangen. Weiterhin bildet der Großteil aller heimischen Baumarten im Jungalter eine Pfahlwurzel aus.<sup>22</sup>

### **4.3 Notwendigkeit bei Baumpflanzungen**

Baumpflanzungen auf dem Gründach bedürfen spezieller Fachkenntnisse, die für diese Standortverhältnisse geeignet sind. Standortprobleme müssen bereits während der Planung erkannt werden, um sie anschließend zur Verbesserung der Lebensbedingung der Bäume zu beseitigen oder zumindest zu minimieren. Durch die Anlage der Pflanzgrube, die Gestaltung des Umfeldes, die Wahl und den Aufbau des Bodensubstrates, sowie die Wahl der Baumart müssen langfristig wirksame Voraussetzungen für eine gute Baumentwicklung geschaffen werden, nur dann ist die Pflanzung gerechtfertigt.

Kriterien für die Auswahl von Bäumen sind entsprechend dem Verwendungszweck und der Standortsituation auszuwählen. Die Eignung einer Baumart für den Standort ist abhängig von ihren individuellen Wachstumsansprüchen. Zur

---

<sup>21</sup> Vgl. (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 2010, S. 15)

<sup>22</sup> Vgl. (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 2010, S. 15)

Optimierung von Baumpflanzungen sind nur standortgerechte Pflanzen zu verwenden. Viele Flachdächer lassen aber aufgrund der räumlichen Enge nur eine eingeschränkte Kronenausdehnung zu. Neben der Ausdehnung der ausgewachsenen Baumkronen ist der Raumbedarf des Wurzelbereichs zu berücksichtigen. Flachwurzler, die ein flaches Wurzelsystem haben sind auf Gründächern besser geeignet.

Zusammenfassend sind bei der Baumartenwahl folgende Kriterien zu berücksichtigen:<sup>23</sup>

- Bodenansprüche (Bodenluft- und Bodenwasserhaushalt, pH-Wert),
- Frosthärte, Wind-, Hitze- und Trockenheitstoleranz,
- Wurzelsystem und potentieller Durchwurzelungsraum,
- Kronendurchmesser und höhe,
- Erscheinungsbild (gestalterische Gesichtspunkte),
- Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen,
- Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadstoffen,
- Windbruchgefahr

Werden diese Gesichtspunkte nicht beachtet, sind negative Folgen unausweichlich. Die Baumwahl der jeweiligen Standorte muss spezifiziert werden (Klima, Boden, Platzverhältnisse etc.).

Aufgrund der speziellen Standortsituation „Flachdach“ kommt der Anlage der Pflanzgrube und der Wahl des Bodensubstrates eine besondere Bedeutung zu. Mängel in der Anlage können später nur bedingt korrigiert werden.

### **4.3.1 Baumgrubenherstellung**

Je nach Ergebnis der Bodenanalyse und der allgemeinen Standortsituation wird man die Baumgrubengröße und das zu verwendende Substrat wählen.

Je schlechter die Bodenqualität im Baumumfeld ist, desto größer wird man die Baumgrube gestalten müssen, vor allem in der horizontalen Ausdehnung. Während die Tiefe einer Baumgrube mit 0,75 bis 1,50 m plus Bodenlockerung und -

---

<sup>23</sup> Vgl. (Malek & Wawrik, 1985, S. 89)

verbesserung der Grubensohle in der Regel ausreichend bemessen ist, kann die horizontale Ausdehnung bis zu 10 m<sup>2</sup> betragen, wenn man die ausgewachsene Krone des zu pflanzenden Baumes mit einem Kronendurchmesser von 10 m einschätzt.

Wenn Bäume in Reihen gepflanzt werden, kann es durchaus sinnvoll sein, die Baumgruben miteinander zu verbinden.

Grundsätzlich sollte klar sein, dass die Anlage der horizontalen Größe der Baumgrube nicht identisch ist mit der Größe der geplanten offenen Baumscheibe.

#### **4.3.2 Baumgrubenherstellung, Fertigteile zur Grubensicherung und -abdeckung**

Für Baumpflanzungen in Gehwegbereichen, bei denen die Baumscheiben nahezu völlig begehbar gestaltet werden muss, bieten einige Hersteller komplette Bausysteme zur Herstellung einer Baumgrube an, die sicherstellen, dass der Boden nicht verdichtet wird, die Baumscheibe auf diesen Fertigteilen übergangen werden kann. Schon bei der Herstellung der Baumgrube werden Beton/Eisengerüste bis zu einem Meter tief eingebaut, die dann die flächenabschließenden Teile aufnehmen; *siehe Plan 2: Baumgrubensystem im Flachdach eingelassen, Seite 26.*<sup>24</sup>

Ist es nicht möglich Baumgrubensysteme in ein Flachdach abzusenken, werden die Fertigsysteme auf dem Dach befestigt, *siehe Plan 3: Baumgrubensystem auf dem Flachdach, Seite 27.*

---

<sup>24</sup> Vgl. (Malek & Wawrik, 1985, S. 99)

**Plan 2: Baumgrubensystem im Flachdach eingelassen**

**Plan 3: Baumgrubensystem auf dem Flachdach**

#### **4.4 Maßnahmen zur Verbesserung und zum Schutz des offenen Traufbereiches**

An einem naturnahen Standort eines Baumes wird der Boden im Traufbereich locker, feucht und durchlüftet sein. Je humoser der Boden, je aktiver das Bodenleben im Wurzelbereich ist, desto besser wird die Sauerstoffversorgung gewährleistet sein.

Die offene Baumscheibe im Gehwegbereich wird ohne weitergehende Fürsorge so verdichtet, dass eine Sauerstoffunterversorgung alsbald eintritt. Die Verdichtung wird durch das Begehen verursacht.

Um den meist ohnehin viel zu kleinen offenen Wurzelbereich der Bäume offenzuhalten, sollte man diesen Bereich mulchen, bepflanzen und / oder durch technische Einrichtungen gegen Begehen schützen.

Erfahrungsgemäß werden diese Maßnahmen von Mensch und Tier relativ gut akzeptiert und der Boden bleibt lockerer.<sup>25</sup>

- *Technik – Bodenmulche*

Das Abdecken der offenen Fläche mit einer Mulchschicht aus Laub, Rindenumus, Holzhäcksel oder Stroh hat sich grundsätzlich bewährt.

Untersuchungen haben ergeben, dass das Mulchen die Feuchtigkeit im Boden sehr viel länger hält (bis 27 Tage).

Die Zersetzung der Mulchschicht bringt Nährstoffe und organische Bestandteile in den Boden, aber bindet zeitweise auch einige Mineralien, die unter Umständen nachzubringen sind. Der pH-Wert kann durch Mulchen beeinflusst werden.

- *Bepflanzung*

Nicht jede Pflanze ist für eine Unterpflanzung geeignet. Die bodenbedeckenden Stauden und Gehölze dürfen keine Wurzelkonkurrenz zu der Baumwurzel verursachen, müssen schattenverträglich und regenerationsfähig sein. Die Auswahl wird von den Lichtverhältnissen mitbestimmt.

---

<sup>25</sup> Vgl. (SIEWNIAK & KUSCHE, 1994, S. 127)



Das Mulchen und / oder Bepflanzen ist vorerst aufwendiger. Es entsteht ein Pflegeaufwand, der sich aber bald wieder ausgleicht. Nicht erwünschte Wildkräuter werden unterdrückt, es werden weniger Wässerungen und Bodenlockerungen notwendig. Außerdem ist es eine optische und ökologische Bereicherung.

- *Mechanische Schutzmaßnahmen*

In vielen Fällen wird es notwendig sein, die ohnehin geringen Traufbereiche, auch wenn sie mit Mulch abgedeckt oder mit Bodendeckern bepflanzt sind, zusätzlich durch Betreten zu schützen. Wenn die offenen Traufbereiche (Baumscheiben) an stark beanspruchten Standorten liegen, müssen diese öfter zugänglich gemacht werden und mit technischen Oberflächenabschlüsse versehen werden. Speziell für diesen Zweck werden angeboten: Abdeckplatten aus Beton und Eisen, direkt in den Boden verlegt (Rasengittersteine) oder besser freitragend Punktfundamenten lagernd (verschiedene Baukastensysteme).

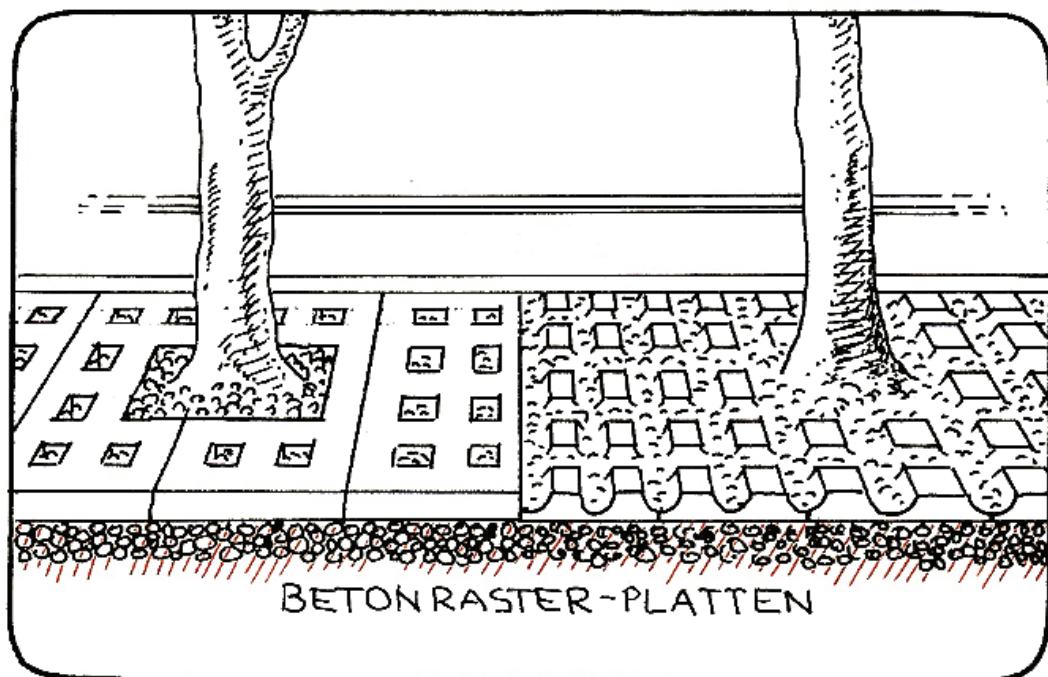


Abbildung 9: Fertigteile zur Grubenabdeckung

Quelle: (SIEWNIAK & KUSCHE, 1994, S. 146)

Komplette Baumgrubenkammern/ -körbe, die mit der Baumpflanzung eingebaut werden, eine seitliche Durchwurzelung ermöglichen und einen Oberflächenabschluss aus Rosten und Gittern aufnehmen. Alle diese „offenen“ Abdeckungen bedürfen einer zeitweiligen Pflege, weil die einsickernden Feinteile, Stäube und Unrat auf Dauer ebenfalls zu einer Verdichtung / Verschlämmung führen und somit zu entfernen sind.

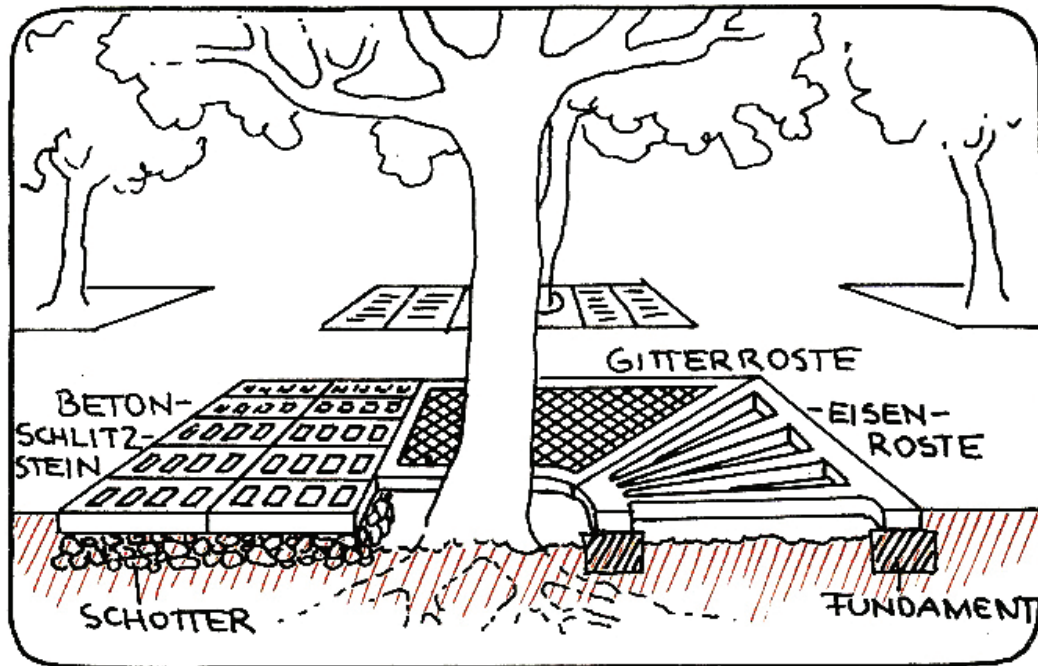


Abbildung 10: Fertigteile zur Grubenabdeckung

Quelle: (SIEWNIAK & KUSCHE, 1994, S. 146)

Empfehlenswert ist es, mit diesen oberflächlichen Verbesserungen am Standort auch die unterirdischen Verbesserungen einzubauen, wie in 3.1.3 erwähnt.

Wo immer es möglich ist, sollten die vorhandenen, zu kleinen Baumscheiben vergrößert und wieder offen gestaltet werden.

## 5. Anforderungen an die Vegetationstragschicht

Für die Vegetationsschichten im Aufbau von Dachbegrünungen sind die nachfolgenden aufgeführten Eigenschaften von Bedeutung. Sie sind bei der stofflichen Zusammensetzung der Vegetationssubstrate und bei ihrer Anwendung zu

beachten. Hinsichtlich der Anforderungen bestehen Unterschiede in Abhängigkeit von:

- Begrünungsart, ob aufwendige Intensivbegrünung oder eine einfache Intensivbegrünung vorgesehen ist;
- der Dachneigung, ob ein Flachdach mit oder ohne Gefälle zu begrünen ist;
- der Bauweise, ob sie drei-, zwei- oder einschichtig auszubilden ist.

Entsprechend der vorliegenden Aufgabenstellung beschränkt sich die Darstellung für Aufwendige Intensivbegrünung. Die Kriterien für die Ausbildung von Vegetationsschichten für die Aufwendige Intensivbegrünung sind in den „Grundsätzen für Dachbegrünung“ (FLL 2002) formuliert.<sup>26</sup>

Die Anforderungen an die Vegetationssubstrate beziehen sich auf die nächsten Gliederungspunkte.

### 5.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung bildet für die Vegetationssubstrate, die bei Aufwendiger Intensivbegrünung überwiegend aus mineralischen Ausgangsstoffen zusammengesetzt sind, eine grundlegende Kenngröße.

In Vegetationssubstraten soll der Gehalt an Ton und Schluff ( $d < 0,063$  mm) zusammen folgende Massenprozentage nicht überschreiten:<sup>27</sup>

- bei Intensivbegrünungen                      20 Massen-%

In Vegetationssubstraten für Intensivbegrünungen sollte der Gehalt an Ton und Schluff jeweils nicht über folgenden Werten liegen:

- Ton                      ( $d < 0,002$  mm)                      3-10 Massen-%
- Schluff                      ( $d = 0,002$  mm bis  $< 0,063$  mm)                      10-17 Massen-%

---

<sup>26</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 45)

<sup>27</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 46 - 47)

Das Größtkorn sollte bei Begrünungen auf Flachdächern abhängig von der Dicke der Vegetationstragschicht folgende Werte aufweisen:

- bis 10 cm  $d = 10-12$  mm
- über 10 cm  $d =$  bis 16mm

Die Körnungslinie von Vegetationssubstraten bei Intensivbegrünung soll in folgenden Bereichen liegen, *siehe Abbildung 11: Kornverteilungsbereich für Vegetationssubstrate, Seite 32:*

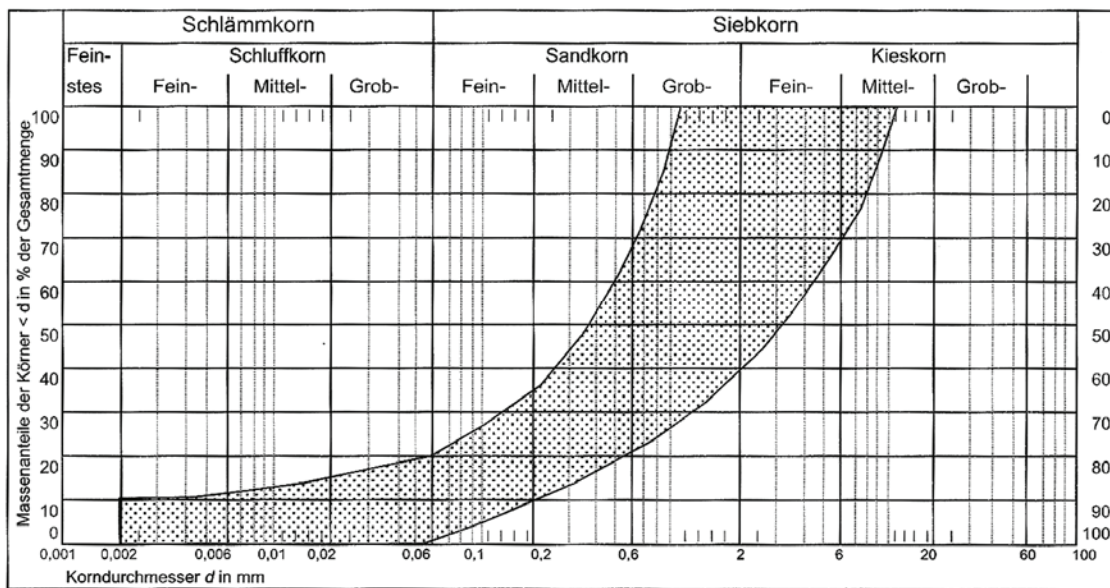


Abbildung 11: Kornverteilungsbereich für Vegetationssubstrate

Quelle: (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 47)

## 5.2 Struktur- und Lagerungsstabilität / Kornform

Die Vegetationssubstrate müssen eine für den jeweiligen Anwendungsfall ausreichend hohe Struktur- und Lagerungsstabilität aufweisen.

Sie dürfen nur geringen Setzungen nach dem Einbau und in der Folgezeit unterliegen.

Das Ausmaß der Setzungen nach dem Abschluss der Fertigstellungspflege durch Eigenlast des Aufbaues, Wassereinfluss, Umsetzungsprozesse oder

Pflegebelastungen darf bei Schichtdicken von mehr als 50 cm im Mittel nicht mehr als 5 cm betragen.<sup>28</sup>

Da das Stoff- und Einzelkorngewicht offenerporiger Stoffe wesentlich geringer ist als bei natürlichen Kiesen, wird die Lagerungsstabilität entscheidend von der Kornform und der Kornverteilung bestimmt. Gebrochene Körnungen weisen aufgrund der verzahnenden und scherfesten Lagerungsform eine verminderte Erosionsgefährdung auf. Die Lagerungsstabilität kann durch erhöhte Anteile gebrochener Kieskörnungen und den Einsatz kornabgestufter Gemische verbessert werden.

Bei Vegetationssubstraten mit geringer Lastannahme ist die Gefahr der Winderosion zu beachten. Gegebenenfalls müssen außer dem ständigen Feuchthalten zusätzliche Maßnahmen zur Windsogsicherung während der Bauausführung vorgesehen werden.

### **5.3 Wasserdurchlässigkeit**

Die Wasserdurchlässigkeit der Vegetationssubstrate muss ausreichend und dauerhaft gegeben sein, um das Überschusswasser an die Dränschicht oder bei einschichtiger Bauweise selbstdränend abführen zu können. Die Höhe der Wasserdurchlässigkeit ist abhängig von der Begrünungsart und von der Dachneigung. Sie wird als Wasserinfiltrationsrate mod.  $K_f$  ermittelt und soll für Substrate im verdichteten Zustand bzw. für Substratplatten im Einbauzustand bei Intensivbegrünungen  $\geq 0,0005$  cm/s bzw.  $\geq 0,3$  mm/min betragen.<sup>29</sup>

Dabei wird von einer verminderten Verdichtung mit 6 Schlägen gegenüber der methodischen Vorgabe in DIN 18035, Teil 4, ausgegangen.

Die Wasserdurchlässigkeit des Vegetationssubstrates ist auf die vorgesehene Dränschichtbauweise abzustimmen. Maßgebend sind Anteil und Größe der schnell dränenden Poren in beiden Schichten, wobei die überleitende Funktion der Filterschicht zu berücksichtigen ist. Im Schichtaufbau darf kein Kapillarbruch

---

<sup>28</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 48)

<sup>29</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 49)

auftreten, der zu anhaltenden Vernässungen der Vegetationsschicht führen kann.

#### **5.4 Wasserspeicherung / Wasserkapazität**

Die Vegetationssubstrate sollen eine möglichst hohe Wasserkapazität bei gleichzeitigem Einhalten eines Mindestluftgehaltes und einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Das Wasser soll in unterschiedlicher Bindungsintensität weitgehend pflanzenverfügbar gespeichert und kontinuierlich an die Pflanzen abgegeben werden.

Die maximale Wasserkapazität von Vegetationssubstraten, als Kenngröße für die Wasserspeicherfähigkeit, soll im verdichteten bzw. eingebauten Zustand, für Intensivbegrünungen  $\geq 45$  Vol.-% aufweisen.<sup>30</sup>

Die maximale Wasserkapazität sollte 65 Vol.-% nicht überschreiten, um Vernässungen zu vermeiden.

Die Höhe der Wasserkapazität in Schüttstoffgemischen wird in hohem Maße von der Wasseraufnahmefähigkeit der offenporigen mineralischen Ausgangsstoffe und von Art und Anteil an natürlicher organischer Substanz bestimmt. Bei der stofflichen Zusammensetzung der Vegetationssubstrate ist weiterhin die gute Wiederbenutzbarkeit und Wasseraufnahme nach Ab- bzw. Austrocknung zu beachten, um anfallende Niederschläge nutzen zu können.

#### **5.5 Frostbeständigkeit / Witterungsbeständigkeit**

Hinsichtlich der Frost- und Witterungsbeständigkeit ist davon auszugehen, dass Böden / Vegetationssubstrate auf allen Vegetationsstandorten einem natürlichen physikalischen, chemischen und biologischen Verwitterungs- und auch Entwicklungsprozess unterliegen. Standortbedingt sind aufgrund der verstärkten Einwirkungen zwar höhere Ansprüche an die Vegetationssubstrate zu stellen als bei einer bodengebundenen Begrünung.

---

<sup>30</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 49)

Wie Langzeituntersuchungen unter Freilandbedingungen zeigen, hat der partielle Zerfall von Körnern einiger offenporiger mineralischer Schüttstoffe an der Oberfläche von nicht begangenen Vegetationsschichten zu keinen nachhaltigen Beeinträchtigungen geführt. Dies gilt entsprechend für die ständige biologische Umsetzung organischer Bestandteile. Für die aufwendige Intensivbegrünung sind diese Kriterien zu beachten.

## 5.6 Gesamtporenvolumen, Porengrößenverteilung und Luftgehalt

Die Beachtung des Wasser- / Lufthaushaltes im Bodenaufbau und insbesondere in der Vegetationsschicht einer Dachbegrünung ist die Grundbedingung für die Entwicklung und Beständigkeit der Vegetation auf derartigen Extremstandorten. Als kennzeichnende Eigenschaften werden die maximale Wasserkapazität, der Luftgehalt bei maximaler Wasserkapazität und nach Abführung des Überschusswassers, sowie die Wasserdurchlässigkeit herangezogen. Diese Eigenschaften werden wiederum entscheidend vom Gesamtporenvolumen und von der Porengrößenverteilung bestimmt. In den weiten Grobporen kann Überschusswasser abgeführt werden, in den engen Grobporen und in den Mittelporen wird Wasser pflanzenverfügbar zurückgehalten. Das in den Feinporen mit höherer Saugspannung gebundene Wasser kann von „xeromorphen Pflanzen - bezeichnet man Pflanzen, die sich an extrem trockene Standorte angepasst haben, sogenannte Xeromorphie“<sup>31</sup> zum Teil genutzt werden.

Bei der Zusammensetzung des Vegetationssubstrates ist also ein ausgewogenes Volumenverhältnis zwischen fester Substanz und einem strukturstabilen Hohlraumvolumen zur Wasserspeicherung sowie zur Wasserabführung / Durchlüftung anzustreben.

Schüttstoffgemische auf der Basis natürlicher organischer Stoffe für Intensivbegrünungen können mit einem Gesamtporenvolumen bis über 90 Vol.-% ausgelegt werden. Der Luftanteil darf bei Ermittlung der maximalen Wasserkapazität im verdichteten Zustand methodisch bedingt unter 15 Vol.-% liegen, aber 10

---

<sup>31</sup> Vgl. (Wikipedia-Die freie Enzyklopädie, 2010)

Vol.-% nicht unterschreiten. Nach Entwässerung der weiten Grobporen soll ein Luftvolumen von mindestens 20 % erreicht werden.<sup>32</sup>

### **5.7 pH-Wert**

Der pH-Wert ist auf die Ansprüche der Vegetation und im Einzelfall auch auf Art und Anteil der organischen Substanz im Vegetationssubstrat abzustimmen. Er liegt in der Regel bei Intensivbegrünungen im schwach sauren bis neutralen Bereich zwischen pH 5,5 – 8,5. Bei einem hohen Anteil an organischer Substanz sollte ein pH-Wert von 6,0 nicht überschritten werden, um biologischen Abbau möglichst gering zu halten.<sup>33</sup>

### **5.8 Salzgehalt**

In Vegetationssubstraten darf der Gehalt an löslichen Salzen im Wasserauszug aus pflanzenphysiologischer Sicht 2,5 g/Liter bei Intensivbegrünungen nicht überschreiten.

Dabei wird von den Ansprüchen der Pflanzen bei Intensivbegrünungen mit Anstaubewässerung ausgegangen.

Höhere Salzgehalte können entstehungs- bzw. herkunftsbedingt bei einigen Ausgangsstoffen, wie zum Beispiel Ton, Blähton, Blähschiefer, Ziegelbruch oder Rindenumus auftreten, was bei der Zusammensetzung der Schüttgemische zu beachten ist.<sup>34</sup>

### **5.9 Kalkgehalt (Carbonat)**

Der Gehalt an leicht löslichem Kalk sollte sehr gering sein, um Auswaschungen in Entwässerungseinrichtungen auszuschließen.

---

<sup>32</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 49)

<sup>33</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 49)

<sup>34</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 50)



Aufgrund neuer Erkenntnisse werden die Carbonate bei den Vegetationsschichten und Dränschichten nicht mehr durch die FLL „Dachbegrünungsrichtlinie“ als Beurteilungskriterien herangezogen.<sup>35</sup>

### 5.10 Pflanzenverträglichkeit / phytotoxische Stoffe

Für Vegetationssubstrate dürfen keine Ausgangsstoffe verwendet werden, die pflanzenschädigende Bestandteile enthalten. Dies kann zum Beispiel der Fall sein bei Schlacken oder Klärschlamm enthaltenden Komposten durch hohe Gehalte an Schwermetallen und Salzen.

### 5.11 Gehalt an Nährstoffen und Adsorptionskapazität

Die Vegetationsschicht hat Nährstoffe für die Pflanze zu speichern und soll gegenüber Mangel und Überdünung ausreichend gepuffert sein. Die Nährstoffgehalte sind auf die Ansprüche der Vegetation abzustimmen. Für Vegetationssubstrate bei Intensivbegrünungen werden die anzustrebenden pflanzenverfügbaren Nährstoffmengen in der FLL „Grundsätzen der Dachbegrünungen“ vorgegeben, *siehe Abbildung 12: Nährstoffgehalte in Vegetationssubstraten, Seite 37.*

	Nährstoffe in mg / Liter			
	N ( CaCl <sub>2</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( CAL )	K <sub>2</sub> O ( CAL )	Mg ( CaCl <sub>2</sub> )
<b>Intensivbegrünung</b>	≤ 80	≤ 200	≤ 700	≤ 160

Abbildung 12: Nährstoffgehalte in Vegetationssubstraten

Quelle: eigene Darstellung mit Anlehnung an die (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 50)

Nach dem heutigen Erkenntnisstand ist davon auszugehen, dass für Vegetationssubstrate bei Intensivbegrünungen höchstens die Hälfte der angegebenen Nährstoffmengen anzusetzen ist.

<sup>35</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 50)

## **5.12 Gehalt an organischer Substanz und C/N Verhältnis**

Ein angemessener Anteil an organischer Substanz ist erforderlich, um eine ausreichende Pufferung und Adsorptionskapazität einzustellen. Humus ist als organischer Austauscher für eine Stickstoff- und Phosphormineralisation und die Entwicklung eines aktiven Bodenlebens notwendig. Das Fehlen eines ausreichenden Humusanteils hat zur Folge, dass Schüttstoffgemische, die als Rohböden anzusprechen sind, zunächst nur eine geringe Bodenaktivität entwickeln. Die Humusbildung ist erforderlich, um eine langfristig gesicherte, gleichmäßige Nährstoffversorgung durch Mineralisationsprozesse zu gewährleisten. Diese Entwicklung ist bei Vegetationssubstraten aus Schüttstoffen in einschichtiger Bauweise nur eingeschränkt möglich.

Werden Rindenumus und Komposte, wie zum Beispiel aus Rückständen der Grünflächenpflege, eingesetzt, so müssen diese in fertig fermentierter / kompostierter Form vorliegen, frei von Wuchshemmstoffen sein und eine gesicherte N-Stabilisierung aufweisen. Der Gehalt an Mangan, Eisen und Bor ist zu beachten. Der Lindan-Gehalt in Rindenumus darf 0,5 mg/Liter Frischsubstanz nicht überschreiten.

Für Vegetationssubstrate sollte ein C/N-Verhältnis von < 30 angestrebt werden. Dies ist insbesondere bei Verwendung von Komposten in den Gemischen, die aus leicht zersetzbaren organischen Stoffen bestehen, zu berücksichtigen.<sup>36</sup>

## **5.13 Gehalt an keimfähigen Samen und regenerationsfähigen Pflanzenteilen**

Die Ausgangsstoffe und die Vegetationssubstrate dürfen keine lebenden Pflanzen oder regenerationsfähigen Pflanzenteile, insbesondere von Wurzelunkräutern enthalten. Bei Verwendung von natürlich anstehenden Böden in Vegetationssubstraten ist es daher zweckmäßig, Unterboden anstelle von Oberboden zu verwenden, womit gleichzeitig das Einbringen von keimfähigen Samen verringert wird.

---

<sup>36</sup> Vgl. (HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER, 2010)

Bei längerer Ausführungsunterbrechung zwischen Aufbringen der Vegetationsschicht und Einbringen der Begrünung aufkommender Aufwuchs kann zu Beeinträchtigungen führen oder zusätzliche Beseitigungsmaßnahmen erfordern. Das gilt insbesondere für die Ausbildung der Intensivbegrünungen. Es ist daher notwendig, die Ausgangsstoffe bereits bei der Gewinnung und Aufbereitung und die Vegetationssubstrate bei der Herstellung und Zwischenlagerung vor dem Eintrag von Samen zu schützen.<sup>37</sup>

#### **5.14 Ausbildung und Herstellung von Vegetationsschichten**

Als physikalisches Gerüst des Substrats dienen grundsätzlich mineralische Bestandteile, die durch Zuschlagstoffe (Nährstoffe, Bodenhilfsstoffe) angereichert werden. Um zu schnelles Wachstum und das Überhandnehmen von Fremdwuchs zu verhindern, soll der Nährstoffgehalt des Substrats gering sein, aber mit zunehmender Schichtdicke steigen.

Da Gründächer zur Versauerung neigen, ist die Beimischung oder Abdeckung mit Kalkschotter, der langsam über die Jahre Kalk abgibt, zu empfehlen. Schließlich sind die Unterschiede der Substrate bezüglich ihrer Puffereigenschaften zu beachten. Im Gegensatz zur Extensivbegrünung sollte das Substrat einer Intensivbegrünung bindiger und feinporiger sein, um das Wasser nach einem Regenereignis länger speichern zu können.

### **6. Lastannahmen**

Die Vegetationssubstrate weisen aufgrund der weit auseinanderliegenden Volumengewichte der Ausgangsstoffe sowohl im trockenen als auch im wassergesättigten Zustand sehr unterschiedliche Lasten auf, *siehe Abbildung 13: Lastannahmen von Stoffen, Matten und Platten für Dränschichten bei maximaler Wasserkapazität, Seite 40.*<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 50)

<sup>38</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 19)

6.Lastannahmen

Stofgruppe Stoffart	Körnung in mm	Flächenlast je 1 cm Schichtdicke	
		kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Mineralische Schüttstoffe</b>			
Kies	4/8 - 8/16	16 - 18	0,16 - 0,18
Lava	2/8 - 8/16	11 - 14	0,11 - 0,14
Bims	2/8 - 4/12	11 - 12	0,11 - 0,12
Blähton, ungebrochen	4/8 - 8/16	5 - 6	0,05 - 0,06
Blähschiefer, ungebrochen	4/8 - 8/16	6 - 7	0,06 - 0,07
Blähton, gebrochen	2/8 - 4/ 8	6 - 8	0,06 - 0,08
Blähschiefer, gebrochen	2/8 - 4/11	6 - 8	0,06 - 0,08
<b>Recycling-Schüttstoffe</b>			
Ziegelbruch	4/8 - 8/16	10 - 13	0,10 - 0,13
Schlacken	n.b	n.b	n.b
Schaumglas	10/25	2,5 - 3	0,025 - 0,03
	Schichtdicke in cm	Flächenlast der Gesamtschicht	
		kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Dränmatten</b>			
Strukturvliesmatten	1,0	5,6 - 7,5	0,056 - 0,075
Kunststoffnoppenmatten	1,2	2,1 - 2,3	0,021 - 0,023
Fadengeflechtmatten	1,0	2,2 - 2,3	0,022 - 0,023
Fadengeflechtmatten	2,2	2,2 - 2,3	0,022 - 0,023
Schaumstoff-Flockenmatten	3,5	5,6 - 5,9	0,056 - 0,059
<b>Dränplatten</b>			
Kautschuk-Noppenplatten	2,0	11,0 - 13,0	0,110 - 0,130
Schaumstoff-Dränplatten o.A.	5,0	1,8 - 2,5	0,018 - 0,025
Schaumstoff-Dränplatten o.A.	6,5	2,0 - 2,8	0,020 - 0,028
Hartkunststoff-Profilplatten m.A.	4,0	19,0 - 21,0	0,190 - 0,210
Hartkunststoff-Profilplatten m.A.	6,0	24,0 - 26,0	0,240 - 0,260
Schaumstoff-Profilplatten m.A.	6,0	16,0 - 18,0	0,160 - 0,180
Schaumstoff-Profilplatten m.A.	8,0	24,0 - 27,0	0,240 - 0,270
Schaumstoff-Profilplatten m.A.	10,0	33,0 - 36,0	0,330 - 0,360
Schaumstoff-Profilplatten m.A.	12,0	44,0 - 46,0	0,440 - 0,460
<b>Drän- und Substratplatten</b>			
Platten aus modifizierten Schaumstoffen	3	22,0 - 26,0	0,220 - 0,260
o.A. = ohne Anstau m.A. = mit Anstau n.b. = nicht bestimmt			

Abbildung 13: Lastannahmen von Stoffen, Matten und Platten für Dränschichten bei maximaler Wasserkapazität

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an die (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 67)

Wenn es um die Last einer Dachbegrünung geht, sind verschiedene Aspekte zu beachten. Für den Statiker ist meist das komplette Gewicht einer Dachbegrünung (Schichtaufbau und Pflanzen) im wassergesättigten (also im schwersten Fall) wichtig, um die statischen Erfordernisse zu planen. Neben der stets zu beachtenden regional unterschiedlichen Schneelast und der nutzungsabhängigen Verkehrslast, kommt die Flächenlast der Dachbegrünung dazu, die als ständige Last (Eigengewichtslast) verstanden wird.<sup>39</sup>

Die ständige Last wird auch als Nutzlast bezeichnet. Sie besteht aus der Lastannahme für alle Schichten. Dazu gehören beispielsweise Dachdichtung, Wärmedämmung, Schutzlage, Kiesabdeckung sowie Drän-, Filter- und Vegetationstragschichten. Der Begrünungsaufbau ist mit all seinen Schichten bei maximaler Wasserkapazität einschließlich der Flächenlast der Vegetation als Bestandteil der ständigen Last einzustufen, *siehe Abbildung 14: Lastannahmen von Vegetationssubstraten und Vegetationsmatten bei maximaler Wasserkapazität, Seite 42.*

Wird ein Neubau geplant, so wird unter Berücksichtigung der gewünschten Schichtdicken des Grünaufbaus und der Dichte des vorgesehenen Stoffes die notwendige ständige Last des Daches festgelegt und die bautechnischen Voraussetzungen bei der Tragkonstruktion geschaffen.

Bei der Verwendung größerer Schichtdicken - und bei voraussehbarer ständiger Belastung durch Personen - sind ständige Lasten von etwa 3,5 bis 5,0 kN/m<sup>2</sup> erforderlich. Hier muss im Regelfall die Begrünung den vorhandenen Lastreserven angepasst werden, wenn nicht durch aufwändige Baumaßnahmen eine Verstärkung der Tragkonstruktion sichergestellt wird.

---

<sup>39</sup> Vgl. (Baunetz Wissen Flachdach, 2010)

## 6. Lastannahmen

Substratgruppe Substratart	Flächenlast je 1 cm Schichtdicke	
	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Bodengemische, Sandgemische</b>		
Boden-Gemische mit mineralische und organischen Zuschlagsstoffen	16 - 19	0,16 - 0,19
Sand-Gemische mit mineralischen und organischen Zuschlagsstoffen	16 - 18	0,16 - 0,18
<b>Mineralische Schüttstoffe mit hohem Anteil an organischer Substanz</b>		
Torf-Mineralstoff-Gemisch ( stabilisierte Torfkultursubstrate )	10 - 13	0,10 - 0,13
Rindenumus/Kompost-Mineralstoff-Gemische ( stabilisierte Rindenkultursubstrate )	11 - 13	0,11 - 0,13
<b>Mineralische Schüttstoffe mit geringem Anteil an organischer Substanz</b>		
Lava-Gemische	15 - 18	0,15 - 0,18
Bims-Lava-Gemische	13 - 16	0,13 - 0,16
Blähton und Blähschiefer-Gemische	10 - 13	0,10 - 0,13
Schlacken-Gemische	7 - 15	0,07 - 0,15
Ziegelbruch-Bims-Gemische	16 - 18	0,15 - 0,18
<b>Mineralische Schüttstoffe mit offenporiger Kornstruktur</b>		
Lava 1/12 mm	11 - 14	0,11 - 0,14
Bims, gereinigt 1/12 mm	7 - 8	0,07 - 0,08
Bims, ungereinigt 1/12 mm	11 - 12	0,11 - 0,12
Blähton, gebrochen 1/ 8 mm	7 - 8	0,07 - 0,08
Blähschiefer, gebrochen 1/11 mm	7 - 8	0,07 - 0,08
<b>Recycling-Schüttstoffe</b>		
Ziegelbruch 1/12 mm	10 - 13	0,10 - 0,13
Schlacken 1/12 mm	n.b.	n.b.
	<b>Flächenlast der Gesamtschicht</b>	
	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Vegetationsmatten</b>		
Fadengeflechtmatten	25 - 35	0,25 - 0,35
Naturfasermatten	20 - 50	0,40 - 0,50
Vliesstoffmatten	20 - 30	0,20 - 0,30
Fertigrasen 2 cm Nennschäldicke	30 - 40	0,30 - 0,40
n.b.	= nicht bestimmt	

**Abbildung 14: Lastannahmen von Vegetationssubstraten und Vegetationsmatten bei maximaler Wasserkapazität**

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an die (FLL; Forschungsgesellschaft  
Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 68)

Zu den weiteren zu ermittelnden Lasten gehören die gesondert Punktlasten von großen Sträuchern und Bäumen, *siehe Abbildung 15: Flächenlast bei der Intensivbegrünung, Seite 43.*<sup>40</sup>

Vegetationsform	Lastannahme	
	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
<b>Intensivbegrünung</b>		
Rasen	5	0,05
Niedrige Stauden und Gehölze	10	0,10
Stauden und Sträucher bis 150 cm Höhe	20	0,20
Sträucher bis 3 m Höhe	30	0,30
Großsträucher bis 6 m Höhe	40	0,40
Kleinbäume bis 10 m Höhe	60	0,60
Bäume bis 15 m Höhe	150	1,50

**Abbildung 15: Flächenlast bei der Intensivbegrünung**

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an die (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 69)

Die ausreichende Druckfestigkeit der Dämmungen in Verbindung mit der Dachabdichtung muss insbesondere bei der Herstellung der Dachbegrünung und der Anordnung von Punktlasten beachtet werden.<sup>41</sup>

## 7. Substrat

Für die Herstellung der Vegetationstragschicht einer Dachbegrünung werden in der Regel keine natürlich vorkommenden Böden sondern Vegetationssubstrate aus überwiegend mineralischen Schüttstoffen eingesetzt, denen ein mehr oder weniger hoher Anteil an organischer Substanz beigemischt wird. Neben natürlich vorkommenden Stoffen (z.B. Lava oder Bims) werden heute vermehrt auch Recyclingstoffe (z.B. Tonziegel und Kompost) als Basis für Vegetationssubstrate verwendet.

Die Stoffauswahl und die notwendige Schichtdicke hängen zum einen von bautechnischen Erfordernissen ab, statische Möglichkeiten, Lagesicherheit bei

<sup>40</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 69)

<sup>41</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 19)

Wind und Standsicherheit bei Gehölzen, zum andern spielt natürlich die vegetationsstechnische Zielsetzung eine wichtige Rolle (Luft- /Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung, pH-Wert, ...).

Ein Vegetationssubstrat für Intensivbegrünungen ist in der Regel feiner, enthält mehr Nährstoffe und wird in größerer Schichtdicke aufgebracht als ein Substrat für Extensivbegrünungen. Soll die Vegetationstragschicht gleichzeitig Drainagefunktion übernehmen, muss der Gehalt an Feinteilen (Ton und Schluff) sogar auf höchstens 7 Massen-% begrenzt werden, ansonsten sind separate Dränschichten vorzusehen.

Das Substrat dient als Durchwurzelungsschicht für die Vegetation, Nährstoff- und Wasserspeicher aber auch der Wasserabführung. Ebenfalls muss es den Pflanzen genügend Halt bieten und für geordneten Luft- und Wasserhaushalt sorgen. Es muss ferner selbst hohe Strukturstabilität, Trittfestigkeit und Erosionsbeständigkeit aufweisen und darf bei starkem Regen nicht verschlämmen, nicht wesentlich zusammensacken und im Laufe der Zeit nicht wesentlich zersetzt werden. Insbesondere bei intensiven Dachbegrünungen ist eine kompakte und über Jahre hinweg formstabile Substratschicht sicherzustellen, die einen ausreichenden Luftdurchlass und einen geordneten Wasserabzug ermöglicht.<sup>42</sup>

### **7.1 Substrate auf der Basis von natürlichen organischen Stoffen für die Planungsgebiete Deutschland und Singapur**

Die angestrebte Verminderung der Lastannahme im Anwendungsbereich der Dachbegrünung, wurden spezielle Vegetationssubstrate entwickelt.

Den speziellen Anforderungen entsprechend werden zur Verbesserung der Strukturstabilität grobfaserige Torfarten oder Rindenhumus als Basisstoff verwendet und gerüstbildende, poröse und leichte Stoffe wie Blähton, Lava und Bims zugesetzt. Die Entwicklung und Erprobung derartiger Vegetationssubstrate für Dachbegrünungen begann annähernd zeitgleich mit dem Einsatz von Bo-

---

<sup>42</sup> Vgl. (PATENT-DE, 2010)



den-Schaumstoff-Gemischen und orientierte sich an den Ansprüchen von Intensivbegrünungen.<sup>43</sup>

Geeignete Kultursubstrate sollten etwa 10 – 20 % an fester Substanz enthalten und bei Wassersättigung im verbleibenden Porenraum zu 70 Vol. % mit Wasser und zu 30 % mit Luft gefüllt sein. Dabei ist anzustreben, dass das Wasser zu einem möglichst großen Teil in pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Bei einem schichtweisen Aufbau kann das Wasser- / Luftverhältnis in der Substratschicht zugunsten einer höheren Wasserspeicherefähigkeit verschoben werden, wenn der Gasaustausch für die Wurzelatmung über eine grobporige Dränschicht gewährleistet ist.<sup>44</sup>

Der Vorteil der Kultursubstrate liegt darin, dass sie den jeweiligen Anforderungen entsprechend zusammengesetzt und industriell vorgefertigt werden können. Gute Kultursubstrate besitzen eine geringe biologische Aktivität und ein geringes Gewicht, sie weisen einen ausgewogenen Wasser- und Lufthaushalt auf, verfügen über eine gute Speicherefähigkeit für Nährstoffe, sind gegenüber Mangel und Überdüngung gut gepuffert und zudem unkrautfrei.<sup>45</sup>

Aufgrund ihrer schwammigen Struktur sind diese Kultursubstrate zwar betretbar, aber nicht dauernd belastbar. Ihre Eignung für unbelastete Vegetationsflächen ist dagegen aufgrund langjähriger Erfahrungen für Intensivbegrünungen erwiesen. Bei einem zu geringen Anteil an strukturstabilisierenden und gerüstbildenden Zuschlagstoffen bzw. zu lockerem Einbau kann es in dickeren Einbauschichten allerdings zu erheblichen Sackungen kommen. Um die Anfangssackung auszuschalten, ist das Substrat beim Einbau anzudrücken. Der Volumenverlust kann gegenüber der lockeren Schüttung bis 30 % betragen. Langfristig gesehen ist eine weitere Sackung durch die dem allmählichen biologischen Abbau unterliegende organische Substanz nicht zu vermeiden. Eine wesentliche Anfangsüberhöhung der Schichtdicke kann daher zweckmäßig sein. Der Abbauprozess verläuft aber umso langsamer, je gröber strukturiert die

---

<sup>43</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992)

<sup>44</sup> Vgl. (FRANZ PENNINGSFELD, 1966, S. 54)

<sup>45</sup> Vgl. (REEKER, 1973, S. 44)

organische Substanz vorliegt, wie es bei grobfaserigem Torf und gröber strukturiertem Rindenumus der Fall ist.<sup>46</sup>

Inzwischen werden den Vegetationssubstraten für Intensivbegrünungen in der Regel 40 Vol. % an strukturstabilisierenden Gerüstbaustoffen zugegeben und bei Einsatz von Blähton oder Blähschiefer gebrochene Körnungen verwendet. Es werden Torf-Mineralstoff-Gemische in Form von stabilisierenden Torfkultursubstraten, Rindenumus-Mineralstoff-Gemische in Form von stabilisierten Rindenkultursubstraten oder Gemische aus beiden Ausgangsstoffen sowie unter Verwendung von Schwarztorf hergestellt.<sup>47</sup>

Die Vegetationssubstrate weisen von allen Schüttstoffgemischen die günstigsten vegetationstechnischen Eigenschaften für Intensivbegrünungen auf. Sie erbringen mit 0,10 – 0,13 kN/m<sup>2</sup> die geringste Lastannahme, weisen mit 50 – 80 Vol. % die höchste maximale Wasserkapazität sowie das höchste Gesamtporenvolumen zwischen 70 – 90 Vol. % auf und erreichen bei hoher Stabilisierung ein ausreichendes bis hohes Luftvolumen auch bei hohen Wassergehalten und eine gute Wasserdurchlässigkeit. In den Eigenschaften, die den Wasser- / Lufthaushalt bestimmen, sind die Torf-Mineralstoff-Gemische etwas günstiger einzustufen. Mit pH-Werten von 5,5 – 8,5 liegen sie im mäßigen bis schwach sauren Bereich, die Rindenumus-Mineralstoff-Gemische mit pH 6,0 – 7,0 im schwach sauren bis neutralen Bereich.<sup>48</sup>

Die Suche nach einem optimalen Substrat für Baumpflanzungen auf Gründächern wird zurzeit intensiv betrieben.<sup>49</sup>

- Das Substrat muss ein verdichtungsstabiles Makroporensystem haben. Ausgangsgrößen könnten sein: 43 % Kies, 36 % Sand, 18 % Schluff und 3 % Ton.

---

<sup>46</sup> Vgl. (KRUPKA, Dachbegrünung: Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken, 1992, S. 89)

<sup>47</sup> Vgl. (KRUPKA, Dachbegrünung: Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken, 1992, S. 50)

<sup>48</sup> Vgl. (FRANZ PENNINGSFELD, 1966)

<sup>49</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992, S. 123)

- Das Substrat kann einheitlich als Unter- und Oberbau angewandt werden, wenn es keine organischen Anteile enthält.
- Werden dem Substrat organische Anteile zugemengt, um eine entsprechende Bodenflora zu bekommen, darf dieses nur in die oberen 40 cm eingebracht werden. Es sind dies vorrangig Komposterde und verschiedene Bodenhilfsstoffe.
- Weitere Zuschlagsstoffe zur Stützung der Kornabstufung, zu besseren Wasserhaltung und Durchlüftungen werden je nach Verfügbarkeit und Einschätzung der Umweltverträglichkeit eingemischt, wie z.B. Lavaprodukte, Bims, Gesteinsmehle, Ton- und synthetische Produkte.

Das richtige Substrat, für den jeweiligen Standort, sollte an dem Standort selbst getestet werden.

## **7.2 Bodenbelüftung und Bodenstrukturverbesserung**

Für die Baumphysiologie ist der Sauerstoff- und Wasseranteil im Boden ganz entscheidend. Luft und Wasser sind gleich bedeutend, beide müssen in einem ausgewogenen Verhältnis im Boden vorhanden sein. Diese Ausgewogenheit muss nicht ständig und gleichzeitig, sondern kann auch im ständigen Wechsel gegeben sein.

Voraussetzung für eine für den Baum günstige Ausgeglichenheit ist eine gute Bodenstruktur. Die ideale Struktur lässt ein ständiges Durchdringen des Bodens mit Luft und Wasser zu.

Diese ideale Bodenstruktur gibt es weder in der Natur noch in unseren urbanen Standorten allzu häufig. Die verschiedenen Baumarten haben sich den speziellen Bodenstrukturen unterschiedlich gut angepasst.

Den speziellen Ansprüchen verschiedener Baumarten an den Boden müssen wir zuallererst Rechnung tragen. Darüber hinaus können wir die Bodenstrukturen an Baumstandorten durch gezielte Maßnahmen verbessern.

Ist der Sauerstoffanteil in der Bodenluft unter 12 % gesunken oder der CO<sub>2</sub> – Gehalt von 1 % überschritten, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Bei Neupflanzungen ist dies noch relativ einfach.

### 7.3 Herstellende Unternehmen von Dachbegrünungssubstraten

Die Qualität der Dachbegrünungssubstrate ist ein wichtiger Faktor für eine dauerhafte und erfolgreiche Begrünung. Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Unternehmen haben sich in der Praxis über viele Jahren hinweg etablieren können.

Die von den einzelnen Firmen angebotenen Substrate, werden nach den Richtlinien der FLL hergestellt und sind in verschiedenen Lieferformen erhältlich.

#### 7.3.1 VulkaTec Riebensahm GmbH – Pflanzsubstrate & Filtermaterialien

Substrat: *Vulkaplus intensiv 0/12 - blasbar - Gütegesichert nach RAL-GZ 253*<sup>50</sup>

- Mineralisches / organisches Substrat, entmischungssicher zusammengesetzt
- Basiskomponenten sind Natur-Bims, Leicht-Lava, Rindenkompost, Grünkompost und Torf
- Die Mischung ist offenporig und mit hohem Gesamtporenvolumen versehen, besitzt eine gute Nährstoffspeicherkapazität und ist sehr keimungs- und wachstumsfördernd
- Für anspruchsvolle Begrünungsarten, wahlweise mit unterschiedlichen pH-Werten, abgestimmt auf die geplante Vegetation, Baumpflanzungen und Baumsanierungen

#### *Vegetationstechnische Eigenschaften*

	<b>Vulkaplus „intensiv“</b>	<b>Anforderungen gemäß FLL</b>
<b>Korngrößenverteilung</b>		
abschlämbbare Bestandteile	6 – 12 Massen %	≤ 20 Massen %
Fein- / Mittelkies	50 – 60 Massen %	≤ 60 Massen %

<sup>50</sup> Vgl. (VULKATEC, 2010)

7.Substrat

<b>Volumengewicht verdichtet</b>		
trockener Zustand	0,95 – 1,05 to/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,3 to/m <sup>3</sup>
bei max. Wasserkapazität	1,45 – 1,60 to/m <sup>3</sup>	1,0 – 1,8 to/m <sup>3</sup>
<b>Wasser- / Luft-Haushalt</b>		
maximale Wasserkapazität	45 – 50 Vol. %	≥ 45 Vol. %
Wasserdurchlässigkeit mod. K*	0,01 – 0,1 cm/s	≥ 0,0005 cm/s
<b>pH-Wert</b>	6,5 – 7,5	5,5 – 8,5
<b>Carbongehalt</b>	8 g/l	≤ 25 g/l
<b>Salzgehalt</b>	0,5 – 1,5 g/l	≤ 2,5 g/l
<b>Organische Substanz</b>	6,5 Massen %	6 – 12 Massen %

Abbildung 16: Vegetationstechnische Eigenschaften von „Vulkaplus intensiv 0/12“

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (VULKATEC, 2010)

*Zusammensetzung*

<b>Bestandteil</b>	<b>Anteil</b>
Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> )	46,00 %
Aluminium (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14,00 %
Magnesium (MgO)	10,30 %
Kali (K <sub>2</sub> O)	4,40 %
Mangan (MnO)	0,80 %
Eisen (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,90 %
Kalk (CaO)	8,70 %
Natrium (Na <sub>2</sub> O)	8,80 %

7.Substrat

Titan (TiO <sub>2</sub> )	1,60 %
Phosphor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,70 %

Abbildung 17 : Zusammensetzung von „Vulkaplus intensiv 0/12“

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (VULKATEC, 2010)

### 7.3.2 OPTIGRÜN International AG – Die Dachbegrüner

Substrat: *Optigrün-Intensiv-Substrat Typ i*<sup>51</sup>

- Vegetationstragschicht für mehrschichtige Intensivbegrünung und Pflanzgefäße
- Basiskomponenten sind Lava, Bims, Blähschiefer, Blähton, Rindenhumus, Grünschnittkompost, Ziegelsplitt, Sinterschlacke
- Gesamtporenvolumen liegt bei > 60 – 75 Vol. %
- Lieferformen sind lose, geblasen, Sackware und im Big-Bag

*Vegetationstechnische Eigenschaften*

	<b>Optigrün-Intensiv-Substrat Typ i</b>	<b>Anforderungen gemäß FLL</b>
<b>Korngrößenverteilung</b>		
abschlämbbare Bestandteile	n.b.	≤ 20 Massen %
Fein- / Mittelkies	n.b.	≤ 60 Massen %
<b>Volumengewicht verdichtet</b>		
trockener Zustand	≥ 0,6 to/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,3 to/m <sup>3</sup>
bei max. Wasserkapazität	1,4 to/m <sup>3</sup>	1,0 – 1,8 to/m <sup>3</sup>
<b>Wasser- / Luft-Haushalt</b>		

<sup>51</sup> Vgl. (OPTIGRÜN, 2010)

## 7.Substrat

maximale Wasserkapazität	45 – 65 Vol. %	≥ 45 Vol. %
Wasserdurchlässigkeit mod. K*	n.b.	≥0,0005 cm/s
<b>pH-Wert</b>	5,5 – 8,5	5,5 – 8,5
<b>Carbongehalt</b>	12 g/l	≤ 25 g/l
<b>Salzgehalt</b>	n.b.	≤ 2,5 g/l
<b>Organische Substanz</b>	6 – 12 Massen %	6 – 12 Massen %

**Abbildung 18: Zusammensetzung von „Optigrün-Intensivbegrünungssubstrat Typ i“**

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (OPTIGRÜN, 2010)

### 7.3.3 ZinCo GmbH - Ingenieurwerkstatt + Gründachsysteme

Substrat: Systemerde „Dachgarten“<sup>52</sup>

- Diese Systemerde ist ein multifunktionaler Begrünungsaufbau mit hoher Wasserspeicherung für anspruchsvolle Gehölze
- Speziell geeignet für Intensivbegrünung mit anspruchsvollen Bäumen bei einer hohen Substratschüttung
- Das Substrat ist auf Basis von Feinkorn-Abgestuften-Zuschlagstoffen, wie z.B. sandigem Boden, hergestellt und mit ZinCo-Hum\* angereichert

\* ZinCo-Hum: *„Für das Keimsubstrat ZinCo-Hum wird ausschließlich hochwertiger Substratkompost aus Grünschnitt und Rinde eingesetzt. Durch eine gezielte Mietenführung und regelmäßiges Umsetzen wird der Kompostprozess beschleunigt. Die gleichzeitig dabei auftretenden hohen Temperaturen sorgen für eine hervorragende Hygienisierung. Der so entstandene, bedarfsgerecht ausgesiebte, Substratkompost weist niedrige Gehalte an Pflanzennährstoffen und löslichen Salzen auf, wodurch eine gesunde Entwicklung der Zielvegetation sichergestellt wird. Zuschläge von Ton und Faserstoffen verbessern die Wasser- bzw. Adsorptionskapazität des Keimsubstrates, welches nicht nur die organi-*

---

<sup>52</sup> Vgl. (ZINCO, 2010)

sche Komponente der Systemerde bildet. Auch zum Herstellen eines Saatbettes bzw. zum Nachbringen organischer Masse ist ZinCo-Hum hervorragend geeignet.<sup>53</sup>

#### Vegetationstechnische Eigenschaften

	<b>Systemerde "Dachgarten"</b>	<b>Anforderungen gemäß FLL</b>
<b>Korngrößenverteilung</b>		
abschlämbbare Bestandteile	n.b.	≤ 20 Massen %
Fein- / Mittelkies	n.b.	≤ 60 Massen %
<b>Volumengewicht verdichtet</b>		
trockener Zustand	≥ 1,0 to/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,3 to/m <sup>3</sup>
bei max. Wasserkapazität	1,5 to/m <sup>3</sup>	1,0 – 1,8 to/m <sup>3</sup>
<b>Wasser- / Luft-Haushalt</b>		
maximale Wasserkapazität	50 Vol. %	≥ 45 Vol. %
Wasserdurchlässigkeit mod. K*	0,003 – 0,030	≥ 0,0005 cm/s
<b>pH-Wert</b>	6,5 – 8,0	5,5 – 8,5
<b>Carbongehalt</b>	12 g/l	≤ 25 g/l
<b>Salzgehalt</b>	≤ 2,0 g/l	≤ 2,5 g/l
<b>Organische Substanz</b>	9 Massen %	6 – 12 Massen %

Abbildung 19: Zusammensetzung von „ZinCo-Systemerde Dachgarten“

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (ZINCO, 2010)

<sup>53</sup> ZinCO, (ZINCO, 2010)



### 7.3.4 Paul Bauder GmbH & Co.KG – Flachdach

Substrat: *Bauder Pflanzerde LBB-I*<sup>54</sup>

- Ist ein mineralisches Schüttstoffgemisch aus Lava, Blähschiefer, Bims und organischer Substanz
- Speziell geeignetes Vegetationssubstrat für Intensivbegrünungen
- Verdichtungsfaktor für Transport und Einbau ist 25 %

*Vegetationstechnische Eigenschaften*

	<b>Pflanzenerde “LBB-I”</b>	<b>Anforderungen gemäß FLL</b>
<b>Korngrößenverteilung</b> Fein- / Mittelkies	n.b.	≤ 60 Massen %
<b>Volumengewicht verdichtet</b> trockener Zustand bei max. Wasserkapazität	0,8 to/m <sup>3</sup> 1,25 to/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,3 to/m <sup>3</sup> 1,0 – 1,8 to/m <sup>3</sup>
<b>Wasser- / Luft-Haushalt</b> maximale Wasserkapazität Wasserdurchlässigkeit mod. K*	45 Vol. % 0,022	≥ 45 Vol. % ≥0,0005 cm/s
<b>pH-Wert</b>	7,8	5,5 – 8,5
<b>Carbongehalt</b>	12 g/l	≤ 25 g/l
<b>Salzgehalt</b>	≤ 1,6 g/l	≤ 2,5 g/l
<b>Organische Substanz</b>	15,7 Massen %	6 – 12 Massen %

Abbildung 20: Zusammensetzung von „Paul Bauder Pflanzerde LBB-I“

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (PAUL BAUDER, 2010)

<sup>54</sup> Vgl. (PAUL BAUDER, 2010)

### 7.3.5 Clasen & Co. Baumschulen GmbH

Substrat: ALLEEGRO®-Baumkultursubstrat <sup>55</sup>

- Das Substrat ist durch seine vielen mineralischen, offenporigen Komponenten sehr strukturstabil und besitzt ein hohes Gesamtvolumen
- Die gleichmäßige Struktur des ALLEEGRO®-Baumkultursubstrates sorgt bei Bäumen für eine sehr gute Standfestigkeit und gleichmäßig gute Durch- bzw. Einwurzelung
- Das sehr hohe Wasserhaltevermögen von über 50 Vol. % ist für die Überwindung von Wasserstresssituationen und die allgemeine Wurzelentwicklung in der Anwuchsphase enorm wichtig
- Mit der hohen Wasserdurchlässigkeit durch den Anteil an Grobporen wird eine gute Ableitung von Überschusswasser erreicht, so dass es weniger zu Staunässeproblemen kommt

#### *Vegetationstechnische Eigenschaften*

	<b>ALLEEGRO®- Baumkultursub- strat</b>	<b>Anforderungen gemäß FLL</b>
<b>Korngrößenverteilung</b> abschlämbbare Bestandteile Fein- / Mittelkies	7 Massen % 50 Massen %	≤ 20 Massen % ≤ 60 Massen %
<b>Volumengewicht verdichtet</b> trockener Zustand bei max. Wasserkapazität	1,05 to/m <sup>3</sup> 1,60 to/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,3 to/m <sup>3</sup> 1,0 – 1,8 to/m <sup>3</sup>
<b>Wasser- / Luft-Haushalt</b> maximale Wasserkapazität	54 Vol. %	≥ 45 Vol. %

<sup>55</sup> Vgl. (CLASEN & CO, 2010)

## 8. Entwässerung

Wasserdurchlässigkeit mod. K*	0,689 cm/s	≥0,0005 cm/s
<b>pH-Wert</b>	7,3	5,5 – 8,5
<b>Carbongehalt</b>	8 g/l	≤ 25 g/l
<b>Salzgehalt</b>	0,61 g/l	≤ 2,5 g/l
<b>Organische Substanz</b>	6,5 Massen %	6 – 12 Massen %

Abbildung 21: Zusammensetzung von „ALLEEGRO®-Baumkultursubstrat“

Quelle: eigene Darstellung, mit Anlehnung an (CLASEN & CO, 2010)

## 8. Entwässerung

### 8.1 Entwässerung für Deutschland und Singapur

Bei Dachbegrünungen müssen die Entwässerungseinrichtungen das Oberflächenwasser von der Vegetationsschicht sowie das Überschusswasser aus der Dränschicht sicher ableiten können.

Durch die exponierte Lage ist eine Dachbegrünung ständig den unterschiedlichen Witterungen ausgesetzt.

Aufgrund der Hitze muss für Bewässerung gesorgt werden; damit die Fläche durch das angesammelte Wasser nicht zu schwer wird muss auch eine gute Entwässerung möglich sein.

Bevor man sich mit der zusätzlichen Bewässerung auseinandersetzt ist es wichtig für eine ausreichende Entwässerung - mittels Dränung - zu sorgen. Diese vermeidet Schäden durch Vernässungen auf begrüntem.

Jede Dachbegrünung muss eine Dränfunktion, eine Dränschicht, haben, damit überschüssiges Wasser aus der darüber liegenden Bodenschicht aufgenommen und abgeführt werden kann. Bei der Wahl des Dränmaterials muss man das Gefälle des Dachs, die Niederschläge und die Verdunstung beachten.

In Singapur ist trotz der hohen Niederschlägen und der Luftfeuchtigkeit Wasser, ein limitierter Faktor für ein erfolgreiches Wachstum der Gehölze. Die nicht ein-

heitliche Verteilung der Niederschlagsmenge hat zur Folge, dass das Dränmaterial mehr Wasser für die Vegetation speichern muss.

Bei Dachbegrünungen in tropischen Gebieten ist das Dränmaterial der Schlüsselfaktor für die optimale Entwässerung, ohne dabei den Gehölzen zu viel Wasser zu entziehen.<sup>56</sup>

Um die Funktionstüchtigkeit einer Dränschicht gewährleisten zu können benötigt man eine Filterschicht, welche zwischen der Drain- und der Substratschicht liegt. Dafür werden meist Vliese verwendet. Diese verhindern, dass feine Bodenteilchen aus der Substratschicht in die Dränschicht gelangen und den Wasserabfluss behindern oder verstopfen. Die Vliese müssen ebenfalls verwitterungsbeständig und strukturstabil sein.

Alle Entwässerungseinrichtungen müssen jederzeit frei zugänglich sein. Dach- und Notabläufe sowie Notüberläufe sind von Überschüttungen, zum Beispiel mit Kies, freizuhalten. Entwässerungsrinnen dürfen nicht durch Überwachsungen in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Dacheinläufe dürfen grundsätzlich nicht überbaut werden, sondern sind jederzeit zugänglich auszubilden. Liegen sie innerhalb von Vegetationsflächen, gibt es zwei Möglichkeiten, sie zum Schutz von Verunreinigungen und einwachsenden Pflanzen sowie zur Kontrolle freizuhalten. Es kann eine 30 - 50 cm breite Kiesschüttung als Sicherheitsabstand zwischen Dacheinlauf und Vegetationsfläche ausgebildet oder ein Kontrollschacht eingebaut werden, *siehe Plan 4: Kontrollschacht, Seite 57*.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> Vgl. (NPARKS SINGAPORE, 2010)

<sup>57</sup> Vgl. (HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER, 2010)



Erfolgt eine Wasserbevorratung durch Anstau in der Dränschicht, müssen ebenfalls Kontrollschächte verwendet werden, um den Dachablauf mit eingebautem Anstaueregler zu schützen und jederzeit zugänglich zu halten.

Dachabläufe außerhalb von Vegetationsflächen werden in der Regel freiliegend in einem Kiesstreifen oder, sofern sie in begehbaren Flächen liegen, mit einem Ablaufaufsatz ausgebildet, dessen Abdeckung mit der Belagsoberkante abschließt. Eine weitere Art der Entwässerung außerhalb der Vegetationsflächen stellt das Abführen über Regenrinnen dar. Diese Möglichkeit ist jedoch als Sonderfall einzustufen und nur für kleine Dachflächen zweckmäßig.<sup>58</sup>

Bei Dachbegrünungen ist bereits zu Beginn der Planung sicherzustellen, dass genügend Dacheinläufe vorgesehen werden und dass begrünte und nicht begrünte Teilflächen einwandfrei entwässert werden können. Die Planung der Entwässerung und die Anordnung der Dacheinläufe ist entsprechend DIN 1986 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke“ (1978) vorzunehmen. Um Überschusswasser von Flachdächern zügig abzuführen, lassen sich drei Arten der Entwässerung unterscheiden:<sup>59</sup>

- Entwässerung innerhalb der Vegetationsfläche,
- Entwässerung außerhalb der Vegetationsfläche und
- getrennte Entwässerung von begrünten und von vegetationsfreien Flächen.

### **8.1.1 Entwässerung innerhalb der Vegetationsfläche**

Bei der Entwässerung innerhalb der Vegetationsfläche wird das Überschusswasser der gesamten Dachfläche, also auch das auf nicht begrünten Randstreifen anfallende Wasser, über die innerhalb der Vegetationsfläche liegenden Dacheinläufe abgeführt.

---

<sup>58</sup> Vgl. (HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER, 2010)

<sup>59</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 20)

### **8.1.2 Entwässerung außerhalb der Vegetationsfläche**

Bei der Entwässerung außerhalb der Vegetationsfläche sind die Dacheinläufe in vegetationsfreien Bereichen angeordnet und nehmen auch das Überschusswasser aus den begrünten Flächen auf.

### **8.1.3 Getrennte Entwässerung**

Die getrennte Entwässerung begrünter und unbegrünter Bereiche ist notwendig, wenn der Eintrag von ablaufendem Fassadenwasser in die Vegetationsfläche vermieden werden muss.

## **8.2 Dachentwässerung mit Druckströmung**

Die Dachentwässerung mit Druckströmung ermöglicht mehr architektonische Flexibilität und findet bei Architekten immer größere Beliebtheit.

Nach DIN 1986-100, Ausgabe Mai 2008 kann die Regenentwässerung über Freispiegelsysteme oder planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen mit Druckströmung erfolgen. Die gesamten Ausführungs- und Bemessungsgrundsätze für planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen mit Druckströmung, die bisher nur in der VDI-Richtlinie 3806<sup>60</sup> zusammengefasst waren, sind nunmehr in der Neufassung der DIN 1986-100 enthalten.<sup>61</sup>

### **8.2.1 Funktionsprinzip der Druckentwässerung**

In Schwerkraftentwässerungsanlagen steht für den Transport von Abwasser die Wasserspiegeldifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt eines Fließweges in einer liegenden Leitung zur Verfügung. In Freispiegelentwässerungen wird die Wasserspiegeldifferenz durch die Verlegung der Leitungen mit Gefälle erreicht und ist relativ gering, *siehe Plan 5: Freispiegelentwässerung, Seite 60.*

---

<sup>60</sup> Vgl. (VDI Richtlinie 3806; „Dachentwässerung mit Druckströmung“, 2010)

<sup>61</sup> Vgl. (BOSY-ONLINE, 2010)

**Plan 5: Freispiegelentwässerung**



In planmäßig vollgefüllt betriebenen Druckentwässerungsanlagen steht hierfür die im allgemeinen wesentlich größere Höhendifferenz zwischen dem Wasserstand über dem Dachablauf und der teilgefüllten Leitung zur Verfügung. Dadurch ergeben sich gegenüber der Freispiegelentwässerung wesentlich geringere Rohrdimensionen. Durch die anlagentypischen Betriebszustände in Druckentwässerungsanlagen können die Leitungen gefällelos unterhalb der Dachkonstruktion verlegt werden, *siehe Plan 6: Drückströmung, Seite 62.*<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup> Vgl. (Y-ESS ENVIRONMENTAL SUSTAINABLE SOLUTIONS LTD, 2010)



Unterhalb der Berechnungsregenspende wird in der Strömung mehr oder weniger viel Luft mitgeführt. In diesem Übergangszustand kommt es zu großen Druckschwankungen und zu einer dynamischen Belastung der Rohrleitungen und der Verbindungs- und Dichtungselemente. Eine Druckentwässerungsanlage erreicht ihre maximale Leistungsfähigkeit erst dann, wenn die gesamte Rohrleitungsanlage vom Dachablauf bis zur teilgefüllt betriebenen Grundleitung vollständig mit Wasser gefüllt ist und sich eine geschlossene Rohrströmung ohne Lufteintrag ausbilden kann. Die Bemessung von Druckentwässerungsanlagen verfolgt die Zielsetzung, den Übergangsbereich von der Freispiegel- in die Druckströmung mit den starken Druckschwankungen möglichst schnell zu verlassen, um in einen stabilen Strömungszustand bei Vollenfüllung zu gelangen. Das hat zur Folge, dass die Leitungsanlage schon bei kleinen Regenspenden - und damit relativ häufig - instabil belastet wird. Neben der rein statischen Belastung im stationären Auslegungsfall muss daher der hohen dynamischen Belastung im Übergangsbereich Rechnung getragen werden. Diese Belastungsform kann bei ungenügender Befestigung die gesamte Leitungsanlage so in Schwingungen versetzen, dass dadurch z. B. Pendelaufhängungen durch Wechselbeanspruchung abgeschert oder auch die Dacheindichtungen im Umfeld des Dachablaufes beschädigt werden können.<sup>63</sup>

Da in Druckentwässerungsanlagen im Auslegungsfall planmäßig Innendruck vorgesehen ist, versteht es sich von selbst, dass hier nur Rohrsysteme, einschließlich der Verbindungs- und Befestigungsmaterialien verwendet werden dürfen, die vom Hersteller für diese besonderen Betriebszustände ausdrücklich freigegeben worden sind. Werden die liegenden Rohrleitungen im Dämmstoffaufbau des Daches verlegt, müssen die an der Rohrleitung angreifenden Kräfte über die Befestigungssysteme auf den Baukörper übertragen werden können.<sup>64</sup>

---

<sup>63</sup> (IKZ-HAUSTECHNIK, 2010)

<sup>64</sup> Vgl. (Y-ESS ENVIRONMENTAL SUSTAINABLE SOLUTIONS LTD, 2010)

### 8.3 Vorteile für Dachentwässerungen mit Druckströmung

Gegenüber der Freispiegelanlage bietet die Druckentwässerungsanlage eine Reihe ökologischer und ökonomischer Vorteile:

- kleinere Rohrdimensionen
- geringere Anzahl Dachabläufe
- Fallrohre
- kein Rohrgefälle
- weniger Grundleitungen
- weniger Tiefbauarbeiten
- Einfache Inspektion der Leitungen

Herkömmliche Dachentwässerungen sind arbeitsintensiver, materialaufwändiger und teurer. Druckentwässerungsanlagen ermöglichen mehr architektonische Flexibilität; sie sind wirtschaftlicher und umweltfreundlicher.<sup>65</sup>

## 9. Bewässerung

Am natürlichen Standort, unter natürlichen Bedingungen bekommt der Baum normalerweise genügend Wasser. Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, die Wasserversorgung der Bäume zu verbessern. Besonders gilt dies für jüngere Bäume, deren Wurzelausbreitung noch nicht zur Selbstversorgung ausreicht. Wenn wir Wasser zuführen, müssen wir auch den Wasserbedarf abschätzen können.<sup>66</sup>

Man sollte für die einzelnen Standorte recherchieren, wie hoch die durchschnittliche Niederschlagsmenge ist, siehe *Klima der Planungsgebiete „Deutschland und Singapur“*, Seite 13.

Für die Bewässerung darf nur geeignetes Wasser ohne schädigende Bestandteile (Verunreinigungen, Chlorionen) verwendet werden.

---

<sup>65</sup> Vgl. (DRAINSTAR, 2010)

<sup>66</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992, S. 190)

Zuviel Wasser kann den Bäumen schaden, sie sogar absterben lassen. Zuviel Wasser bedeutet zu wenig Sauerstoff im Boden. Bäume aus trockenen Gebieten reagieren darauf sehr empfindlich.

Die Nutzung des kostenlosen und frei verfügbaren Niederschlagswassers bildet die Grundlage der Wasserversorgung von Dachbegrünungen, um die Notwendigkeit der Zusatzbewässerung zu minimieren und die Niederschläge unmittelbar in den natürlichen Wasserkreislauf wieder einzubringen. Die Niederschläge fallen in sehr unterschiedlichen Mengen und zeitlicher Verteilung an, und die Wasserspeicherung im Schichtaufbau, insbesondere bei dünnenschichtigen Bauweisen, ist begrenzt. Daher ist eine Zusatzbewässerung im Bedarfsfall regelmäßig und bei Extensivbegrünungen während der Fertigstellungspflege erforderlich. Folgende Arten der Bewässerung lassen sich unterscheiden:<sup>67</sup>

- mit Schlauch,
- mit Schlauch und Regner,
- mit Sprühschlauch,
- mit Unterflur-Tröpfchenbewässerung,
- mit Beregnungsanlage und
- mit Wasseranstau in der Dränschicht

In der Praxis sind Kombinationen der genannten Bewässerungsarten gebräuchlich. Ihre Regelung kann produktabhängig manuell oder automatisch erfolgen.

### **9.1.1 Bewässerung mit dem Schlauch**

Dieses Verfahren erfordert einen hohen Arbeitsaufwand und regelmäßige Kontrollen des Feuchtigkeitszustandes und findet manuell statt. Eine ausreichende Anzahl von Wasseranschlüssen ist notwendig. Diese Bewässerungsart ist nur bei kleinen Flächen zweckmäßig, als Beispiel seien Garagendächer und Dachgärten genannt.

---

<sup>67</sup> Vgl. (HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER, 2010)

### **9.1.2 Bewässerung mit dem Schlauch und Regner**

Der Arbeitsaufwand ist hier geringer und kann durch eine größere Anzahl an Regnern weiter verringert werden, genügend Wasseranschlüsse vorausgesetzt. Es müssen allerdings Eck- und Randbereiche, die vom Regner nicht erfasst werden und durch Windabdrift schlecht bewässerte Bereiche per Hand nachgewässert werden. Die Bewässerung erfolgt manuell oder mittels einfacher Automatik. Kontrollen und Wartung der Regner können aufwändig sein, sollten Schläuche und Regner länger als für den Bewässerungsvorgang benötigt auf den Dachflächen verbleiben, so können sie optisch störend wirken, neues Aufstellen für jeden Bewässerungsvorgang würde den Arbeitsaufwand erhöhen. Diese Bewässerungsmethode ist für kleine bis mittelgroße Flächen zweckmäßig.<sup>68</sup>

### **9.1.3 Bewässerung mit dem Sprühschlauch**

Hier hält sich der Bewässerungsvorgang in Grenzen, sofern Sprühschläuche für eine flächendeckende Bewässerung verlegt wurden. Auch in diesem Fall können in der Pflanzung verbleibende Schläuche optisch stören. Die Steuerung erfolgt über manuell oder durch einfache automatische Regler. Der Einsatzbereich erstreckt sich auf kleinere Flächen und auf die Fertigstellungspflege.

### **9.1.4 Unterflur-Tröpfchenbewässerung**

Bei dieser Bewässerungsmethode, *siehe Plan 7: Unterflurbewässerung, Seite 68*, handelt es sich um eine stationäre Anlage, bei der Tropfschläuche in der Vegetationsschicht verlegt werden. Anschaffung, Installation, Wartung sind kostenintensiv, der Betrieb allerdings kostengünstig. Die Steuerung erfolgt manuell oder automatisch. Es besteht die Gefahr mechanischer Beschädigungen, wie sie beispielsweise bei Pflegearbeiten auftreten können. Allerdings bietet diese Bewässerungsmethode optische Vorteile. Sie ist bei Einfachen und auf-

---

<sup>68</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992, S. 192)

wändigen Intensivbegrünungen einsetzbar, konnte sich aber trotz bedarfsgerechter und sparsamer Wasserversorgung bisher nicht durchsetzen.<sup>69</sup>

---

<sup>69</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992, S. 192)

**Plan 7: Unterflurbewässerung**



### 9.1.5 Bewässerung mit der Beregnungsanlage

Die Kosten für unter- oder oberirdisch fest installierte Regner und Rohre sind hoch, ebenso wie der Aufwand für Wartung und Reparaturen. Die Leitungen müssen korrosionsbeständig und vollständig entleerbar sein, um Beschädigungen durch Frosteinwirkung auszuschließen. Die Bewässerung kann manuell, durch Zeituhr oder durch elektronische Feuchtefühler im Substrat gesteuert werden, wobei durch eine Automatik der Arbeitsaufwand auf ein Minimum reduziert wird. Versenkgrennanlagen werden in der Regel nur bei aufwändigen Intensivbegrünungen eingesetzt, sie eignen sich besonders beim Einsatz für die Ausbildung großflächiger, benutzbarer Rasenflächen, beispielsweise Parks oder Spiel- und Sportflächen.<sup>70</sup>

### 9.1.6 Bewässerung durch Wasseranstau in der Dränschicht

Bei dieser Art der Bewässerung, *siehe Plan 8: Bewässerungsschacht, Seite 70*, wird das Niederschlagswasser durch Anstau in der Dränschicht gespeichert. Die anstaubare Wassermenge wird durch Art und Dicke der Dränschicht bestimmt. Damit auch beim Ausbleiben von Niederschlägen die Wasserversorgung der Bäume gewährleistet ist, wird durch einen in der Regel automatisch gesteuerten Frischwasserzulauf ein Mindestwasserstand eingehalten. Um Vernässungen der Vegetationsschicht zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass zwischen Höchstwasserstand und Filterschicht ein Mindestabstand eingehalten wird.

Beim Anstauverfahren kann in nicht von Niederschlägen erfassten Teilflächen, wie zum Beispiel im Regenschatten aufgehender Bauteile oder unter Überdachungen, durch die Verdunstung von kapillar aufsteigendem Wasser eine Versalzung im oberen Bereich der Vegetationsschicht auftreten, da keine natürlichen Rückspülung erfolgt. Auf diesen Teilflächen ist eine mehrmalige intensive Beregnung im Jahr erforderlich.<sup>71</sup>

---

<sup>70</sup> Vgl. (KRUPKA, Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung", 1992, S. 193)

<sup>71</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 20)

**Plan 8: Bewässerungsschacht**

## 10. Planungs- und Ausführungshinweise

Es naheliegend, dass sich die Optimierungsstrategie des Baumes nicht nur ober-, sondern auch unterirdisch fortsetzt. Natürlich versagt aber auch die bestmöglich optimierte Struktur, wenn eine Spitzenlast die Regelbelastung samt Sicherheitsfaktor überschreitet.

Ein Parameter, der auf jeden Fall den minimalen benötigten Verankerungsraum eingrenzt, ist der Radius des mechanisch wirksamen Wurzelballens. Dies ist der Radius, an dem Erde- Wurzel- Verbundwerkstoff hauptsächlich versagt, was bei geworfenen Bäumen als herausgedrehte Platte oder Halbkugelabschnitt erscheint und von der liegenden Stammmitte senkrecht zur Stammachse nach oben bis zum Rand gemessen wird.<sup>72</sup>

Auch unter Sicherheitsaspekten spielt die Wurzelballenverankerung auf Dachbegrünungen eine entscheidende Rolle. Des Weiteren ist dadurch die Baumstabilität gesichert, der Wurzelballen ist fest im Boden verankert, der Stamm kann sich im Wind bewegen und eine entsprechende Flexibilität entwickeln.

Die Verankerungen sollten bei jedem Pflegegang, mindestens aber ein- bis zweimal pro Jahr auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft werden. Zu eng sitzende Bindungen oder Verspannungen können zu Einschnürungen führen, zu lockere erfüllen nicht die Funktion und müssen nachgebessert werden.

### 10.1 Wurzelballenverankerung von Großgehölzen

Immer häufiger sind heute gleich vom ersten Tag repräsentative Außenanlagen gefragt. Mit unterirdischer Wurzelballenverankerungen kann man Bäume pflanzen, ohne in den ersten zwei bis drei Jahren zusätzliche Pfähle bei den Bäumen stehen zu haben, *siehe Plan 9: Wurzelballenverankerung, Seite 73; Plan 10: Wurzelballenverankerung in einer Stahlbetonbox, Seite 74.*

Die Verankerung wirkt auf die Pflanze während der Zeit, bis ihre Wurzeln in das umgebende Erdreich eindringen und schützen sie dadurch gegen Einwirkungen

---

<sup>72</sup> Vgl. (Mechanik am Baum, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtzgemeinschaft, 2010)

von außen, welche die beim Pflanzen vorgegebene Lage der Pflanze im Erdreich unerwünscht verändern können. Diese Gefahr besteht unmittelbar nach dem Pflanzen von Bäumen oder hohen Sträuchern durch die Einwirkungen der Atmosphäre z.B. die Kräfte des Windes, welche die Pflanze in einer unerwünschte Schiefstellung bringen können

Die Verankerung ist leicht zu montieren, sondern das Preis- / Leistungsverhältnis stimmt auch.

Breite Gurtbänder, die mit Erdankern im Boden befestigt werden, sichern den Stand des Baumes. Der Baum behält somit seine natürliche Bewegungsfreiheit.

Eine einzelne Person kann die Ballenverankerung innerhalb weniger Minuten befestigen.

Die Eigenschaften sind:

- Kurze Einbauzeiten (+/- 10 Minuten)
- Längenverstellbare Ankerbänder
- Anwendung auch bei Bäumen mit mehr als 90 cm Stammumfang
- Nutzerfreundlich
- Rückbau nicht notwendig dank Sollbruchstelle

Das Wurzelballenverankerungsset besteht meistens aus drei Ankern, einer Ballenschutzscheibe und einem Spanngurt mit Ratsche.

In wenigen Fällen ist die Wurzelballenverankerung nicht möglich und es muss auf eine alternative Bauweise zurückgegriffen werden, *siehe Plan 11: Baumsicherung mit Seilen*<sup>75</sup>.

**Plan 9: Wurzelballenverankerung**

**Plan 10: Wurzelballenverankerung in einer Stahlbetonbox**

**Plan 11: Baumsicherung mit Seilen**

## 10.2 Lastquelle „Winddruck“

Der Baum hat die vielfältigsten Belastungen zu ertragen, die teils statischer, teils dynamischer Natur sind. Im Einzelnen wirkt folgende Komponente hauptsächlich auf dem Baum:

### *Winddruck*

Der Wind stellt eine Hauptbelastungen für den Baum dar, wie viele „Baumleichen“ nach dem Sturm aufzeigen. Für den Planer stellt sich die Frage, ab welchen Geschwindigkeiten ein Baum gefährdet ist. Die normalerweise herangezogenen Windstärken geben nur keinen kleinen Teil dessen wider, was sich tatsächlich um den Baum herum abspielt.

In den wenigsten Fällen wird der Baum gleichmäßig angeströmt, vielmehr handelt es sich bei der Windgeschwindigkeit  $\mu$  um eine in Ort und Zeit variierende Größe.<sup>73</sup>

Turbulenzen und Druckunterschiede auf der Luv- und Leeseite von Krone und Stamm können starke Sprünge im Vergleich zum momentanen Mittel darstellen, sicher einer der Hauptgründe dafür, dass Sturmschäden in einem gleichartigen, gesunden Bestand oft lokal eng begrenzt sind.<sup>74</sup>

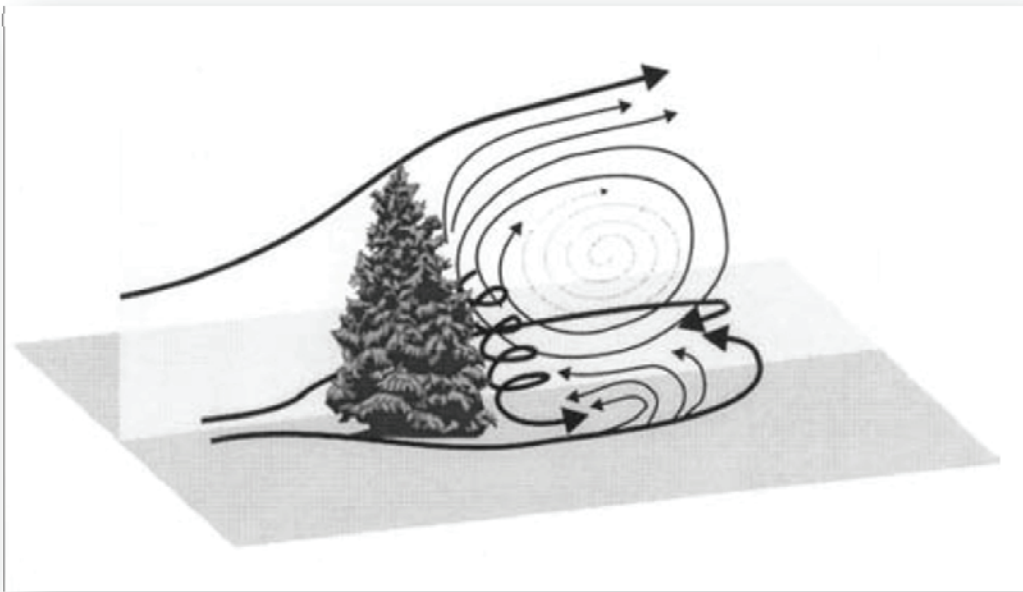
Eine mögliche Umströmung eines Nadelbaums zeigt die *Abbildung 22: Wirbelbildung auf der Leeseite eines Nadelbaums, Seite 77*.

---

<sup>73</sup> Vgl. (Windumströmung von Einzelbäumen und Waldbeständen, 2010)

<sup>74</sup> Vgl. (Infoplattform Wissenwertes-Wetterlexikon, 2010)





**Abbildung 22: Wirbelbildung auf der Leeseite eines Nadelbaums**

**Quelle:** (Windumströmung von Einzelbäumen und Waldbeständen, 2010)

Eine grobe Abschätzung der Kraft, die durch Wind auf eine Baumkrone einwirkt, lässt sich mit der nachstehenden Formel bewerkstelligen, *siehe Abbildung 23: Formel Windlast, Seite 77.*

$$F_{\text{Windlast}} = \frac{\rho}{2} u^2 A_K c_w,$$

$\rho$	Dichte der Luft
$u$	Windgeschwindigkeit
$A_K$	Projektionsfläche der Krone
$c_w$	Widerstandsbeiwert der Krone.

**Abbildung 23: Formel Windlast**

**Quelle:** (Windumströmung von Einzelbäumen und Waldbeständen, 2010)

Allerdings ist insbesondere der Parameter  $c_w$  schwer zu bestimmen, was eine aussagekräftige Lastabschätzung so gut wie unmöglich macht.<sup>75</sup>

### 10.3 Erosionsschutz

Um eine bestimmte Höhe und Dichte des Bewuchses auf einem Gründach zu erreichen, lässt sich der Schichtaufbau - und damit die Flächenlast - nur begrenzt minimieren. Einerseits gibt es die Möglichkeit, auf leichtere Vegetationssubstrate zurückzugreifen, wobei von der Verwendung von *Blähton-* bzw. *Blähschiefer-Reinkulturen* abzuraten ist. Andererseits kann anstelle von Schüttgütern auf leichtere Festkörperdränagen umgestellt werden. Wichtig ist bei „enger“ Statik, dass kein stehendes Wasser vorkommt - was mit einem Mindestgefälle zu erreichen ist.

Bei der Windsogsicherung ist zu beachten, dass das Dach je nach Baukörper, Gebäudehöhe und Windzone in unterschiedliche Bereiche (Eck-, Rand- und Mittenbereich) eingeteilt wird, die mit unterschiedlichen Lasten gesichert werden müssen. Meist kann der Mittenbereich mit einer trockenen Extensivbegrünung gesichert werden, für Rand- und Eckbereiche aber sind Auflasten durch Kies und Platten notwendig. Als Faustformel gilt, dass das Gewicht eines Gründachs im trockenen Zustand etwa 60-70% des Gewichts im wassergesättigten Zustand beträgt.<sup>76</sup>

Nicht nur das Mindestgewicht ist entscheidend für die Befestigung von Absturzsicherungssystemen, sondern auch die Beschaffenheit der Schichten - insbesondere die Lage, die sich unmittelbar auf dem Absturzsicherungssystem befindet. Materialien, die geringe Widerstände aufweisen (z.B. Schüttgüter-Dränschicht aus Rundkorn) haben sich dabei in den Zulassungsprüfungen als ungeeignet herausgestellt. Die meisten Zulassungen beziehen sich dementsprechend nicht auf ein Mindestgewicht, sondern auf einen bestimmten geprüften und freigegebenen Gründach-Systemaufbau.

---

<sup>75</sup> Vgl. (Windumströmung von Einzelbäumen und Waldbeständen, 2010)

<sup>76</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 56 - 57)

Da Dachbegrünungen in der Regel winddurchlässig sind, kommt es zwischen Ober- und Unterseite der Substratschicht zu einem Druckausgleich. Nach DIN 1055-4 „Windlastnorm“ kann daher je nach gewählter Dachbegrünung ein Minderungsfaktor  $R$  angerechnet werden, um den die Windsogkraft, die auf die Oberseite der Substratschicht wirkt, reduziert werden darf. Durch diesen Minderungsfaktor kann die erforderliche Auflast durch Trockengewicht und damit die Dicke der Substratschicht reduziert werden.<sup>77</sup>

Einige Anbieter von Dachbegrünungssystemen bieten kostenlose Berechnungen zur Windsog- und Verwehsicherheit an. Durch das Wurzelwerk der Dachbegrünung wird die Substratschicht zusätzlich gegen Verwehung gesichert. Dieser Wert ist jedoch stark vom Bewuchs abhängig und derzeit nicht fass- bzw. messbar.<sup>78</sup>

## 11. Geeignete Großgehölze

Auch Intensivbegrünungen und Dachgärten unterscheiden sich von Gärten auf gewachsenem Boden. Die ausgewählten Gehölze müssen anpassungsfähig- bzw. widerstandsfähig gegenüber folgenden extremen Standortbedingungen sein:

- eingeschränkter Wurzelraum
- hohe Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter
- Frostrocknis
- Rückstrahlung und Wärmestau von Wänden und Böden
- extreme Windbelastung

Bäume die mit viel Totholz haben und große Früchte erzeugen, sollten vermieden werden.

Geeignete Gehölze für den Einsatz auf Dachgärten:

---

<sup>77</sup> Vgl. (SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH, 2009, S. 154)

<sup>78</sup> Vgl. (ZINCO GmbH, 2010)

## 11.1 Großgehölze für Singapur

Bäume:

*Ardisia elliptica* (Mata Pelaanduk, Seashore Ardisia)<sup>79</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ardisia elliptica</i></li> <li>• Ericales</li> <li>• Myrsinaceae</li> <li>• <i>Ardisia</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ardisia elliptica</i> ist ein immergrüner Baum</li> <li>• bis zu 5 m Höhe</li> <li>• kurze, senkrechte Zweige</li> <li>• Steinfrüchte bis 5 mm Größe</li> </ul>

<sup>79</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

Callistemon spp. (Bottlebrush)<sup>80</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Callistemon - Bottlebrush</li><li>• Myrtales</li><li>• Myrtaceae</li><li>• Callistemon</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Callistemon ist eine säulenförmiger Pflanze</li><li>• bis zu 8 m Höhe</li><li>• Blütenblätter sind meistens rot</li><li>• offensichtliche Teile der Blüte sind Staubgefäße</li></ul>

<sup>80</sup> Vgl. (Cuyamaca, 2010)

Cananga odorata (Kenanga)<sup>81</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cananga odorata</li><li>• Magnoliales</li><li>• Annonaceae</li><li>• Cananga</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cananga odorata ist ein immergrüner Baum</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• besitzt hängende, langgestielte Blütenblätter</li><li>• aus Blütenblätter kann ätherische Öle gewonnen werden</li></ul>

<sup>81</sup> Vgl. (Hear-Plants, 2010)

Citharexylum spinosum (Fiddle-wood)<sup>82</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Citharexylum spinosum</li><li>• Lamiales</li><li>• Verbenaceae</li><li>• Citharexylum L.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Citharexylum spinosum ist ein immergrüner Baum</li><li>• bis zu 8 m Höhe</li><li>• besitzt lange Quasten mit duftenden Blüten</li><li>• Laub ist dunkelgrün und glänzend</li></ul>

<sup>82</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

*Cratoxylum cochinchinense* (Kayu Arang, Tree-Avens)<sup>83</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Cratoxylum cochinchinense</i></li> <li>• Theales</li> <li>• Clusiaceae</li> <li>• <i>Cratoxylum</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Citharexylum spinosum</i> ist ein Laubbaum</li> <li>• bis zu 10 m Höhe</li> <li>• Dornen am unteren Teil</li> <li>• grau-gelb oder grau-braun und fein gestreift</li> <li>• Blätter können als ein Ersatz für Tee verwendet werden</li> </ul>

<sup>83</sup> Vgl. (Flickr.com, 2010)



Dalbergia oliveri (Tamalan Tree)<sup>84</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dalbergia oliveri</li><li>• Fabales</li><li>• Fabaceae</li><li>• Dalbergia</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dalbergia oliveri ist ein Laubbaum</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• Holz ist sehr hart</li><li>• Splintholz ist gelblich-weiß mit dunkelbraunen Kernholz</li><li>• die Frucht ist eine grüne Hülse</li></ul>

<sup>84</sup> Vgl. (South West, 2010)

Syzygium campanulatum<sup>85</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Syzygium campanulatum</li> <li>• Rosales</li> <li>• Rosaceae</li> <li>• Syzygium</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Syzygium campanulatum ist ein Baum</li> <li>• bis zu 8 m Höhe</li> <li>• Blätter gegenständig oder manchmal spiral-förmig</li> <li>• Blattbreite dicht, manchmal dünn</li> </ul>

<sup>85</sup> Vgl. (Gardening with Wilson, 2010)

Hibiscus tiliaceus (Tree Hibiscus)<sup>86</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lindenblättriger Eibisch</li><li>• Malvales</li><li>• Malvaceae</li><li>• Hibiscus</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hibiscus tiliaceus ist ein immergrüner Laubbaum</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• herzförmige, ledrigen Blätter können 10 – 20 cm lang werden</li><li>• die Blüte ist schalenförmig, hat etwa 7,5 cm lange eierförmige, gelbe Kronblätter</li></ul>

<sup>86</sup> Vgl. (Culture Sheet, 2010)

*Schefflera actinophylla* (Umbrella Tree)<sup>87</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Queensland-Strahlenaralie</li> <li>• Apiales</li> <li>• Araliaceae</li> <li>• Schefflera</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schefflera actinophylla</i> ist ein immergrüner Laubbaum</li> <li>• bis zu 12 m Höhe</li> <li>• lang gestielte, zusammengesetzte Laubblätter</li> <li>• die gestielten Blattfiedern sind bis zu 40 cm lang</li> <li>• rote Blütenstände sitzen auf der Spitze des Baumes</li> </ul>

<sup>87</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

Xanthostemon chrysanthus (Golden Penda)<sup>88</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• X. chrysanthus</li><li>• Myrtales</li><li>• Myrtaceae</li><li>• Xanthostemon</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Xanthostemon chrysanthus ist ein mittelgroßer Baum</li><li>• immergrün</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• Blätter sind glänzend grün Lanz-förmig</li><li>• die Staubblätter sind das wichtigste Merkmal der Blüten</li></ul>

<sup>88</sup> Vgl. (Logan River Tree Farm, 2010)

*Palmen:*

*Archontophoenix alexandrae* (Alexandra Palm)<sup>89</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Angiosperms</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Archontophoenix</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Archontophoenix alexandrae ist eine Fiederpalme</li><li>• besitzt einen glatten, grauen bis grünlichen Stamm</li><li>• bis zu 12 m Höhe</li><li>• Blätter hängen leicht</li></ul>

<sup>89</sup> Vgl. (Growquest, 2010)

*Areca catechu* (Betel nut Palm)<sup>90</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Angiosperms</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Betelpalmen</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Areca catechu</i> ist eine Betelpalme</li><li>• zuerst grünen, später grau gefärbten Stamm</li><li>• bis zu 12 m Höhe</li><li>• die Wedel stehen dicht beieinander und neigen sich vornüber</li></ul>

<sup>90</sup> Vgl. (Flickr, 2010)

Cyrtostachys renda (Sealing Wax Palm)<sup>91</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sealing Wax Palm</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Cyrtostachys lakka</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cyrtostachys renda ist eine farbenprächtige Palme</li><li>• dunkelgrüne, aufrechte Blattfiedern, die im Kontrast zu den roten Stielen stehen</li><li>• bis zu 12 m Höhe</li></ul>

<sup>91</sup> Vgl. (Palmenblog, 2010)



Dictyosperma album (Princess Palm)<sup>92</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Princess Palm</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Dictyosperma</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dictyosperma album ist eine Palme</li><li>• sie wird auch Prinzessin Palme genannt, wegen ihrer Fähigkeit, starken Winden leicht zu widerstehen</li><li>• bis zu 12 m Höhe</li></ul>

<sup>92</sup> Vgl. (Flickr, 2010)

Ptychosperma macarthurii (Macarthur Palm)<sup>93</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Macarthur Palm</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Ptychosperma</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ptychosperma macarthurii ist eine sehr gering verbreitet Palme</li><li>• sie bringt einen dichten Busch schlanker Stämmchen hervor</li><li>• bis zu 8 m Höhe</li></ul>

<sup>93</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

Ravenala madagascariensis (Traveller's Palm)<sup>94</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Traveller's Palm</li><li>• Zingiberales</li><li>• Strelitziaceae</li><li>• Ravenala</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ravenala madagascariensis ist eine krautige Pflanze und hat einen palmenähnlichen Stamm</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li></ul>

<sup>94</sup> Vgl. (Home and Garden, 2010)

Veitchia merrillii (Manila / Christmas Palm)<sup>95</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Christmas Palm</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Adonidia merrillii</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Veitchia merrillii ist eine kälteempfindliche Palme</li><li>• die Wuchsform und ihre kompakte Krone, ist aus bogig überhängenden, leuchtenden grünen Fiederblätter bestückt</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li></ul>

<sup>95</sup> Vgl. (Okeechobee, 2010)

Wodyetia bifurcata (Foxtail Palm)<sup>96</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Foxtail Palm</li><li>• Arecales</li><li>• Arecaceae</li><li>• Wodyetia</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wodyetia bifurcata ist eine dekorative Palme</li><li>• die Wuchschwanzpalme bildet einen solitären, glatten, leicht spindelförmigen Stamm</li><li>• Krone ist sehr voll, durch dicht gefiederte Fächer</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li></ul>

<sup>96</sup> Vgl. (Amerson Landscape, 2010)

## 11.2 Großgehölze für den Mitteleuropäischen Raum

Laubgehölze:

*Acer campestre* (Feldahorn)<sup>97</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Feld-Ahorn</li><li>• Sapindales</li><li>• Sapindaceae</li><li>• Ahorne (<i>Acer</i>)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Acer campestre</i> gehört zu den Seifenbaumgewächsen</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• bleibt meistens strauchartig</li><li>• Blätter sind gegenständig, drei- bis fünflobig, mit stumpfen Blattlappen</li></ul>

<sup>97</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

*Acer ginnala* (Feuerahorn)<sup>98</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tatarischer Steppen-Ahorn</li><li>• Sapindales</li><li>• Sapindaceae</li><li>• Ahorne (<i>Acer</i>)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Acer ginnala</i> ist ein Großstrauch oder Kleinbaum</li><li>• bis zu 8 m Höhe</li><li>• breitwüchsig bis schirmförmig</li><li>• grünlichweiße Dolden im Mai mit den Blättern erscheinend, leicht duftend</li></ul>

<sup>98</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

*Acer platanoides* 'Globosum' (Kugelahorn)<sup>99</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kugel-Ahorn</li><li>• Sapindales</li><li>• Aceraceae</li><li>• Ahorne (Acer)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Acer platanoides</i> ist ein Kleinbaum</li><li>• bis zu 7 - 9 m Höhe</li><li>• Blatt ist Sommergrün, gegenständig, 18 cm breit, 5- bis 7-lappig und bogig gezähnt</li><li>• Zweige sind hellbraun</li></ul>

<sup>99</sup> Vgl. (Bauen mit Herz, 2010)



*Fraxinus excelsior* 'Nana' (Kugelesche)<sup>100</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kugel-Esche</li><li>• Sapindales</li><li>• Oleaceae</li><li>• Fraxinus</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Acer platanoides</i> ist ein Kleinbaum</li><li>• bis zu 6 - 8 m Höhe</li><li>• dicht verzweigte kugelförmige Krone</li><li>• Blätter sind grün und bis 20 cm lang</li></ul>

<sup>100</sup> Vgl. (Bauen mit Herz, 2010)

Amelanchier lamarckii (Kupfer-Felsenbirne)<sup>101</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kugel-Felsenbirne</li><li>• Pyreae</li><li>• Rosaceae</li><li>• Amelanchier</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amelanchier lamarckii ist ein sommergrüner Großstrauch bis Kleinbaum</li><li>• bis zu 8 m Höhe</li><li>• breitwüchsig bis trichterförmig</li><li>• weiße Blütentrauben Ende April, später rötlich</li></ul>

<sup>101</sup> Vgl. (Pictokon, 2010)

*Acer palmatum* (Fächerahorn)<sup>102</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fächerahorn</li><li>• Sapindales</li><li>• Sapindaceae</li><li>• Ahorne (<i>Acer</i>)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Acer palmatum</i> ist ein Fächerahorn</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• wächst breitbuschig bis schirmartig</li><li>• Blätter werden bis zu 20 cm groß</li></ul>

<sup>102</sup> Vgl. (Nursery Trees, 2010)

*Carpinus caroliniana* (Amerikanische Hainbuche)<sup>103</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amerikanische Hainbuche</li><li>• Fagales</li><li>• Betulaceae</li><li>• Hainbuchen (<i>Carpinus</i>)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Carpinus caroliniana</i> ist ein Laubbaum</li><li>• bis zu 12 m Höhe</li><li>• stark abgerundete, fast kugelförmige Krone</li><li>• die elliptischen Laubblätter sind 5 – 10 cm lang 3 – 5 cm breit</li></ul>

<sup>103</sup> Vgl. (Johnston County Center, 2010)

Carpinus betulus Fastigiata (Säulen Hainbuche)<sup>104</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Säulen Hainbuche</li><li>• Fagales</li><li>• Betulaceae</li><li>• Hainbuchen (Carpinus)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carpinus betulus ist ein mittelgroßer Baum</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• Krone ist eiförmig, der Stamm krummwüchsig</li><li>• die wechselständigen Blätter sind 4 – 10 cm lang und 2 – 4 cm breit</li></ul>

<sup>104</sup> Vgl. (Shade Trees, 2010)

*Nadelgehölze:*

Zypressen (*Cupressus*)<sup>105</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cupressus</li><li>• Coniferales</li><li>• Cupressaceae</li><li>• Zypressen</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zypressen sind mittelgroße Nadelbäume</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• immergrüne Bäume oder strauchförmige verholzende Pflanzen</li><li>• schnelles Wachstum und das dichte Laub machen sie zu einem geeigneten Windschutz</li></ul>

<sup>105</sup> Vgl. (UA Campus Arboretum, 2010)

Ginkgo (Ginkgo biloba)<sup>106</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ginkgo</li> <li>• Ginkgoartige</li> <li>• Ginkgogewächse</li> <li>• Ginkgo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ginkgo's sind mittelgroße Nadelbäume</li> <li>• bis zu 10 m Höhe</li> <li>• sommergrüner Baum</li> <li>• seine Borke ist braun und bildet eine dicke Schicht, die Kork ähnelt</li> <li>• Umriss ist pyramidenförmig und ist nur spärlich beaset</li> </ul>

<sup>106</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)

Zedern (Cedrus)<sup>107</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cedrus</li> <li>• Coniferales</li> <li>• Pinaceae</li> <li>• Zedern</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zedern gehören zu den Kieferngewächsen</li> <li>• bis zu 10 m Höhe</li> <li>• immergrüner Baum, der eine breite Baumkrone ausbildet</li> <li>• das Holz duftet</li> <li>• die Borke ist glatt und grau</li> <li>• eiförmigen Knospen sind von Schuppen umhüllt</li> </ul>

<sup>107</sup> Vgl. (Wikimedia Commons, 2010)



Sicheltanne (*Cryptomeria japonica*)<sup>108</sup>



<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Art</b></li><li>• <b>Ordnung</b></li><li>• <b>Familie</b></li><li>• <b>Gattung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sicheltanne</li><li>• Coniferales</li><li>• Cupressaceae</li><li>• Cryptomeria</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Beschreibung</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• die Sicheltanne ist ein Nadelgehölz</li><li>• bis zu 10 m Höhe</li><li>• immergrüner Baum</li><li>• die Borke ist orange bis rotbraun</li><li>• die Baumkrone ist schmal kegelförmig und schließt im Gipfel rund ab</li><li>• die frischgrünen harten Blätter werden 15 cm lang</li></ul>

<sup>108</sup> Vgl. (Vivaidichio, 2010)

Lebensbaum (Thujen)<sup>109</sup>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Art</b></li> <li>• <b>Ordnung</b></li> <li>• <b>Familie</b></li> <li>• <b>Gattung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thujen</li> <li>• Coniferales</li> <li>• Cupressaceae</li> <li>• Lebensbaum</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Beschreibung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Lebensbaum ist ein Nadelholz</li> <li>• bis zu 10 m Höhe</li> <li>• immergrüner Baum oder Strauch</li> <li>• die Schuppenförmigen Blätter stehen gegenständig in vier Reihen an den Zweigen</li> <li>• unterscheiden sich in Flächen- und Kantenblättern</li> </ul>

<sup>109</sup> Vgl. (Academic dictionaries and encyclopedias, 2010)

## **12. Wartung und Pflege**

### **12.1 Fertigstellungspflege (vor Abnahme)**

Die Fertigstellungspflege gemäß der FLL „Richtlinien für Dachbegrünungen“ erfolgt in Anlehnung an DIN 18916 und DIN 18917.<sup>110</sup>

Sie umfasst alle Leistungen, die zur Erzielung des abnahmefähigen Zustandes erforderlich sind. Objektbezogen sind Pflegeziel, die zu vergütenden Einzelleistungen in Bezug auf die Gesamtdauer und Jahreszeit sowie der abnahmefähige Zustand für die gewünschte Vegetationsform im Einzelnen genau zu beschreiben und zu vereinbaren.

### **12.2 Entwicklungs- und Unterhaltungspflege (nach Abnahme)**

Die Entwicklungspflege beginnt nach der Abnahme im Anschluss an die Fertigstellungspflege. Sie geht in die Unterhaltungspflege über und erfordert im Vergleich zur Unterhaltungspflege in der Regel zunächst vermehrte Leistungen.

Erfordernis, Art, Umfang und Zeitpunkt von Leistungen richten sich insbesondere nach dem vorgesehenen Begrünungsziel, den Standortverhältnissen, dem Entwicklungsstand und eventuellen ökologischen Aspekten. Sie sind im Einzelnen genau zu beschreiben – siehe auch VOB/A § 9, DIN18919 und FLL „Richtlinien für Dachbegrünungen“.

Bei der Ausführung der Leistungen sind die Vegetationsflächen zu überprüfen hinsichtlich:

- Krankheits- und Schädlingsbefall,
- Funktionsfähigkeit der technischen Einrichtungen, insbesondere der Entwässerung,
- Entwicklung der Vegetation entgegen dem vorgesehenen Begrünungsziel
- Aufgetretene Schäden

---

<sup>110</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 59)

Sofern der Auftragnehmer nicht mit Wartungsarbeiten beauftragt ist, muss er prüfen, ob Handlungsbedarf besteht und dies dem Auftraggeber umgehend mitteilen. Die jeweils zu erbringenden Leistungen sind zu vereinbaren.<sup>111</sup>

Bei begrünten Dächern können insbesondere für Intensivbegrünungen folgende Leistungen erforderlich werden:

- Schnittarbeiten
- Mulchen
- Winterschutzmaßnahmen
- Nacharbeiten von Verankerungen
- Entfernen von nicht mehr erforderlichen Verankerungen
- Entfernen von unerwünschtem Aufwuchs
- Düngen
- Wässern
- Entfernen von Laub und Unrat
- Nachfüllen von Substrat

Weitere besondere Leistungen aus dem Bereich der Wartungsarbeiten können sein:

- Freihalten von Rand- und Sicherheitsstreifen
- sowie von Platten- und anderen Belägen von erwünschtem Aufwuchs
- Säubern von Sicherheitsrinnen, Kontrollschächten, Dachabläufen und anderen Entwässerungseinrichtungen

In der Regel können bei intensiven Dachbegrünungen vier bis acht Pflegegänge im Jahr erforderlich sein.

### **12.3 Wartung**

Die Wartung als Maßnahme zur Bewahrung des Sollzustandes dient sowohl der Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit von Sicherheitseinrichtungen und

---

<sup>111</sup> Vgl. (FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2010, S. 57 - 59)

technischen Einrichtungen, als auch der Dachabdichtung und den An- und Ab-schlüssen sowie den Durchdringungen. Dabei schließt die Wartung die regel-mäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit und gegebenenfalls Maßnahmen wie z.B. Reinigung, Nachbesserung und geringfügige Arbeiten zur Wiederher-stellung des Sollzustandes ein. Sollten darüber hinaus umfangreiche Maßnah-men zur Wiederherstellung des Sollzustandes erforderlich werden, sind diese als Instandsetzungsmaßnahmen zu vereinbaren. Maßnahmen zur Instandset-zung gelten als Besondere Leistungen und sind nicht im Leistungsumfang der Wartung enthalten.

#### **12.4 Die erste Bewässerung**

Direkt nach der Bepflanzung des Dachs ist eine intensive Bewässerung not-wendig. Diese sollte zeitlich am besten am späteren Nachmittag angesetzt wer-den, damit zu dem fast unvermeidlichen Trockenstress nicht auch noch ein Verdunstungsverlust durch Sonneneinstrahlung für die Pflanzen hinzukommt. Das trockene Substrat muss so lange bewässert werden, bis es sich völlig voll-gesaugt hat. Dazu empfiehlt sich die Benutzung eines Gartenschlauchs in Kombination mit einem Gießbrause-Aufsatz, um so einen sanften Regen zu erzeugen, damit die Mulchdecke nicht weggeschwemmt wird. Je nach Dach-größe kann dieser erste Bewässerungsvorgang ein bis mehrere Stunden dau-ern. Auch in den darauf folgenden Tagen muss die intensive Bewässerung fort-gesetzt werden. In Abhängigkeit von Jahreszeit und Wetter kann die zusätzliche Wassergabe zwischen ein- bis dreimal in den ersten vier bis acht Wochen ach-ter Bepflanzung variieren. Nachdem die Bäume neue Wurzeln gebildet haben und beginnen zu wachsen, sollte die Bewässerung langsam eingestellt werden. Im weiteren Verlauf soll die Dachvegetation von selbst mit den natürlichen Kli-mabedingungen am Standort zurechtkommen. In extrem heißen Sommern kann eine zusätzliche, einmalige Bewässerung jedoch sinnvoll sein. Diese muss möglichst intensiv erfolgen, damit nicht nur die oberste Bodenschicht, sondern auch die darunterliegende Sicht mit all ihren Hohlräumen durchnässt wird, denn nur so wird das Wasser für die Wurzeln auch verfügbar. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass mit zunehmendem Alter der Begrünung immer weniger Be-

wässerungsaufwand notwendig ist, da sich die Pflanzen an die vorherrschenden Klimabedingungen anpassen.

### **13. Kosten-Nutzen-Analyse bei Gründächern**

Es gibt viele Argumente, die für die Begrünung von Dächern sprechen – einige davon lassen sich auch in Euro und Cent aufrechnen. Ob und in welcher Höhe sich das Gründach gegenüber einem unbegrüntem Dach bezahlt macht, hängt von verschiedenen Fakten ab, unter anderem von der inneren Einstellung des Bauherren und der verantwortlichen Planer. Sie alle haben es in der Hand, die vielen positiven Wirkungen von Dachbegrünungen zu nutzen. Rechnen wird sich das begrünte Dach in allen Fällen.

In Deutschland werden jährlich etwa 10 Millionen Quadratmeter Dachfläche neu begrünt, davon etwa 80 Prozent extensiv und 20 Prozent intensiv. „Intensiv“, das heißt nutzbar als erweiterter Lebensraum.

Der Trend zu genutzten Dachlandschaften hält an. In Deutschland spielen für die Dachbegrünung zwei Gesetzesvorgaben eine große Rolle: die „Eingriffs-Ausgleichs-Vorgaben“ des Bundesnaturschutzgesetzes und die Entwicklung der Berechnung der „Abwassergebühren“, die früher oder später in allen Bundesländern durch eine gesplittete Abwassergebühr (Schmutzwasser getrennt vom Niederschlagswasser) erhoben werden.<sup>112</sup>

Die Tendenz zu nutzbaren Intensivbegrünungen mit Freizeit- und Verkehrsflächen ist spürbar und hält nunmehr seit Jahren an. Viele Kaufhäuser, Geschäfte, Einkaufszentren, Hotelanlagen, Schulen, Kindertagesstätten, Parkhäuser usw. sind so angelegt, dass sie grüne, begehbare „Oasen“ darstellen und für den Menschen zusätzlichen „Wohnraum“ bilden. Es entstehen Spiel- und Sportplätze, Pausen- und Rückzugsräume, Wege, Teichanlagen und ein Unterschied zum gewachsenen Boden ist nicht mehr zu erkennen.

Und das Reizvolle für alle Investoren – der Baugrund für diese weiteren Nutzflächen ist kostenlos. Er wurde ja schon ebenerdig bezahlt und erfährt „oben“

---

<sup>112</sup> Vgl. (EUROPÄISCHE FÖDERATION DER BAUWERKSBEGRÜNUNGSVERBÄNDE-EFB, 2010)

eine „Zweitnutzung“. Die Kosten der beschriebenen intensiven Dachbegrünungen sind bei weitem geringer als die Kosten eines neuen Bauplatzes – man muss sich nur die Grundstückspreise in größeren Städten vor Augen halten. Ganz davon zu schweigen, dass vor allem in Ballungszentren freie Bauplätze Mangelware sind.

Mit der Beanspruchung neuer Wohn- und Verkehrsflächen nimmt die Versiegelung des Bodens zu. Dies hat zu starken Veränderungen des Wasserhaushaltes geführt. Niederschlagswasser kann nicht mehr in ausreichendem Maß versickern. Das von Dächern und versiegelten Bodenflächen abgeleitete Niederschlagswasser wurde bisher zu einem großen Teil in die bestehende Kanalisation eingeleitet und der Kläranlage als Schmutzwasser zugeführt. Auf die Weise wurde relativ sauberes Niederschlagswasser teuer und energieaufwendig in den Abwasserreinigungsanlagen mit gereinigt.

In den letzten Jahren hat beim Umgang in Siedlungsgebieten ein Umdenkprozess stattgefunden. Heute ist man bemüht, möglichst ökonomisch mit dem anfallenden Regenwasser umzugehen. Entgegen früherer Praxis soll dieses Wasser nicht mehr über die Kanalisation in die Kläranlage geleitet werden, sondern direkt versickern. Ist dies nicht möglich, sollte es in ein natürliches Gewässer eingeleitet werden.

Dachbegrünungen vereinen eine Vielzahl an positive Wirkungen, die sich je nach den örtlichen Gegebenheiten nachweisbar rechnen können, so dass in bestimmten Fällen ein Gründach Kostenvorteile gegenüber einem unbegrüntem Dach aufweist.<sup>113</sup>

Zudem ist es nur eine Frage der Zeit, bis Dachbegrünungen auch ein bestimmter Wert an Wärmedämmleistung zuerkannt wird, womit sich weiteres Einsparpotenzial ergibt. Es kann festgehalten werden, dass wir mit begrüntem Dächern auf dem richtigen Weg sind - in Ökologie und Ökonomie.<sup>114</sup>

---

<sup>113</sup> Vgl. (Baunetz Wissen Flachdach, 2010)

<sup>114</sup> Vgl. (HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER, 2010)

## 13.1 Ökologische und Ökonomische Vorteile für Deutschland und Singapur

- *Schaffung von ökologischen Lebensraum*

Eine bunte Vielfalt von Tieren und Pflanzen findet auf dem Gründach als sogenanntem „Trittbrettbiotop“ ein neues Zuhause.

- *Staub- und Schadstoffbindung*

Die Vegetationsschicht bindet in erheblichen Umfang Staub und Schadstoffe aus der Luft. Damit hilft sie auch, Feinstaubbelastung in Städten zu reduzieren.

- *Klimatisierung*

Durch die entstehende Verdunstungskälte werden unter dem Dach liegende Räume aktiv gekühlt. In Räumen ohne Klimaanlage sorgt dies für ein angenehmes Klima auch an heißen Tagen. Besonders im Planungsgebiet Singapur, wo alle Räume klimatisiert sind, lassen sich die Stromkosten für die Kühlung deutlich reduzieren. In vielen Fällen rechnet sich eine Dachbegrünung allein dadurch schon in ein bis zwei Jahren.

- *Klimaverbesserung*

Nicht nur das Raumklima wird durch eine Dachbegrünung deutlich verbessert. Die Aufheizung der Dachfläche wird verhindert und Rückstrahlungshitze damit vermieden. Gerade in dicht bebauten Gebieten ein echter Beitrag zum Klimaschutz.

- *Erhöhter Wasserrückhalt*

Ca. 50 – 70 % der Niederschläge werden von der Dachbegrünung zurückgehalten. Das führt zu einer deutlichen Entlastung der Kanalisation.

- *Nutzbare Freifläche*

Intensive Dachbegrünung lassen sich als Dachterrasse oder Dachgarten nutzen. In jedem Fall ist eine Dachbegrünung aber eine ästhetische Aufwertung für das Dach.

- *Schallschutz*



Das Gründach schützt vor dem Eindringen von Schall. Flug- und Verkehrslärm wird so in den Räumen unter dem Dach reduziert.

Umgekehrt hilft das Dachgrün auch, wenn kein Schall nach außen dringen soll. Auf Fabrik- und Gewerbeflächen sorgt sie für eine möglichst geringe Belastung der Umwelt.

- *Schutz vor elektromagnetischen Strahlen*

Wissenschaftliche Tests haben ergeben, dass eine Dachbegrünung vor den Auswirkungen elektromagnetischer Strahlen schützt.

- *Längere Dachlebensdauer*

Durch die Dachbegrünung werden die Temperaturschwankungen auf dem Dach von ca. 80 °C auf unter 25 °C reduziert. Die Begrünung schützt die Dachabdichtung wirksam vor schädlichen UV-Strahlen und hält Witterungseinflüsse wie Hagel und Sturm von ihr ab. Unter diesen Bedingungen ist die Haltbarkeit der Dachabdichtung etwa doppelt so lang als unter herkömmlichen Bedingungen.

- *Kostenersparnis*

Eine Dachbegrünung spart bares Geld. Je nach Gemeinde sind Zuschüsse und reduzierte Regenwassergebühren möglich. Viele Gemeinden kommen den Hausbesitzern bei der Berechnung des Abwassers aus Niederschlägen mit den Gebühren entgegen, wenn sie begrünte Dachflächen haben. Teilweise gibt es sogar Städte, die die Dachbegrünung selbst mit einem bestimmten Betrag je qm subventionieren.

## **14. Resüme**

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit soll sein, ob es möglich ist, Bäume auf Gründächern zu integrieren.

Wenn Architekten und Ingenieure von Anfang an zusammenarbeiten und die standortbedingten Einflussfaktoren berücksichtigen, dann ist es möglich ein Konzept auszuarbeiten, dass für die Bäume ein optimaler Lebensraum geschaffen wird. Die wichtigsten Eckpunkte sind:

- Genügend Platz für die Wurzel
- Standsicherheit des Baumes
- Windlastberechnung
- Für den jeweiligen Standort das optimale Substrat
- Bewässerung
- Entwässerung
- Geeignete Gehölze

Eine Dachbegrünung mit Sträucher und Bäumen, ist ein geeignetes Instrumentarium um Wasser zurückzuhalten, zu speichern und über Verdunstung dosiert an die Umwelt wieder abzugeben. Wird das Sickerwasser in das Gesamtkonzept einer umweltfreundlichen Nutzung mit einbezogen, macht dies die intensive Dachbegrünung noch wertvoller. Dadurch ergeben sich sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile.

## 15. Literaturverzeichnis

- Academic dictionaries and encyclopedias.* (3. Juni 2010). Von <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/23007> abgerufen
- Amerson Landscape.* (6. Juni 2010). Von <http://www.amersonlandscape.com/foxtail.htm> abgerufen
- Bauen mit Herz.* (5. Juni 2010). Von <http://www.bauenmitherz.com/pflanzen/pflanzen.htm> abgerufen
- BAUMPRÜFUNG-Das digitale Nachschlagewerk über Bäume.* (13. Februar 2010). Von [http://www.baumpruefung.de/Neue\\_Dateien/wurzel.html](http://www.baumpruefung.de/Neue_Dateien/wurzel.html) abgerufen
- BAUMSCHULE-NEWGARDEN;<http://www.baumschule-newgarden.de/>. (Mai 2010).
- Baunetz Wissen Flachdach.* (2. März 2010). Von [http://www.baunetzwissen.de/index/Flachdach\\_34075.html](http://www.baunetzwissen.de/index/Flachdach_34075.html) abgerufen
- Baunetz Wissen Flachdach.* (29. März 2010). Von DIN 1055; Lastannahmen für ein Gründach (I) - Allgemeines: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Flachdach\\_Lastannahmen-fuer-ein-Gruendach-I-Allgemeines\\_156237.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Flachdach_Lastannahmen-fuer-ein-Gruendach-I-Allgemeines_156237.html) abgerufen
- Beobuild-Forum.* (26. Januar 2010). Von <http://img56.imageshack.us/img56/7273/fusionopolis1om4.jpg> abgerufen
- BI-FACHZEITSCHRIFTEN.* (4. März 2010). Von [http://www.bi-fachzeitschriften.de/pdf/Baumwurzeln\\_bi-GaLaBau\\_1+2-10.pdf](http://www.bi-fachzeitschriften.de/pdf/Baumwurzeln_bi-GaLaBau_1+2-10.pdf) abgerufen
- BOSY-ONLINE.* (2. Mai 2010). Von <http://www.bosy-online.de/DIN%20EN%2012056.pdf> abgerufen
- BOTANICGROUP;<http://www.botanicgroup.com/>. (Mai 2010).
- CLASEN & CO.* (22. April 2010). Von [http://www.clasen-co.com/files/gutachten\\_baumkultursubstrat.pdf](http://www.clasen-co.com/files/gutachten_baumkultursubstrat.pdf) abgerufen
- Culture Sheet.* (4. Juni 2010). Von <http://culturesheet.org/malvaceae:hibiscus:tiliaceus> abgerufen
- Cuyamaca.* (2. Juni 2010). Von [http://www.cuyamaca.edu/oh170/Plant\\_Thumbnails\\_3/Callistemon-viminalis---web.jpg](http://www.cuyamaca.edu/oh170/Plant_Thumbnails_3/Callistemon-viminalis---web.jpg) abgerufen

*Die Plattform zur Dachbegrünung.* (10. Februar 2010). Von [http://www.gruendaecher.de/Checkliste\\_1.aspx](http://www.gruendaecher.de/Checkliste_1.aspx) abgerufen

*DRAINSTAR.* (15. Mai 2010). Von <http://www.keidel-software.com/de/planer5.php> abgerufen

*EUROPÄISCHE FÖDERATION DER BAUWERKSBEGRÜNUNGSVERBÄNDE-EFB.* (25. Februar 2010). Von <http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/fa01.html> abgerufen

*Flickr.* (5. Juni 2010). Von <http://www.flickr.com/photos/10802782@N05/2296048312> abgerufen

*Flickr.* (5. Juni 2010). Von <http://www.flickr.com/photos/36838058@N03/3860624239/> abgerufen

*Flickr.com.* (4. Juni 2010). Von [http://farm1.static.flickr.com/155/336233823\\_9da081b74a.jpg](http://farm1.static.flickr.com/155/336233823_9da081b74a.jpg) abgerufen

FLL; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2010). *Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen - Dachbegrünungsrichtlinie.* Bonn.

FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE. (16. März 2010). *Baumwurzel und ihre Verankerung im Erdreich.* Von <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7104.pdf> abgerufen

FRANZ PENNINGSFELD, P. K. (1966). *Hydrokultur und Torfkultur.* Ulmer.

*Gardening with Wilson.* (4. Juni 2010). Von <http://gardeningwithwilson.com/2008/10/16/our-national-shrub-syzygium-campanulatum-in-flower/> abgerufen

*Growquest.* (5. Juni 2010). Von <http://www.growquest.com/Tropical%20Plants/Ultimate%20A%20to%20Z%20Palm%20list.htm> abgerufen

*HÄMMERLE-GRÜNDÄCHER.* (2. März 2010). Von <http://www.haemmerle-gruendach.de/> abgerufen

*Hear-Plants.* (3. Juni 2010). Von <http://www.hear.org/starr/images/image/?q=061224-2876&o=plants> abgerufen

*Home and Garden.* (5. Juni 2010). Von <http://home-and-garden.webshots.com/photo/1082322464046846379NVnABT> abgerufen

- HYDROSKRIPT; [www.hydroskript.de/html/\\_index.html?page=/html/hykp0406.html](http://www.hydroskript.de/html/_index.html?page=/html/hykp0406.html). (2010).
- IKZ-HAUSTECHNIK. (10. Mai 2010). Von <http://www.ikz.de/1996-2005/1999/17/9917068.php> abgerufen
- Infoplattform Wissenwertes-Wetterlexikon. (30. Mai 2010). Von <http://www.wissenswertes.at/index.php?id=wetter-luv> abgerufen
- Johnston County Center. (11. Juni 2010). Von <http://johnston.ces.ncsu.edu/content/goctober07> abgerufen
- Karl Schnelting, B. B. (1992). *Unsere Bäume*. Gräfe u. Unzer.
- KRUPKA, B. W. (1992). *Dachbegrünung: Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken*. Ulmer.
- KRUPKA, B. W. (1992). *Handbuch des Landschaftsbaues "Dachbegrünung"*. Stuttgart.
- Logan River Tree Farm. (6. Juni 2010). Von [http://www.loganrivertreefarm.com.au/other\\_natives.htm](http://www.loganrivertreefarm.com.au/other_natives.htm) abgerufen
- Malek, J. v., & Wawrik, H. (1985). *Baumpflege*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Mechanik am Baum, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtzgemeinschaft*. (19. Mail 2010). Von <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7104.pdf> abgerufen
- MSN-Wetter. (20. Februar 2010). Von <http://wetter.msn.com/> abgerufen
- NPARKS SINGAPORE. (27. April 2010). Von [http://www.nparks.gov.sg/imgs/pdfs/publications/plants/03\\_Green%20Roofs%20for%20Singapore.pdf](http://www.nparks.gov.sg/imgs/pdfs/publications/plants/03_Green%20Roofs%20for%20Singapore.pdf) abgerufen
- Nursery Trees. (11. Juni 2010). Von [http://www.nurserytrees.com/Bloodgood\\_Availability\\_Page\\_2006.htm](http://www.nurserytrees.com/Bloodgood_Availability_Page_2006.htm) abgerufen
- Okeechobee. (5. Juni 2010). Von <http://okeechobee.ifas.ufl.edu/News%20columns/Christmas.Palm.htm> abgerufen
- OPTIGRÜN. (15. April 2010). Von [http://www.optigruen.de/Datenblaetter/081\\_Intensiv-Substrat-Typ\\_i\\_DE.pdf](http://www.optigruen.de/Datenblaetter/081_Intensiv-Substrat-Typ_i_DE.pdf) abgerufen
- Palmenblog. (5. Juni 2010). Von <http://www.palmenblog.com/2008/11/29/cyrtostachys-renda-siegellack-palme/> abgerufen
- PATENT-DE. (02. April 2010). Von Dachbegrünungssubstrat und bepflanzbarer Dachaufbau: <http://www.patent-de.com/20061116/DE102004027797B4.html> abgerufen

- PAUL BAUDER. (19. April 2010). Von [http://www.bauder.de/fileadmin/data/downloads/gruendach/gd-produktdatenblaetter/Pflanzerde\\_LBB-I.pdf](http://www.bauder.de/fileadmin/data/downloads/gruendach/gd-produktdatenblaetter/Pflanzerde_LBB-I.pdf) abgerufen
- Pictokon. (11. Juni 2010). Von <http://www.pictokon.net/bilder/03-09-bildermaterial/amelanchier-lamarckii-ballerina-kupferfelsenbirne-felsenbirne-als-hochstamm-im-herbt-herbstfaerbung.html> abgerufen
- REEKER, R. &. (1973). *Torf im Gartenbau*. Parey.
- Shade Trees. (5. Mai 2010). Von <http://www.shadetrees.com/scripts/treedetail.asp?thistree=63> abgerufen
- SIEWNIAK, M., & KUSCHE, D. (1994). *Baumpflege heute*. Berlin: Patzer Verlag.
- SINGAPUR REISEINFO. (23. Februar 2010). SINGAPUR REISEINFO. Von [http://www.singapur-reiseinfo.de/\\_wettervorhersage.html](http://www.singapur-reiseinfo.de/_wettervorhersage.html) abgerufen
- South West. (4. Juni 2010). Von [http://202.75.36.43/\\$sitepreview/southwestcdc.org.sg/plants-01.asp?ID=95](http://202.75.36.43/$sitepreview/southwestcdc.org.sg/plants-01.asp?ID=95) abgerufen
- SUSAN K. WEILER, KATRIN SCHOLZ-BARTH. (2009). *Green roof systems: a guide to the planning, design, and construction of landscapes over structure*. John Wiley & Sons.
- TopTropicals.com - rare plants for home and garden; <http://www.toptropicals.com/index.htm>. (2010).
- UA Campus Arboretum. (5. Juni 2010). Von [http://arboretum.arizona.edu/taxa/Cupressus\\_arizonica\\_glabra.html](http://arboretum.arizona.edu/taxa/Cupressus_arizonica_glabra.html) abgerufen
- VDI Richtlinie 3806; „Dachentwässerung mit Druckströmung“. (2. Mai 2010). Von [http://www.friedrich-datentechnik.de/download/basiswissen/Basiswissen-Drain\\_1.pdf](http://www.friedrich-datentechnik.de/download/basiswissen/Basiswissen-Drain_1.pdf) abgerufen
- Vivaidichio. (2. Juni 2010). Von [http://www.vivaidichio.net/public/cryptomeria\\_japonica.jpg](http://www.vivaidichio.net/public/cryptomeria_japonica.jpg) abgerufen
- VULKATEC. (10. April 2010). Von <http://www.vulkatec.de/deutsch/4/2/5/1/> abgerufen
- Wikimedia Commons. (2. Juni 2010). Von [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr\\_040209-0131\\_Ardisia\\_elliptica.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_040209-0131_Ardisia_elliptica.jpg) abgerufen

16. Abbildungsverzeichnis

Wikimedia Commons.	(3.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citharexylum_spinosum_-_Fiddlewood.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citharexylum_spinosum_-_Fiddlewood.jpg</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(4.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_080608-7570_Schefflera_actinophylla.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_080608-7570_Schefflera_actinophylla.jpg</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(5.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_071024-8818_Ptychosperma_macarthurii.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr_071024-8818_Ptychosperma_macarthurii.jpg</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(10.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acer_campestre_003.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acer_campestre_003.jpg</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(11.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acer_ginnala_tree.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acer_ginnala_tree.jpg</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(8.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ginkgo_biloba_MN_2007.JPG">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ginkgo_biloba_MN_2007.JPG</a>				
abgerufen				
Wikimedia Commons.	(5.	Juni	2010).	Von
<a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cedrus-deodare-habit.JPG">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cedrus-deodare-habit.JPG</a>				
abgerufen				
Wikipedia-Die freie Enzyklopädie.	(25.	März	2010).	Von
<a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Xerophyt">http://de.wikipedia.org/wiki/Xerophyt</a>				
abgerufen				
<i>Windumströmung von Einzelbäumen und Waldbeständen.</i> (26. Mai 2010). Von				
<a href="http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7104.pdf">http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7104.pdf</a>				
abgerufen				
Y-ESS ENVIRONMENTAL SUSTAINABLE SOLUTIONS LTD. (6. Mai 2010). Von				
<a href="http://www.y-ess.com/product_info.php?id=8">http://www.y-ess.com/product_info.php?id=8</a>				
abgerufen				
ZINCO.	(19.	April	2010).	Von
<a href="http://www.zinco.de/downloads/planungshilfen_pdfs/Vegetationstechnik.pdf">http://www.zinco.de/downloads/planungshilfen_pdfs/Vegetationstechnik.pdf</a>				
abgerufen				
ZINCO GmbH.	(22.	April	2010).	Von
<a href="http://www.zinco.de/systeme_gruendach/intensive_dachbegruenung/dachgarten.php">http://www.zinco.de/systeme_gruendach/intensive_dachbegruenung/dachgarten.php</a>				
abgerufen				

## 16. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bauwerksbegrünung, Fusionopolis in Singapur.....	2
Abbildung 2: Aufbaudicken bei Intensivbegrünung .....	13
Abbildung 3: Durchschnittliche Klimadaten für Deutschland.....	14
Abbildung 4: Durchschnittliche Temperaturen für Deutschland .....	15
Abbildung 5: Niederschlagsdurchschnitt in Deutschland.....	15
Abbildung 6: Durchschnittliche Klimadaten für Singapur.....	17
Abbildung 7: Durchschnittliche Temperaturen für Singapur .....	17
Abbildung 8: Niederschlagsdurchschnitt in Singapur .....	18
Abbildung 9: Fertigteile zur Grubenabdeckung .....	29
Abbildung 10: Fertigteile zur Grubenabdeckung .....	30
Abbildung 11: Kornverteilungsbereich für Vegetationssubstrate .....	32
Abbildung 12: Nährstoffgehalte in Vegetationssubstraten .....	37
Abbildung 13: Lastannahmen von Stoffen, Matten und Platten für Dränschichten bei maximaler Wasserkapazität .....	40
Abbildung 14: Lastannahmen von Vegetationssubstraten und Vegetationsmatten bei maximaler Wasserkapazität .....	42
Abbildung 15: Flächenlast bei der Intensivbegrünung.....	43
Abbildung 16: Vegetationstechnische Eigenschaften von „Vulkaplus intensiv 0/12“ .....	49
Abbildung 17 : Zusammensetzung von „Vulkaplus intensiv 0/12“ .....	50
Abbildung 18: Zusammensetzung von „Optigrün- Intensivbegrünungssubstrat Typ i“ .....	51
Abbildung 19: Zusammensetzung von „ZinCo-Systemerde Dachgarten“	52
Abbildung 20: Zusammensetzung von „Paul Bauder Pflanzeerde LBB-I“ ..	53
Abbildung 21: Zusammensetzung von „ALLEEGRO®- Baumkultursubstrat“ .....	55



**Abbildung 22: Wirbelbildung auf der Leeseite eines Nadelbaums ..... 77**  
**Abbildung 23: Formel Windlast ..... 77**

## **17. Planverzeichnis**

Plan 1: Funktionsschichten Intensivbegrünung ..... 7  
Plan 2: Baumgrubensystem im Flachdach eingelassen ..... 26  
Plan 3: Baumgrubensystem auf dem Flachdach ..... 27  
Plan 4: Kontrollschacht ..... 57  
Plan 5: Freispiegelentwässerung ..... 60  
Plan 6: Drückströmung ..... 62  
Plan 7: Unterflurbewässerung ..... 68  
Plan 8: Bewässerungsschacht ..... 70  
Plan 9: Wurzelballenverankerung ..... 73  
Plan 10: Wurzelballenverankerung in einer Stahlbetonbox ..... 74  
Plan 11: Baumsicherung mit Seilen ..... 75

## **18. Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Manfred Köhler sowie Herrn Professor Dipl. –Ing. Thomas Oyen, die mit sehr viel Engagement, guten Ideen und ausdauerndem Einsatz meine Diplomarbeit betreut haben.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen Mitbewohnern, die mich immer wieder ermutigt haben die Arbeit zum Abschluss zu bringen.

Auch möchte ich mich im Besonderen bei meinen Eltern sowie bei meinem Bruder bedanken, die mich während der Zeit des Studiums und bei der Diplomarbeit immer wieder moralisch unterstützt haben.

Thomas Sommerfeld

## **19. Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Thomas Sommerfeld, dass ich die Diplomarbeit selbstständig und ohne Verwendung anderer als der angegebenen Hilfsmittel verfasst habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher Weise oder ähnlicher Form weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt noch veröffentlicht.

Ich bin damit einverstanden, dass die Arbeit in der Hochschulbibliothek der Hochschule Neubrandenburg veröffentlicht wird.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift