

Grundlagen zur Einführung von extensiven Dachbegrünungssystemen in Thailand



vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Karsten Jarmer

zur Erlangung des Mastergrades im Fachbereich
Landschaftsarchitektur und Umweltplanung,
Hochschule Neubrandenburg

[urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0127-6](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0127-6)

Betreuung durch

Prof. Dr. Manfred Köhler
Prof. Thomas Oyen

2008

Gliederung

	Seite
Danksagung	V
Eidesstattliche Erklärung	VI
Vorwort	VII
Zusammenfassung	VIII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
1.1 Ziele und Aufgabenstellung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Theoretische Grundlagen zu Thailand	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Topographische Lage / Globalgeographische Orientierung	4
2.3 Geomorphologie und Böden	5
2.4 Klima	7
2.4.1 Jahreszeiten	8
2.4.2 Regenmengen	9
2.4.3 Temperatur	10
2.4.4 Relative Luftfeuchte	10
2.4.5 Verdunstung	11
2.5 Architektur	12
3 Bautechnische Anforderungen an Gründächer	14
3.1 Geschichte der Dachbegrünung	16
3.2 Bautechnische Voraussetzungen	18
3.2.1. Standortverhältnisse	18
3.2.2. Dachformen	20
3.3 Substrate	23
3.3.1 Allgemeine Hinweise	23
3.3.2 Vegetationstragschicht	24
3.3.3 Materialien	25
3.4 Pflanzenverwendung	28
3.4.1 Unterschiede zwischen Intensiv- und Extensivbegrünungen	28
3.4.2 Pflanzenauswahl	29
3.4.3 Pflanzenzusammenstellung	32
3.4.4 Pflanzweise	33
3.5 Unterhalt und Pflege	35
3.5.1 Fertigstellungspflege	35
3.5.2 Entwicklungs- und Unterhaltspflege	36
3.5.3 Bewässerung	37
3.5.4 Düngung	39
3.5.5 Entfernen von Fremdvegetation und Schädlingsbekämpfung	41

	Seite
3.6 Absturzsicherung	42
3.7 Dachbegrünungssysteme	44
3.7.1 Allgemeine Hinweise	44
3.7.2 Technische Anforderungen an verwendete Stoffe	45
3.7.3 Dachbegrünungssystem auf Schrägdächern	47
3.8 Planungshinweise	49
3.9 Kosten	50
4 Projektbeschreibungen	51
4.1 Lage	52
4.2 Forschungsprojekt an der <i>Rajabhat Maha Sarakham Universität</i>	53
4.2.1 Versuchsaufbau	54
4.2.2 Substrat	57
4.2.3 Bepflanzung	57
4.2.4 Pflege	59
4.3 Durchführung der Untersuchungen	60
4.3.1 Niederschlagsmessung	60
4.3.2 Abflussmenge	60
4.3.3 Pflanzenentwicklung	61
4.4 Ergebnisse	62
4.4.1 Niederschlags- und Abflussmenge	62
4.4.2 Pflanzenentwicklung	64
4.5 Auswertung	66
4.6 Forschungsprojekt an der <i>Maha Sarakham Universität</i>	67
4.7 Versuchsaufbau	68
4.7.1 Substrate	69
4.7.2 Bepflanzung	70
4.7.3 Pflege	72
4.8 Durchführung der Untersuchungen	74
4.9 Ergebnisse	74
4.10 Auswertung	75
4.11 Weitere einsetzbare Sukkulentearten	77
Literaturverzeichnis	X
Abbildungsverzeichnis	XVI
Tabellenverzeichnis	XX

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei den Betreuern Prof. Dr. Manfred Köhler und Prof. Thomas Oyen bedanken. Ebenso gilt mein Dank Asst. Prof. Manee Panichkarn, Dekanin an Fakultät für Architektur an der Kasem Bundit Universität in Bangkok und Asst. Prof. Narongrit Sopa, Direktor der Sprachenzentrums an der Rajabhat Maha Sarakham Universität für ihre langjährige Unterstützung während meiner Tätigkeit als Hochschullehrer in Thailand. Sie machten es möglich, Forschungsprojekte zum Thema extensive Dachbegrünung unter den subtropischen Bedingungen Thailands durchzuführen.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen (auch Internet) entnommen sind, sind als solche eindeutig kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht und noch nicht als Studienleistung zur Anerkennung oder Bewertung vorgelegt worden.“

Datum

Unterschrift

Vorwort

Während meiner Tätigkeit als Hochschullehre an zwei Universitäten in Maha Sarakham in Thailand beschäftigte ich mich eingehend mit Technologien zur Bauwerksbegrünung und Abwasserbehandlung. Hierbei lag der Schwerpunkt speziell bei der extensiven Dachbegrünung. Zu diesem Thema wurden zwei Pilotprojekte an der Rajabhat Maha Sarakham Universität (RMU) und Maha Sarakham Universität (MSU) in Kooperation mit der Hochschule Neubrandenburg (HS-NB) durch mich vorbereitet und geleitet.

Da zu dem Thema der extensiven Dachbegrünung in Thailand sehr wenige wissenschaftliche Untersuchungen und Erfahrungen vorliegen, war es nötig weitere Erkenntnisse zur Konstruktion von Gründächern und der Verwendung von Pflanzen unter subtropischen Verhältnissen zu sammeln. Hierzu liegen erste Untersuchungsergebnisse vor, welche in dieser Arbeit erläutert werden.

Durch meine Arbeit in Thailand und intensiven Austausch von Lehrpersonal zwischen den Kooperationspartnern in Deutschland und Thailand ist es zu einer erhöhten Aufmerksamkeit auf das Thema der Bauwerksbegrünung gekommen. Um weitere Konzepte für zukünftige Projekte zu entwickeln wird mit dieser Arbeit versucht, die Technologien, welche in Europa zur Bauwerksbegrünung vorliegen auf subtropische Verhältnisse zu übertragen. Dabei liegt wie schon bei den bereits durchgeführten Projekten ein Hauptaugenmerk auf Substratwahl, Pflanzenverwendung sowie der Pflege.

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit den Grundlagen zur Einführung von extensiven Dachbegrünungssystemen in Thailand. Im Rahmen dieser Arbeit werden dazu in den einzelnen Kapiteln Vorüberlegungen zur Konstruktion, Substratwahl, Pflanzenverwendung, Unterhalt und Pflege sowie Absturzsicherungen näher erläutert. Zusätzlich wird auf die Einführung von Dachbegrünungssystemen auf Flach- und Schrägdächern und den damit verbunden technischen und planerischen Anforderungen sowie mögliche Kosten näher eingegangen. Diese berücksichtigen vorherrschende klimatische und bauliche Verhältnisse in Thailand. Die langanhaltende Trockenzeit, die für die subtropischen Verhältnisse typisch ist, spielt dabei eine wesentliche Rolle.

Im dritten Teil der Arbeit werden zwei Pilotprojekte, welche im Nordosten Thailands durchgeführt wurden, beschrieben. Dabei stand der Einsatz von trockenresistenten Pflanzen auf nährstoffarmen Substraten, welche mit einem möglichst geringen Pflegeaufwand zufriedenstellende Wachstumsergebnisse erzielen, im Vordergrund. Gute Ergebnisse sind mit Sukkulente n wie Aloe vera, Kalanchoe pinnatum, Plectranthus tomentosa, Portulaca grandiflora und Portulaca pilosa erzielt worden. Im diesen Zusammenhang werden weitere Vorschläge für die Wahl geeigneter Pflanzen, welche auf ihre Tauglichkeit beim Einsatz auf extensiv begrünten Dächern hin überprüft werden müssten, unterbreitet.

Zudem ist das Anwachsverhalten der einzelnen Pflanzen auf unterschiedlichen Substratstärken und mit dem Zusatz von Humus und Ziegelbruch untersucht worden. Sehr gut wirkt sich dabei eine Beimengung von Ziegelbruch auf die Pflanzenentwicklung aus. Erste Ergebnisse zur Regenwasserrückhaltung belegten, dass bei einer Substratstärke von 7 bis 10 cm, bis zu 50 Prozent des Regenwassers zurückhalten werden kann.

Schlagnvorte: extensive Dachbegrünung, Dachbegrünungssysteme, Sukkulente n, Thailand

Abstract

This master thesis refers to the basics of the implementation of extensive green roof systems in Thailand. The context of the thesis includes considerations about the construction, substrates, plant selection, maintenance and fall protection. In addition to the implementation of extensive green roof systems on flat and sloped roof will be the technical, intended requirements and possible costs.

This includes the prevalent climate and building fabric conditions. The long dry season, which is typical of the climate in Thailand, plays an important consideration.

The third part of the text describes two extensive green roof pilot projects in the north east of Thailand. The main focus of these projects is the testing of dry resistant plants on nutrient poor substrate, which can grow with relatively low maintenance. Good results have been achieved with *Aloe vera*, *Kalanchoe pinnatum*, *Plectranths tomentosa*, *Portulace grandiflora* and *Portulace pilosa*.

These recommendations for selection have proved suitable for extensive green roofs. Furthermore the planting and distribution of plants is important, different depths and the addition of humus and crushed bricks proved positive. With the addition of the crushed bricks and 7 to 10 cm soil depth allowed for rain water retention of 50 percent.

Keywords: extensive green roof, green roof systems, succulents, Thailand

Literaturverzeichnis

APPL, ROLAND

Die Begrünung geneigter Dächer

Dach + Grün, Jg. 13 (2004), Nr.4, S.30-32

BERGER, WOLFGANG

Dachbegrünung als stadtökologische Maßnahme zur Umweltverbesserung

Umweltbehörde Hamburg, Hamburg (1987)

BORCHARDT, WOLFGANG

Pflanzenstandort Flachdach. Pflanzenökologische Faktoren der extensiven Begrünung von Flachdächern

Gartenamt, Jg. 43 (1994), Nr.5

BÖCKMANN, UWE;

Erst die Sicherheit, dann die Ästhetik. Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Absturzsicherung auf dem Dach

Dach + Grün, (2007)

DONNER, WOLFGANG

Thailand, Räumliche Strukturen und Entwicklung

Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1989)

DÖRRIES, JENNIFER; ZENS, ULRICH

Multifunktionale Dachvegetation. Dachgrün

Garten + Landschaft, Jg. 113 (2003), Nr.10

DELLER, BERTHOLD

Zutreffendere Beurteilung von Dachsubstraten mit porösen Bestandteilen. Die Bestimmung von Kornrohddichte, Feststoff- und Porenanteil

Dach + Grün, Jg. 13 (2004), Nr.4, S.11-17

DITTRICH, ANKA

www.grunddach.com, Mobile Sicherheit auf Flachdächern,

Dach + Grün, Jg. 3 (2008)

EPPEL, J.

Extensive Dachbegrünung mit System – Wie leistungsfähig sind Begrünungsvarianten für geringe Dachlasten?

Sonderdruck aus: GKL- Tagungsband. Veitshöchheim: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Abteilung Landespflege (2005)

ECKERT, HEIDRUN

HDB und NParks stellen Pilotprojekt Punggol East/ Singapore vor,

Dach + Grün 2 (2005)

FISCHER, P.; JAUCH, M.

Kompost in Substraten zur Dachbegrünung

Dach + Grün, Jg. 11 (2002), Nr.1, S.14-19

FISCHER, PETER; JAUCH, MARTIN
Düngung von extensiven Dachbegrünungen
Dach + Grün, Jg. 11 (2002), Nr.2, S.22-28

FISCHER, PETER; JAUCH, MARTIN
Substrate für einschichtige Dachbegrünungen. Anfangsentwicklung einer Sedumbegrünung
Gartenamt, Jg. 44 (1995), Nr.2, S.105-110

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL)
Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen –Dachbegrünungsrichtlinie
Bonn (2008)

GROßE-WILDE, JÜRGEN
Steinbrechgewächse - wichtige Ergänzungspflanzen in Sedumbegrünungen. Dachbegrünung - Pflanzenverwendung
Neue Landschaft, Jg. 44 (1999), Nr.10, S.658-660

Google Earth (2007)

HATZENBÜHLER, FLORIAN;
Der Weg zum Gründach kann dornig sein. Sukkulenten für die Dachbegrünung Tl.2
DACH + GRÜN, (2007)

KÖHLER, MANFRED
Extensive Gründächer. Rechenbare Vorteile in der Eingriffsregelung
STADT UND GRÜN / DAS GARTENAMT, Jg. 55 (2006), Nr.9, S.40-44

KÖHLER, MANFRED; MALORNY, WINFRIED
Wärme-Dämmeigenschaften von Dachsubstraten mit Vegetationsschicht extensiver Gründächer
Dach + Grün, Jg. 15 (2006), Nr.3, S.8-13

KÖHLER, MANFRED
Extensive Gründächer. Rechenbare Vorteile in der Eingriffsregelung
Stadt und Grün, Jg. 55 (2006), Nr.9, S.40-44

KÖHLER, MANFRED;
China verspricht grüne Olympische Spiele
Dach + Grün, (2008)

KOLB, WALTER
Bauwerksbegrünung - eine städtebauliche Utopie?
Stadt und Grün, Jg. 49 (2000), Nr.2, S.81-87

KOLB, WALTER
Dachbegrünung - Aktuelle Versuchsergebnisse
Neue Landschaft, Jg. 40 (1995), Nr.10, S.745-751 (5 S.)

KOLB, WALTER
Recyclingbaustoffe zur extensiven Dachbegrünung
Dach + Grün, Jg. 10 (2001), Nr.4, S.4-12

KOLB, WALTER
Abflussverhältnisse von Gründächern
Dach + Grün, Jg. 11 (2002), Nr.2, S.12-18

KOLB, WALTER; TRUNK, RAINER

Dachbegrünung auf Abfall? Versuche mit Recyclingbaustoffen

Neue Landschaft, Jg. 43 (1998), Nr.11, S.814-817

KOLB, WALTER; EPPEL, JÜRGEN

Begrünung von Leichtdächern - ein Systemvergleich. Teil 1 - Versuchsergebnisse aus Veitshöchheim

Dach + Grün, Jg. 12 (2003), Nr.1, S.20-26

KOLB, WALTER

Begrünung von Leichtdächern. Vergleichende Untersuchung verschiedener Systeme

Stadt und Grün, Jg. 52 (2003), Nr.6, S.50-53

KIRSCHSTEIN, CLAUDIA

Die Dürreerestistenz einiger Sedum-Arten. Abgeleitet aus der Bedeutung der Wurzelsaugspannung. Tl.1

(Fortsetzung in: Stadt und Grün 46(1997), Nr.5)

Stadt und Grün, Jg. 46 (1997), Nr.4, S.252-256

KRUPKA, BERND W.

Einschichtige Extensivbegrünungen auf Flächendächern ohne Gefälle

Dach + Grün, Jg. 15 (2006), Nr.3, S.16-20

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Extensive Dachbegrünung. Tl. 2.: Die Vermittlung von Forschungsergebnissen und deren Umsetzung

Stadt und Grün, Jg. 55 (2006), Nr.11, S.52-59

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Extensive Dachbegrünung. Teil 1: Von ersten Entwicklungsansätzen zur praktischen Umsetzung

Stadt und Grün, Jg. 55 (2006), Nr.10, S.47-53

LIESECKE, H.J.

Extensive Dachbegrünung. Anforderungen, Anwendungen und Probleme bei einschichtiger Bauweise

Neue Landschaft, Jg. 41 (1996), Nr.5, S.354-364 (7 S.)

LIESECKE, HANS JOACHIM

Mineralische Schüttstoffe zur Herstellung von Vegetationssubstraten für Dachbegrünungen

Dach + Grün, Jg. 11 (2002), Nr.3, S.8-18

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Kennwerte von Vegetationssubstraten für extensive Dachbegrünungen. Ableitung von Kennwerten,

Eigenschaften von Substrattypen und Stoffgruppen, Lastannahmen und Wasserspeicherung

Neue Landschaft, Jg. 51 (2006), Nr.1, S.44-51

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Langzeitentwicklung von Substraten für die extensive Dachbegrünung. Veränderungen im Gehalt an organischer Substanz, im pH-Wert, in der Wasserspeicherung und in der Lastannahme

Dach + Grün, Jg. 15 (2006), Nr.3, S.4-7

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Zwiebel- und Knollenpflanzen für extensive Dachbegrünungen. Auswertung von anwendungsbezogenen Versuchen und Demonstrationspflanzungen

Stadt und Grün, Jg. 50 (2001), Nr.2, S.133-139

LIESECKE, HANS JOACHIM

Langzeitentwicklung einer extensiven Dachbegrünung. Untersuchungen zum Substratverhalten und zur Vegetationsentwicklung eines 1985 ausgeführten Objektes
Stadt und Grün, Jg. 47 (1998), Nr.6, S.428-436

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Kennwerte von Vegetationssubstraten für extensive Dachbegrünungen. Ableitung von Kennwerten, Eigenschaften von Substrattypen und Stoffgruppen, Lastannahmen und Wasserspeicherung
Dach + Grün, Jg. 13 (2004), Nr.3, S.30-37

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Zwiebel- und Knollenpflanzen für extensive Dachbegrünungen. Auswertung von anwendungsbezogenen Versuchen und Demonstrationspflanzungen
Stadt und Grün, Jg. 50 (2001), Nr.2, S.133-139

LIESECKE, H.J.

Extensive Dachbegrünung. Anforderungen, Anwendungen und Probleme bei einschichtiger Bauweise
Neue Landschaft, Jg. 41 (1996), Nr.5, S.354-364 (7 S.)

LIESECKE, HANS JOACHIM

Kennwerte für Matten- und Platten-Elemente in der Dachbegrünung. Schichtdicken, Lastannahmen, Wasserspeicherung
Dach + Grün, Jg. 14 (2005), Nr.1, S.4-7

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Ergebnisse eines Langzeitversuches zur extensiven Dachbegrünung. Tl.2: Entwicklung von Gesamtdeckung, Vegetationsgruppen und Artenzusammensetzung
Dach + Grün, Jg. 12 (2003), Nr.1, S.4-10

LIESECKE, HANS-JOACHIM

Begrünung von Well- und Trapezprofilen mit einem Verbundschaumstoff. - Eigenschaften, Vegetationsentwicklung, Wasserspeicherung, Lastannahmen -
Dach + Grün, Jg. 12 (2003), Nr.1, S.28-37

LIESECKE, HANS JOACHIM

Das Ford Rouge Center Dachbegrünungsprojekt. Die erste großflächige Extensivbegrünung mit vorkultivierten Vegetationsmatten in den USA
Neue Landschaft, Jg. 49 (2004), Nr.3, S.46-50

LENZIN, HEINER

Einfluss des Substrats auf die Vegetationsentwicklung auf einem Flachdach. Erfolgskontrolle acht Jahre nach der Ansaat
Naturschutz und Landschaftsplanung, Jg. 38 (2006), Nr.1, S.20-26

MANN, GUNTER

Statik - das Gründach muss keine Last sein
Dach + Grün, Jg. 15 (2006), Nr.4, S.20-22

Mann, Gunter; Henneberg, Martin

Fortschrittliches Substratkonzept im Bereich Dachbegrünung. Ökologie mit Ökonomie verbinden
Stadt und Grün, Jg. 47 (1998), Nr.6, S.423-427

DR. GUNTER MANN,

Aus fachkundiger Hand – besondere Extensivbegrünungen,
Dach+Grün Jg. 1 (2005)

MANN, GUNTER; HANKIEWICZ, MARTIN

Ein Thema mit viel Klärungsbedarf. Grundsätze der Fertigstellungspflege - von der Ansaat bis zur Abnahme

Dach + Grün, Jg. 16 (2007), Nr.3, S.26-28

MANN, GUNTER;

Mit Solar-Zisternen bewässerte Dachbegrünungen

Neue Landschaft, Jg. 44 (1999), Nr.6, S.391

MANN, GUNTER

Gärtnerische Arbeiten auf begrünten Dächern. Arbeitssicherheit bei Dachbegrünung

Stadt und Grün, Jg. 52 (2003), Nr.12, S.40-43

REIS, KLAUS

Pflanzen für Dachbegrünungen

Neue Landschaft, Jg. 43 (1998), Nr.2, S.122-126, Abb.

Konferenz: Kontaktgespräch Landschaftsbau, Nr.: 8, Geisenheim (Deutschland, Bundesrepublik), September 1997

RODE, PETER

Abdichtungen mit Gussasphalt als Wurzelschutzschicht unter begrünten Flächen

Dach + Grün, Jg. 9 (2000), Nr.4, S.12-15

ROTH-KLEYER, STEPHAN;

Es muss nicht immer Schnittlauch sein - Allium für dünnschichtige Dachbegrünungen

Dach + Grün, (2006)

RIEHL, WIGBERT;

Regelwerke, Techniken und Bauweisen. Dachgrün

Garten + Landschaft, (2003)

THOMAS, JENS

Schadensvermeidung bei Grün-Steildach

Dach + Grün, Jg. 16 (2007), Nr.2, S.6-10

UPMEIER, MARTIN

Eine einzige Schicht hat viele Vorteile. Einschichtaufbau kontra "Alibi"-Systemaufbau bei Dachbegrünungen

Dach + Grün, Jg. 16 (2007), Nr.3, S.12-15

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Topographische Lage Thailands	4
Abb. 2: Thailands Nachbarstaaten	4
Abb. 3: Raumgliederung Thailands	5
Abb. 4: Physische Orientierungskarte von Thailand	6
Abb. 5: Klima Bangkoks	7
Abb. 6: Klima Chiang Mai	7
Abb. 7: Vorherrschende Winde in Thailand	8
Abb. 8: Isohyetische Karte Thailands	9
Abb. 9: Sonnenstunden, Temperaturen und Relative Feuchte in Thailand	10
Abb. 10: Stadtzentrum Bangkok	12
Abb. 11: Gebäude Fakultät für Architektur (MSU)	12
Abb. 12: Tempelanlage in Bangkok	13
Abb. 13: Museum der RMU in Maha Sarakham	13
Abb. 14: Dachgärten in Bangkok	13
Abb. 15: Holzhaus in Bangkok	13
Abb. 16: Blick über Bangkok	14
Abb. 17: Dachgarten in Bangkok	14
Abb. 18: Privater Dachgarten in Bangkok	14
Abb. 19: Extensive Dachbegrünung in Singapore	15
Abb. 20: Dachbegrünung in China	15
Abb. 21: Flachdächer in Bangkok	21
Abb. 22: Schrägdach aus Stahlblech in Maha Sarakham	21
Abb. 23: Schrägdach aus Faserzementplatten in Maha Sarakham	21
Abb. 24: Endwässerungsrinne eines Schrägdaches in Bangkok	21
Abb. 25: Einschichtdachsubstrat	24
Abb. 26: Einschichtdachsubstrat mit Recyclingbruch aus Ziegelsteinen	24
Abb. 27: Holzhäcksel	26
Abb. 28: Untersuchung von Recyclingbruch	26
Abb. 29: <i>Crassula marnieria</i>	31
Abb. 30: <i>Kalanchoe millotii</i>	31
Abb. 31: <i>Sedum clavatum</i>	31
Abb. 32: <i>Echeveria xanti</i>	31
Abb. 33: Artenarmes Sedumdach	32
Abb. 34: Blühendes Sedumschrägdach	32
Abb. 35: Blattspose an <i>Kalanchoe daigremontiana</i>	33
Abb. 36: Blattspose an <i>Kalanchoe pinnatum</i>	33
Abb. 37: Absturzsicherung über Seile	43
Abb. 38: Wiederlager für Absturzsicherung	43
Abb. 39: Temporäre Absturzsicherung	43
Abb. 40: Permanente Absturzsicherung	43
Abb. 41: Extensive Dachbegrünung auf Wellprofilen aus Faserzement	44
Abb. 42: Strukturvlies- und Noppenmatten für Dachbegrünungssysteme	45
Abb. 43: Geschlitztes Dachtraufprofil	48
Abb. 44: Georaster Elemente	48
Abb. 45: Entwässerung	48
Abb. 46: Schubschwelle und Dachabdichtung	48
Abb. 47: Luftbild Maha Sarakham, Länge der Universitäten	52
Abb. 48: Luftbild RMU, Lage der Versuchsflächen	53
Abb. 49: Vorbau der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (RMU)	54

	Seite
Abb. 50: Dachfläche des Vorbaus (RMU)	54
Abb. 51: Bepflanzte Versuchfläche, Dezember 2005	54
Abb. 52: Plan, Versuchsaufbau	55
Abb. 53: Plan, Teilfläche (RMU)	56
Abb. 54: Rinne mit Abfluss und anschließenden Kiesstreifen	56
Abb. 55: Blick auf unbepflanzte Teilfläche	56
Abb. 56: Sieblinie des verwendeten Substrates auf der Grundlage des Korngrößenverteilungsbereiches für Vegetationssubstrate bei Extensivbegrünungen	57
Abb. 57: Pflanzschema einer Einzelfläche	57
Abb. 58: Pflanzplan mit Substrathöhen sowie Artnamen und Abbildungen der verwendeten Arten	58
Abb. 59: Schattennetz	59
Abb. 60: Bewässerung der Teilflächen	59
Abb. 61: Zisternen	60
Abb. 62: Skala	60
Abb. 63: Teilflächen im Dezember 2005	61
Abb. 64: <i>Sedum adolphi</i>	61
Abb. 65: <i>Aloe vera</i>	61
Abb. 66: <i>Kalanchoe pinnatum</i>	61
Abb. 67: <i>Graptopetalum paraguayense</i>	65
Abb. 68: <i>Sedum adolphi</i>	65
Abb. 69: <i>Kalanchoe tupiflora</i>	65
Abb. 70: <i>Kalanchoe crenatodaigremontianum</i>	65
Abb. 71: Luftbild Maha Sarakham Universität, Lage der Versuchflächen	67
Abb. 72: Dach der Fakultät für Architektur (MSU)	68
Abb. 73: Abfluss der Dachfläche	68
Abb. 74: Einteilung der Flächen	68
Abb. 75: Überblick über die Gesamten Versuchflächen	68
Abb. 76: Flächen aus mit Grundsubstrat	69
Abb. 77: Fläche 2 mit Grundsubstrat und 10 % Humus	69
Abb. 78: Fläche 3 mit Grundsubstrat, 10 % Humus und 10 % Ziegelbruch	69
Abb. 79: Fläche 4 mit Grundsubstrat und 10 % Ziegelbruch	69
Abb. 80 a - c: <i>Kalanchoe crenatodaigremontianum</i> (KC)	70
Abb. 81 a - c: <i>Kalanchoe tubiflora</i> (KT)	70
Abb. 82 a - c: <i>Kalanchoe pinnatum</i> (KP)	70
Abb. 83 a - c: <i>Kalanchoe blossfeldiana</i> (KB)	70
Abb. 84 a - c: <i>Kalanchoe laciniata</i> (KL)	71
Abb. 85 a - c: <i>Sedum adolphi</i> (SA)	71
Abb. 86 a - c: <i>Plectranthus tomentosa</i> (PT)	71
Abb. 87 a - c: <i>Portulaca grandiflora</i> (PG)	71
Abb. 88 a - c: <i>Portulaca pilosa</i> (PP)	71
Abb. 89 a - c: <i>Aloe vera</i> (AV)	72
Abb. 90 a - c: <i>Rhoeon discolor</i> (RD)	72
Abb. 91 a - c: <i>Cynodon dactylon</i> (CD)	72
Abb. 92 a - c: <i>Graptopetalum paraguayense</i> (GP)	72
Abb. 93: Pflanzplan, Projekt an der MSU	73
Abb. 94: <i>Aloe vera</i> , Juli 2008	75
Abb. 95: <i>Kalanchoe crenatodaigremontianum</i> , Juli 2008	75
Abb. 96: <i>Kalanchoe pinnatum</i> , Juli 2008	76

	Seite
Abb. 97: <i>Plectranthus tomentosa</i> , Juli 2008	76
Abb. 98: <i>Portulaca grandiflora</i> , Juli 2008	76
Abb. 99: <i>Portulaca pilosa</i> , Juli 2008	76
Abb. 100: <i>Aloe brevifolia</i>	77
Abb. 101: <i>Aloe rauhii</i>	77
Abb. 102: <i>Aloe saponaria</i>	77
Abb. 103: <i>Crassula coccinea</i>	77
Abb. 104: <i>Crassula lactea</i>	77
Abb. 105: <i>Crassula marnieria</i>	77
Abb. 106: <i>Crassula multicava</i>	77
Abb. 107: <i>Crassula sericea</i>	77
Abb. 108: <i>Crassula socialis</i>	77
Abb. 109: <i>Graptopetalum macdougallii</i>	77
Abb. 110: <i>Graptopetalum macdougallii</i>	77
Abb. 111: <i>Graptopetalum soborozuki</i>	77
Abb. 112: <i>Echeveria eurychlamis</i>	78
Abb. 113: <i>Echeveria glauca</i>	78
Abb. 114: <i>Echeveria pubescens</i>	78
Abb. 115: <i>Echeveria rungonii</i>	78
Abb. 116: <i>Echeveria ramilette</i>	78
Abb. 117: <i>Echeveria xanti</i>	78
Abb. 118: <i>Haworthia attenuata</i>	78
Abb. 119: <i>Haworthia cymbiformis</i>	78
Abb. 120: <i>Haworthia cyntiform</i>	78
Abb. 121: <i>Haworthia glauca</i>	78
Abb. 122: <i>Haworthia marumiana</i>	78
Abb. 123: <i>Haworthia cymbiformis</i>	78
Abb. 124: <i>Kalanchoe eriophylla</i>	79
Abb. 125: <i>Kalanchoe fedtchenkoi</i>	79
Abb. 126: <i>Kalanchoe marmorata</i>	79
Abb. 127: <i>Kalanchoe millotii</i>	79
Abb. 128: <i>Kalanchoe pumila</i>	79
Abb. 129: <i>Kalanchoe rhombopilosa</i>	79
Abb. 130: <i>Kalanchoe rosei</i>	79
Abb. 131: <i>Kalanchoe sexangularis</i>	79
Abb. 132: <i>Kalanchoe tomentosa</i>	79
Abb. 133: <i>Kalanchoe laxiflora</i>	79
Abb. 134: <i>Kalanchoe marmorata</i>	79
Abb. 135: <i>Kalanchoe mortgagei</i>	79
Abb. 136: <i>Sansevieria pearsonii</i>	80
Abb. 137: <i>Sansevieria pinguala</i>	80
Abb. 138: <i>Sansevieria trifasciata</i> Hahnii	80
Abb. 139: <i>Sedum allamtoides</i>	80
Abb. 140: <i>Sedum clavatum</i>	80
Abb. 141: <i>Sedum goldmanii</i>	80
Abb. 142: <i>Sedum hutbenii</i>	80
Abb. 143: <i>Sedum locidum</i>	80
Abb. 144: <i>Sedum mexicanum</i>	80
Abb. 145: <i>Sedum oaxacanum</i>	80
Abb. 146: <i>Sedum pachyphyllum</i>	80

	Seite
Abb. 147: <i>Sedum aurora</i>	80
Abb. 148: <i>Abromeitiella brevifolia</i>	81
Abb. 149: <i>Aeonium arboreum</i>	81
Abb. 150: <i>Agave isthmensis</i>	81
Abb. 151: <i>Carpobrotus edulis</i>	81
Abb. 152: <i>Delosperma cooperie</i>	81
Abb. 153: <i>Euphorbia marlothiana</i>	81
Abb. 154: <i>Manadenium guentheri</i>	81
Abb. 155: <i>Pachyphytum oviferum</i>	81
Abb. 156: <i>Plectrahthus neochilus</i>	81
Abb. 157: <i>Schlechteranthus hallii</i>	81
Abb. 158: <i>Stomatium agninum</i>	81
Abb. 159: Variegated sedum	81

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Klimatische Verhältnisse in Bangkok, Thailand	18
Tab. 2: Monatliche Regenwasserabflussmenge der einzelnen Teilfläche im Vergleich mit der Niederschlagsmenge in l / m ² (Juni 2005 bis November 2005)	62
Tab. 3: Monatliche Regenwasserabflussmenge im prozentualen Verhältnis zur gesamten Regenmenge (Juni 2005 bis November 2005)	63
Tab. 4: Mittlere monatliche Klimadaten der Huay Sithon Versuchsstation für Niederschlag und Regentage (1970-1998) im Vergleich zu den erhobenen Werten von 2005, Quelle: Royal Irrigation Department (2000)	63
Tab. 5: Todesrate der eingesetzten Pflanzen im Dezember 2005 und März 2006 während der Fertigstellungspflege zwischen Juni 2005 bis März 2006	64
Tab. 6: Todesrate der eingesetzten Pflanzen im Juli 2006 und im Juli 2007 nach der Fertigstellungspflege	65
Tab. 7: Todesrate der eingesetzten Pflanzen im Juli 2008	74
Tab. 8: Arten für den Einsatz bei der extensiven Dachbegrünung in Thailand	82

1 Einleitung

In den mittleren und großen Städten Thailands sind Grün- und Freiflächen auf Grund der zum Teil dichten Bebauung nur in unzureichendem Maße vorhanden. Die Begrünung von Dachflächen wird seit längerem als eine sinnvolle Möglichkeit gesehen, stadttökologische Parameter positiv zu beeinflussen. In Europa gibt es mit der extensiven, der einfachen intensiven und der intensiven Begrünung von Dachflächen unterschiedliche Ausführungsformen. Diese Formen wurden durch langjährige Forschung, gerade bei der Substratzusammensetzung und Pflanzenverwendung zu gut funktionierenden Begrünungssystemen weiterentwickelt. In Südostasien befinden sich Dachbegrünungssysteme in der Erprobung. Es existiert zwar ein Markt für Intensivbegrünungen, besonders in Städten wie Bangkok, doch wurden die Vorteile von extensiven Dachbegrünungen bisher nur unzureichend erkannt und gefördert. Zudem fehlt es an Erfahrungen im Umgang mit extensiven Dachbegrünungssystemen, da gerade in diesen Klimazonen ein erhöhter Anspruch an die Substrate und die Auswahl von geeigneten Pflanzenarten gestellt wird.

Es ist erstrebenswert eine funktionsgerechte Bauweise von extensiven Dachbegrünungssystemen zu entwickeln, welche sich auf die in Europa und Amerika gewonnenen Erkenntnisse stützt. Diese Richtlinien, wie z.B. die zur Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL), sind auf die mitteleuropäischen Verhältnisse ausgelegt. Es wäre daher erforderlich grundlegende Forschungen im Bereich der Dachbegrünungen durchzuführen, um bessere Baudetailaussagen und Vorschläge zur Pflanzenverwendung in Thailand zu formulieren.

In anderen asiatischen Ländern gibt es bereits eine dynamische Entwicklung auf dem Sektor der Dachbegrünung. Diese bezieht sich aber vorwiegend auf Dachgärten und Dachterrassen, welche hauptsächlich in Verbindung mit Schwimmbädern auf exklusiven Hotels stehen. Seit 2001 gibt es, wie zum Beispiel in Singapur, immer mehr das Interesse Dächer nach ökologischen Gesichtspunkten zu begrünen. Dazu laufen bereits Modellstudien, in denen die Vorteile von Gründächern unter tropischen Verhältnissen untersucht werden (vgl. KÖHLER, 2006; MANN, 2005).

1.1 Ziele und Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, aus den Erfahrungen von zwei Pilotprojekten zur extensiven Dachbegrünung, an der Rajabhat Maha Sarakham University (RMU) und einer weiteren Demonstrationsanlage an der Maha Sarakham Universität (MSU) sowie den gewonnen Erkenntnissen aus Forschungsprojekten in gemäßigten Klimazonen, fundierte Vorschläge zur Substratwahl, Pflanzenverwendung und Pflegehinweisen zu geben. Sie zeigen dabei den Stand der Dachbegrünungstechnologie auf und verschaffen einen Überblick über marktgängige Systeme und Begrünungstypen.

Diese sollen als Grundlage für weitere Forschungsprojekte und den damit verbundenen Einführungen von Dachbegrünungssystemen in Thailand dienen.

Die beiden Projekte in Thailand beschäftigten sich hauptsächlich mit der Erprobung von Sukkulenten und dem Einsatz von Substraten.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit wird auf allgemeine Bedingungen in Thailand, wie topographische Lage, Klima, und architektonische Besonderheiten eingegangen.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit aktuellen Erkenntnissen, welche im Rahmen von Forschungsprojekten gesammelt wurden und woraus sich Hinweise für die Einführung von extensiven Dachbegrünungssystemen in Thailand ergeben.

Im letzten Teil werden Projekte ausgewertet, die an der Rajabhat Maha Sarakham Universität und der Maha Sarakham Universität in den Jahren 2005 bis 2008 durchgeführt wurden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der Substrat- und Pflanzenwahl, der Pflege sowie der Wasserrückhaltung. Intensiver wird anschließend auf ein mögliches Pflanzenspektrum eingegangen, welches die Grundlage für die Erprobung weiterer Sukkulenten für die extensive Dachbegrünung bilden soll.

2 Theoretische Grundlagen zu Thailand

2.1 Allgemeines

Thailand ist eines der am höchsten entwickelten Länder Südostasiens. Die Einwohnerzahl beträgt etwa 64 Millionen (Juli 2005). Daraus ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von 125 Einwohnern pro Quadratkilometer. Die Bevölkerung ist regional sehr unterschiedlich verteilt.

1932 wurde das seit Jahrhunderten in Thailand bestehende absolutistische Regierungssystem beendet; seither ist das Land eine parlamentarische Republik mit einem vom Volk gewählten Repräsentantenhaus.

Der König ist Staatsoberhaupt und Oberbefehlshaber der Streitkräfte. Vorsitzender des Kabinetts ist der Premierminister, der theoretisch der Hauptinhaber der Exekutivgewalt ist. Die Legislative liegt in Thailand bei einem Zweikammerparlament (Nationalversammlung), bestehend aus Repräsentantenhaus (500 Abgeordnete) und Senat (200 Senatoren). Die Legislaturperiode der Parlamentarier liegt bei vier Jahren.

Gegenwärtig gliedert sich die staatliche Verwaltung des Königreichs in vierzehn Ministerien oder gleichrangige Institutionen. Thailand ist verwaltungsgemäß in fünf Regionen gegliedert, die wiederum in 75 Changwads (Provinzen) aufgeteilt sind. Die Regionen sind der Norden, Nordosten, Südosten, Süden und die Zentralregion. Jede Provinz wird von einem von der Regierung ernannten Gouverneur verwaltet. Die Provinzen werden in Amphoes (Distrikte) unterteilt welche mit den in Deutschland vorhandenen Landkreisen vergleichbar sind. Die Amphoes gliedern sich wiederum in Tambons (Gemeinden) und diese wiederum unterteilen sich in Mubans (Dörfer), die kleinste Verwaltungseinheit (vgl. DONNER 1989).

2.2 Topographische Lage / Globalgeographische Orientierung

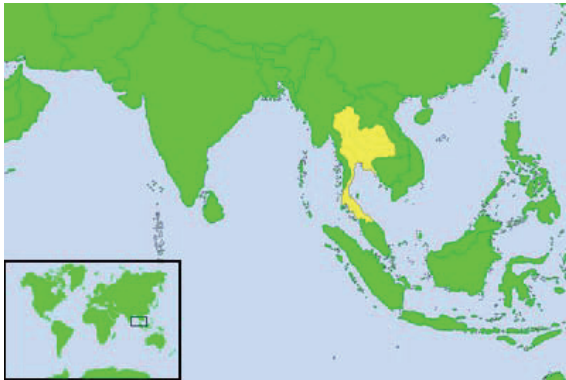


Abb. 1: Topographische Lage Thailands

Der thailändische Staat, welcher zu Südostasien gehört, liegt auf der Indochinesischen Halbinsel (Hinterindien). Nur der äußerste Süden befindet sich auf der Malagahalbinsel. Die Landesgröße wird mit 513.115 km² angegeben, ist also mit Frankreich vergleichbar. Begrenzt wird das Land im Südosten von Kambodscha, im Osten von Laos, im Westen von Myanmar,

dem ehemaligen Birma und im Süden von Malaysia. Mit China, dessen Territorium etwa 100 km nördlich von Thailand beginnt, gibt es keine gemeinsame Grenzen. Es bestehen aber enge Beziehungen, da etwa 14 % der thailändischen Staatsangehörigen chinesischer Abstammung sind.

Die Extrempunkte des Staatsgebietes liegen im Norden bei Mae Sai (20°28'N), im Süden bei Betong (5°36' N), im Westen bei 97°22'O und im Osten bei 105°38'O, also ungefähr zwischen Äquator und dem nördlichen Wendekreis. Daraus ergibt sich eine Maximaldistanz von Nord nach Süd von etwa 1600 km und von West nach Ost von etwa 870 km (vgl. DONNER, 1989).

Das Land wird von sogenannten, natürlichen Grenzen' umschlossen, wie der 2614 km langen Küste und großen Flüssen wie dem Mae Nam Khong (Mekong), welcher Thailand von Laos im Osten trennt. Aber auch ausgeprägte Gebirgszonen wie die westlichen Tenasserim- und die Thong-Chai-Kette zwischen Thailand und Birma und die Grenzberge Phnom Damrek und Banthat zwischen Thailand und Kambodscha bilden Grenzgebiete. Im Süden verläuft die Grenze zu Malaysia entlang der Kalakiri-Berge (vgl. DONNER 1989).



Abb. 2: Thailands Nachbarstaaten



Abb. 3 : Raumgliederung Thailands

Thailand ist in sechs topographische Regionen eingeteilt: die Nord-, Nordost-, West-, Südost-, Süd- und Zentralregion. Unter Einbeziehung der Höhenlage untergliedern andere Autoren das Land in die zentrale Ebene, südöstliche Küstenregion, nördliche Plateau, zentrale Hochland, nördliche und westliche kontinentale Hochland sowie die südliche Halbinsel.

Dabei bildet die Zentralebene in der Süd- und Zentralregion das Kernland des Königreiches. Diese Ebene ist vom Mae Nam Chao Phraya geprägt, an welchem auch die Hauptstadt Thailands, Bangkok, auch Krung Thep genannt, liegt.

Thailand weist eine sehr differenzierte Landschaft auf. Im Relief finden sich neben hohen Bergen, flache Hochplateaus, Flussniederungen und Küstenstreifen. Das Bergland erstreckt sich bis auf eine Höhe von 2850 m über dem Meeresspiegel, wo hingegen die Plateaus auf Höhen zwischen 150 bis 500 m liegen. Eine hypsometrische Analyse zeigt, dass sich 26,7% des Landes unter 100 m und nur 5% oberhalb von 1000 m über NN befinden (vgl. DONNER, 1989).

2.3 Geomorphologie und Böden

Thailand ist in den Großraum Südostasiens eingebettet und wird von seiner tektonischen Struktur mitgeprägt. Die Sundaplatzform und das Sahulshelf bilden dabei die sichtbaren Fundamente dieser Region. Sie setzen sich aus Tiefengesteinen, vulkanischen und metamorphischen Gesteinen sowie harten Sedimentgesteinen zusammen. Einige der Sedimente wurden im Verlauf geologischer Zeiträume intensiv gefaltet und zerbrochen. Granitische und Sedimentgesteine sind reichlich vertreten.

Geologischstrukturell können in Thailand drei Gebiete unterschieden werden: die Region der Faltengebirge, die Senke des Mae Nam Chao Phraya und das Korat-Plateau.

Die Böden erstrecken sich über verschiedene Gesteine wie Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Sandstein, Tonschiefer, Mergel und Kalkstein. In den unteren Teilen sind diese von alluvialen Ablagerungen überdeckt (vgl. DONNER 1989).



Abb. 4 : Physische Orientierungskarte von Thailand

Landformen auf Verwitterungsböden wie Hügel- und Bergländer, Kegelkarstkuppen, zertalte Abtragungsflächen, geotektonische Plateaus und Lavaplateaus mit vulkanischen Überresten finden sich im ganzen Land. Die Kegelkarstkuppen bestehen meist aus Kalkstein, welcher hauptsächlich aus Kalziumkarbonat zusammengesetzt ist. Diese überragen das Relief, das die benachbarten Sediment- und Erstarrungsgesteine bilden.

Böden, die auf Granit und Gneis entstanden sind, herrschen vor allem in den Faltengebirgen vom Norden bis zum Süden vor. Es sind tiefe, gut dränierte, feine Tonböden von rotbrauner, gelber oder roter Farbe, die gelegentlich Quarz- und Gesteinsteile enthalten. Hinzu kommen rotbraune Lateritböden.

Im Nordosten und im zentralen Bergland (Phetchabun-Kette) finden sich Böden auf Sandsteinbasis. Sie sind lehmig oder tonige rotgelbe Podsole.

Im Südosten und in Teilen des Nordens und des Südens sind Böden die von Tonschiefer und seinen metamorphen Äquivalenten herrühren vorherrschend. Diese sind gewöhnlich gut dräniert, feintonig und von gelbroter bis roter Farbe; in einigen Landesteilen sind sie kiesig.

Aber auch Böden, die sich aus Kalksteinmaterial gebildet haben kommen vor allem in der Zentralregion vor. Es sind gut dränierte feintonige Böden mit Kalkkonkretionen und gelegentlich mit einem mächtigen, humushaltigen Oberbodenhorizont.

Flussniederungen aus jungem Alluvium erstrecken sich längs den Hauptflüssen des Landes. Anschließend erstrecken sich die Alluvialterrassen aus semirezenten und alten Sedimenten (vgl. DONNER 1989).

2.4 Klima

In Thailand sind drei Arten von Klima prägend, zum einen tropisches Regenwaldklima mit einer Trockenzeit (Am), tropisches Regenwaldklima ohne Trockenzeit (Af) und Savannenklima. Das tropische Regenwaldklima beschränkt sich auf den östlichen Teil des Südostens und die Halbinsel südlich von Hua Hin. Ein Teil der Ostküste weist dabei keine ausgeprägte Trockenzeit auf, es kommt aber lediglich zu einer relativ kurzen Unterbrechung der heftigen tropischen Regenfälle.

Im äußersten Süden, an der Ostküste der Halbinsel an der malayischen Grenze, werden die Bedingungen für ein tropisches Regenwaldklima erfüllt. Das tropische Regenwaldklima ist von gleichbleibend hohen Temperaturen und schweren Regenfällen geprägt, ohne eine deutliche Trockenzeit. Hier ist es das ganze Jahr über feucht, und kein Monat hat weniger als 61 mm Niederschlag. Die beiden tropischen Klimatypen decken 13,6 (Am) bzw. 3,4% (Af) des Staatsgebietes ab.

Das Savannenklima umfasst den Nordosten, den Norden und die Zentralregion, ist somit für 83,0% des Staatsgebietes prägend. Es ist dabei von den je nach Jahreszeit die Richtung wechselnden Monsunwinden abhängig (vgl. DONNER 1989).

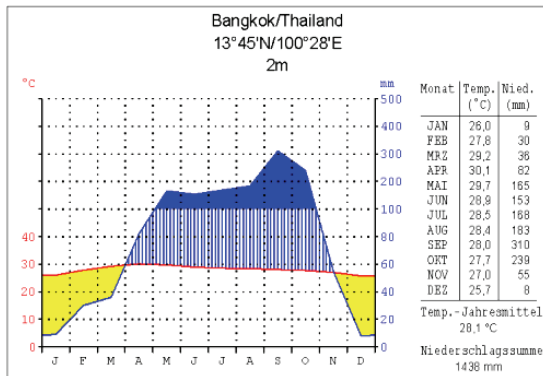


Abb. 5 : Klima Bangkoks

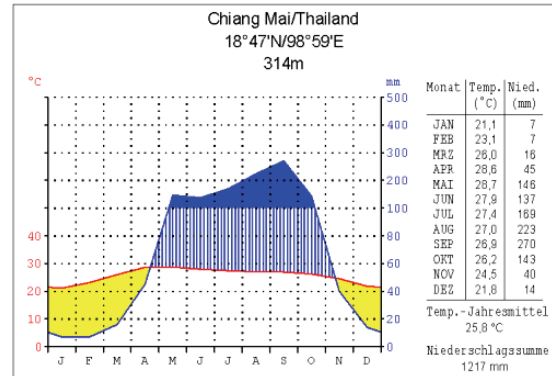


Abb. 6 : Klima Chiang Mai

2.4.1 Jahreszeiten

Dies ist zum einen die Regenzeit von April bis Oktober, in der die mit Feuchtigkeit angereicherten Winde vorwiegend aus Südwest wehen. Sie wird im Frühjahr durch die nordwärts ziehende Sonne ausgelöst, welche die Landmassen erwärmt, und somit durch Temperatur und Druckunterschiede zwischen Land- und Wassermassen eine Luftbewegung vom Wasser zum Land auslöst und den Sommermonsun (dunkelgrün), welcher von Mai bis September weht, einleitet. Dabei fällt im April und Mai nur etwas Regen, erst ab Juni kommt es zu heftigeren Niederschlägen, welche die Flüsse stark anschwellen lassen. Ab August regnet es ergiebiger, wobei die Niederschläge im September ihren Höhepunkt erreichen. Wegen des



Abb. 7 : Vorherrschende Winde in Thailand

ausgeprägten Reliefe in Thailand lösen Unterschiede in Temperatur und Druck oft Entwicklungen von sehr lokalem Charakter aus, bilden Hoch- und Tiefdruckgebiete und führen somit zu zyklonischen Zentren. Werden diese Zyklonen (violett) stark genug, können sie das Klima Thailands fühlbar beeinflussen. Aber auch Taifune (rot) welche sich mit der Sonne über drei Routen nach Norden und Süden über dem Pazifischen Ozean bewegen sind für das Klima in der Regenzeit von Bedeutung. Aber erst ab Juni kommt es zu heftigen Regenfällen im Norden, dem Nordosten und der Zentralregion aufgrund dieser Taifune. Bewegt sich der Taifun weiter nach Norden sind ausgeprägte Trockenperioden typisch. Auf seinem Weg nach Süden bringt das Zentrum des Taifuns im August wieder Regen, welcher sich bis September zu ergiebigen Niederschlägen steigert (vgl. DONNER 1989).

Die ausgeprägten Regenfälle lassen von Oktober bis November nach und hören im Dezember ganz auf. Es kommt zu einer ausgeprägten Trockenzeit von November bis Mai in der nur eine geringe Niederschlagsmenge fällt. Ab November fallen auch die Temperaturen und leiten den Winter ein, der bis Februar anhält. Das ist auf die von Nordost wehenden Passatwinde, auch Wintermonsun (hellblau) genannt, zurückzuführen, der in dieser Zeit hauptsächlich über die kühleren kontinentalen

Landmassen Asiens weht. Er ist meist trocken und löst nicht viel Niederschläge aus. Nur wenn über dem Pazifik Feuchtigkeit akkumuliert wird, verursachen sie Winterregen, die vor allem längs der Ostküste der Halbinsel niedergehen.

Eine weitere Form von zyklonischen Regen, auch Konvektionsstörung genannt, tritt in Form örtlicher Unwetter (hellgrün) im Sommer, vor allem von März bis April, auf. In dieser Zeit steigen die Temperaturen auf Höchstwerte um 40°C an und bilden die Extremwerte innerhalb des Jahres. Hierbei bilden sich über dem Golf von Siam, der wegen der begrenzten Wasserfläche nur wenig Feuchtigkeit an die Winde abgeben kann, kleine Schauer und Gewitter, welche sich nicht weiter als 100 km ins landesinnere Richtung Norden bewegen. Diese wirken sich aber auf das Klima Bangkoks in der Trockenzeit aus (vgl. DONNER 1989).

Auffallend ist zu dem, dass nicht nur ausgesprochene trockene und sehr feuchte Perioden einander ablösen, sondern dass die Niederschlagsmenge starken jährlichen Schwankungen unterliegt und somit für die landwirtschaftliche Produktion ein unkalkulierbares Risiko darstellt.

2.4.2 Regenmengen

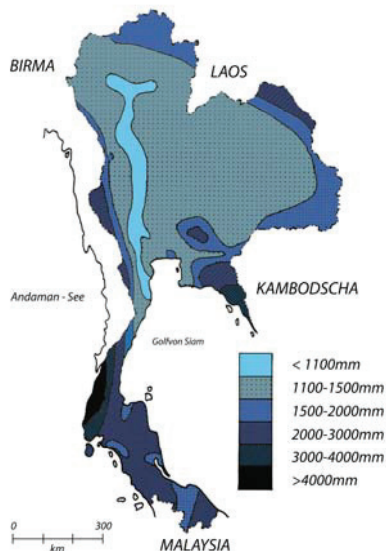


Abb. 8 : Isohyetische Karte Thailands

Die Regenmengen schwanken zwar von Jahr zu Jahr, die regionalen und subregionalen Durchschnittsdaten aber weniger. Das kontinentale Thailand erhält zwischen 1240 und 1370 mm Regen, ähnlich 1246,2 mm im Norden, 1254,8 mm in der oberen Zentralregion, 1276,9 mm in der unteren Zentralregion und 1368,5 mm im Nordosten. Die Menge und Zeit der Regenfälle unterliegen erheblichen mikroklimatischen Unterschieden welche zu berücksichtigen sind.

Die Bewölkung, ausgedrückt in einer Skala von 0 bis 8, hat eine starke Korrelation sowohl mit dem Regenfall als auch mit der Nähe zur Küste. Im Norden, Nordosten und der oberen Zentralregion liegt sie zwischen 4,7 und 4,9. In der unteren Zentralregion, den Südosten und Süden zwischen 5,4 und 5,8 (vgl. DONNER 1989).

2.4.3 Temperatur

Der jährliche Temperaturverlauf hängt von der Höhe über dem Meer, Luftfeuchte usw. ab. Große Höhe, Trockenheit und große Entfernung zum Meer bringen gewöhnlich niedrigere Temperaturen mit größeren Differenzen zwischen Minima und Maxima mit sich. Die tiefsten mittleren Temperaturen wurden in Thailand im Norden mit $26,1^{\circ}\text{C}$ und im Nordosten mit $26,5^{\circ}\text{C}$ gemessen. Im übrigen Land liegen sie zwischen $27,3$ und $27,9^{\circ}\text{C}$.

Die Variabilität der Temperaturen liegt im Norden auf Grund der Kontinentalität bei $12,4^{\circ}\text{C}$ und im maritimeren Süden bei $8,6^{\circ}\text{C}$ (vgl. DONNER 1989).

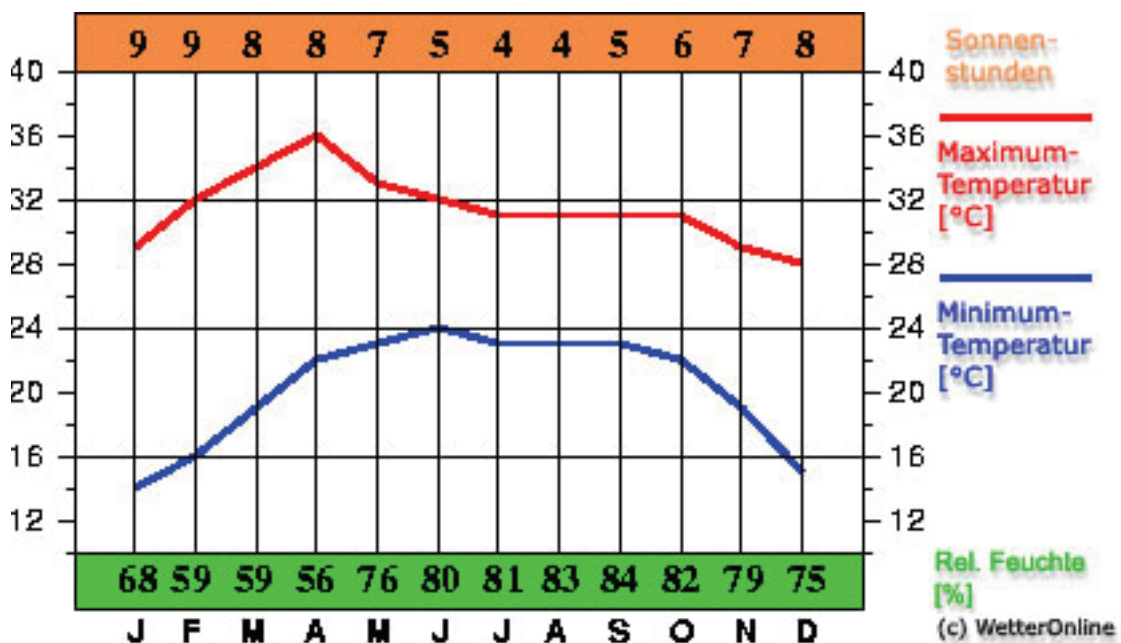


Abb. 9 : Sonnenstunden, Temperaturen und Relative Feuchte in Thailand

2.4.4 Relative Luftfeuchte

Die mittlere relative Feuchte hat ihre höchsten Werte im extremen Norden, im Südosten und im Süden. Geringere Werte misst man in der oberen Zentralregion die bis hinunter auf 65% reicht. Im Winter ist die relative Feuchte am Morgen wegen Nebelbildung, die aber am Nachmittag rasch zurückgeht hoch. Der Mittelwert ist viel niedriger als in den anderen Jahreszeiten. Im Süden liegt die Feuchte durchgehend bei durchschnittlich 80% aufgrund der benachbarten Meeresflächen und des Regens, der hier das ganze Jahr fällt (vgl. DONNER 1989).

2.4.5 Verdunstung

Gebiete mit den höchsten Niederschlägen im Süden und Südosten zeigen mittlere Verdunstungswerte von 825,6 bzw. 917,2 mm im Jahr, aber solche mit den niedrigsten Regenfallwerten im Norden und der Zentralregion weisen ähnliche Werte zwischen 811,4 und 1040,1 mm auf. Die Verdunstung liegt dabei im April bei ihrem Maximum und im September, dem feuchtesten Monat am niedrigsten.

Interessant sind des Weiteren die maximalen Windgeschwindigkeit, die bei Ostwind schon einmal 140 km/h erreichen kann. Das absolute Regenfallmaximum liegt bei 625,9 mm / 24 h (vgl. DONNER 1989).

2.5 Architektur

Der thailändische Architekturstil stand von je her unter dem Einfluss verschiedener Kulturen. Einerseits die Indische, welche über den Hinduismus in Thailand Verbreitung fand und andererseits die der in Kambodscha beheimateten Khmer, welche großen Einfluss gerade auf den Nordosten ausübten. Teile dieser Religion spiegeln sich auch heute noch in dem nunmehr sehr buddhistisch geprägten Thailand wieder. Der Buddhismus ist heute Staatsreligion und wird von 98% der Bevölkerung praktiziert.

Ab dem 19. Jahrhundert baute man immer mehr öffentliche Gebäude wie Post- und Polizeistation, Banken und Hochschulen im europäischen Stil. Die Gebäude wurden wegen der besseren Haltbarkeit und schnelleren Bauweise aus Stahlbeton errichtet und orientieren sich am modernen Stil der westlichen Welt.



Abb. 10: Stadtzentrum Bangkok



Abb. 11 : Gebäude Fakultät für Architektur (MSU)

An das Klima angepasste Bauweise, welches man an den weit überstehenden Dächern oder Anbauten ablesen kann, ist weit verbreitet. Diese sollen Schutz vor Regen und Sonne bieten. Auffällig sind auch offene Flure und Treppenhäuser. Eine Verglasung der Fenster ist nur beim Betrieb von Klimaanlage nötig, welche vor allem in Büroräumen gebraucht werden. Ursprünglich waren die Fensteröffnungen nicht verglast und nur durch Fensterläden verschließbar.

Entgegen der alten Tradition haben die meisten neueren Gebäude Flachdächer, die sich ungünstig auf die Entwässerung in der Regenzeit auswirken. Die Wände sind dünn und werden gerade bei Ein- und Mehrfamilienhäusern durch Lochstrukturen in Wandflächen belüftet. Die untere Etagen werden teilweise offen gehalten und dienen eher als eine vor Regen und Sonne geschützte Aufenthaltsfläche.

Mietshäuser orientieren sich in der Bauweise an westlichen Traditionen. Der Zugang zu den teilweise recht kleinen Wohnungen erfolgt meist über einen offenen überdachten Gang. Dabei kann die Hausreihe auf Grund des gleichen Grundrisses und der gleichen Ausstattung sehr preiswert erweitert werden. Die untere Etage wird meist als Garage oder Ladenfläche genutzt. In Großstädten ist auch der Bau von großen Mehrfamilienblocks zu beobachten, der durch eine Massivbauweise geprägt ist. Traditionell wird das Einfamilienhaus aus Holz gebaut, man findet aber auch zunehmend Steinbauten in eher europäischem Stil.

Typisch und traditionell ist der fast in ganz Südostasien anzutreffende Holzständerbau mit eher dünnen aus Holz bestehenden Wänden.



Abb. 12 : Tempelanlage in Bangkok



Abb. 13 : Museum der RMU in Maha Sarakham



Abb. 14 : Dachgärten in Bangkok



Abb. 15 : Holzhaus in Bangkok

3 Bautechnische Anforderungen an Gründächer

In den letzten Jahrzehnten kam es in Thailand zu einer rasanten städtebaulichen Entwicklung und zu einer intensiven Bodennutzung durch Bauwerke. Dadurch ging der Anteil an Vegetation in den Stadtgebieten dramatisch zurück.



Abb. 16 : Blick über Bangkok

Gerade in Bangkok erfolgte eine intensive Bautätigkeit, welches zu einer zunehmenden Versiegelung des Stadtgebietes führte. Die daraus resultierenden Probleme akkumulierten sich über die Jahre und stellen für die Stadtplaner eine großer Herausforderung dar. Neben der Schaffung von neuen Grünflächen und dem Rückbau vorhandener Bebauung, welches aufgrund gegebener Besitzverhältnisse nicht immer möglich ist, stellt die Dachbegrünung eine Lösung dar. Heute wird bereits versucht mit intensive gepflegten Dachgärten zusätzliche Grünflächen im den intensive bebauten Stadtgebieten Thailands zu schaffen. Oft sind intensive gepflegte Dachgärten auch auf Einkaufszentren, Hotels und gewerblich genutzten Hochhäusern zu finden, um eine ästhetische Aufwertung der Objekte zu erreichen. Diese Gebäude stellen aber nur eine geringen Anteil der versiegelten Fläche dar, daher müssen Lösungen gefunden werden, weitere Dachflächen zu begrünen.

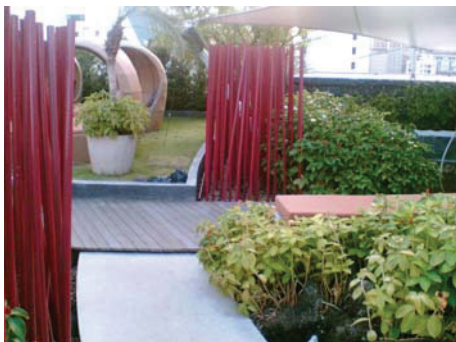


Abb. 17 : Dachgarten in Bangkok



Abb. 18 : Privater Dachgarten in Bangkok

Mit Hilfe der Intensiven Dachbegrünung ist dieses leider nicht immer möglich, da dies zu statischen Problem führt und durch die Kostenintensität bei der Pflege, nur für den gehobenen Geschosswohnungsbau vorbehalten bleibt. Eine Lösung wäre der Einsatz extensiver Dachbegrünungssysteme. Diese wird mangels ausreichender Forschung und daraus resultierenden mangelnden Informationen gerade bei den politischen Entscheidungsträgern in Thailand gar nicht oder nur unzureichend berücksichtigt und gefördert (vgl. KOLB, Stadt+Grün, 2/2000).

In Europa, vor allem aber in Deutschland, entwickelte sich über Jahrzehnte eine durch Richtlinien und Normen gut umsetzbare extensive Dachbegrünung mit unterschiedlichen Substraten und Systemen verschiedener Anbietern. Dadurch entstand über die Jahre, zusammen mit der Fassadenbegrünung, eine High-Tech-Begrünungstechnik, welche einen großen Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung leistet. Heute sind über 90% aller begrünten Dächer in Deutschland extensive begrünt (vgl. LIESEKE, Stadt+Grün, 11/2006).

Dies resultiert gerade aus der Zunahme der Anzahl der Flachdächer. Um auch in Thailand eine gezielt, naturnah angelegte Begrünung auf flachen oder geneigten Dächern zu schaffen, müssen durch Forschung und Entwicklung an Hochschulen und in Firmen unter den dortigen klimatischen Verhältnissen Richtlinien und Detailaussagen formuliert werden. Diese sollten sich auf die Hauptthemen Substrat, Pflanzenarten, Bauteile und nachhaltige ökologische Vorteile beziehen. Gerade in Singapur und in weiteren asiatischen Ländern wie China, Korea und Japan ist das Interesse an Dächern welche unter ökologischen Gesichtspunkten begrünte werden, gestiegen. In verschiedenen Modellstudien wurden die generellen Vorteile von Gründächern in einem Praxistest unterschiedlicher Varianten untersucht (vgl. KÖHLER, Stadt+Grün, 10/2006).



Abb. 19 : Extensive Dachbegrünung in Singapur (Quelle: ECKERT, 2005)



Abb. 20 : Dachbegrünung in China (Quelle: TARNSHEND, 2007)

3.1 Geschichte der Dachbegrünung

Da die extensive Dachbegrünung in Asien etwas Neues ist, sollte gerade an Hochschulen darauf hingewiesen werden, das sie in Europa und Asien auf eine lange Geschichte zurückschaut. So gibt es begrünte Dächer schon seit den Anfängen des Bauens. In den nordischen Ländern erwiesen sich Grassodendächer als guter Schutz vor Kälte und Wind. Aber auch in tropischen Zonen, wie zum Beispiel in Ländern wie Tansania oder Guatemala schützen sie vor Hitze und Sonne. Die Begrünung von Dächern stellte also schon immer eine gute Lösung dar, um Klimaeinflüsse abzuschirmen oder zu puffern, aber auch Regenwasser über eine gewisse Zeit zu speichern und somit den Abfluss zu verzögern (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 10/2006).

Mit der Erfindung des Eisenbetons Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die technische Grundlage geschaffen, die neue tragfähige Konstruktion ermöglichte und damit die Anlage von Dachgärten deutlich vereinfachte (vgl. STIFTER, 1988).

In den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts setzte sich durch die erhöhte Brandgefahr in Städte wie Berlin, Göttingen und Halle auf den Holzzementdächern eine verstärkte Dachkonstruktion mit einer Kieslehmschicht auf Teerpappen durch. Diese begrünten sich spontan durch Samenflug und stellen somit die Vorläufer der extensiven Dachbegrünung dar, welche in der modernen Architektur durch Le Corbusier wiederentdeckt wurde und seit den 70er Jahren in der Entwicklung von Dachbegrünungssystemen für Unterbauten, wie Tiefgaragen und Unterführungen mündete. Daraus entwickelten sich kostengünstige Begrünungsformen, die als extensive Dachbegrünung bekannt sind (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 10/2006).

Heute schwappt diese Technologie in andere Länder wie Amerika und Asien. Dadurch entsteht ein zunehmendes Interesse an dieser Technologie vor allem aber an einer verbesserten Bauqualität (vgl. KÖHLER, Dach+Grün, 2/2008). Durch Experten aus Europa erfolgt eine zunehmende Propagierung von nachhaltigen „grünen“ Bauweisen auf Konferenzen und Treffen.

Die extensive Dachbegrünung ist in Mitteleuropa schon seit den 60er Jahren Gegenstand botanischer und ökologischer Untersuchungen (vgl. LEZIN, Naturschutz und Landschaftsplanung 38 (1), 2006), somit wäre es wünschenswert in subtropischen und tropischen Ländern an Universitäten Pilotprojekte und

Forschungsschwerpunkte zu etablieren um gut funktionierende Dachbegrünungssysteme in den Markt einzuführen.

Auch muss über Konzepte nachgedacht werden, die Dachbegrünung als landschaftsbauliches Mittel, zur Verbesserung der Stadtökologie und ökologisch orientierten Stadtplanung zu sehen. Leider wird es nicht möglich sein, die zusätzlich anfallenden Kosten für die Dachkonstruktion zu rechtfertigen. Es müssen also weitere Vorteile, wie z.B. eine Minimierung der Kosten für Energie und Reparaturmaßnahmen dargestellt und wissenschaftlich belegt werden.

In den folgenden Kapiteln soll dafür eine Grundlage geschaffen werden. Die gewonnen Erkenntnisse wurden bei einer intensiven Literaturrecherche gewonnen und zusammengefasst dargestellt. Da diese Erkenntnisse meist in der gemäßigten Klimazone entstanden, mit unterschiedlichen Anforderungen an den Dachaufbau, das Substrat, der Pflanzenverwendung und Pflege, ist es erforderlich, ein Konzept für weitere Forschungstätigkeiten in der näheren Zukunft zu entwickeln und darauf aufbauend Dachbegrünungssysteme in wärmeren Klimazonen mit ausgeprägten Trockenzeiten erfolgreich am Markt zu etablieren. Es muss dabei natürlich auf die baukulturelle Eigenarten des Landes Rücksicht genommen werden, und das unterschiedliche ästhetische Empfinden gerade in asiatischen Ländern bedacht werden. Aus diesen Erkenntnissen können den wiederum europäische Partner neue Erkenntnisse über Dachaufbauten unter tropischen und subtropischen Bedingungen sammeln und veröffentlichen.

3.2 Bautechnische Voraussetzungen

Um überhaupt Dachbegrünungssysteme in subtropischen Regionen wie Thailand einführen zu können, muss man sich zunächst mit den dort vorherrschenden Bedingungen und bautechnischen Voraussetzungen auseinandersetzen. Die klimatischen Verhältnisse in ganz Thailand wurden schon im ersten Teil der Arbeit detailliert erläutert.

3.2.1 Standortverhältnisse

Aus diesen Ausführungen geht hervor das es in den meisten Gebieten Thailands zu einer ausgeprägten Trockenzeit kommt, was auf die subtropische Lage zurückzuführen ist. Diese Trockenzeit kann bis zu sechs Monate dauern und führt gerade auf dem Dach zu sehr ungünstigen klimatischen Verhältnissen.

Monat	Prc. mm/m	Prc. mm/d	Prc. cv %	Regen Tage	Temp. mean °C	Temp. max. °C	Temp. min. °C	Rel. hum. %	Son %	Wind (2m) m/s	ETo mm/m	ETo mm/d
Jan	6.5	0.2	225.5	0.9	25.8	31.8	19.8	67.8	74.8	1.1	117.8	3.8
Feb	16.5	0.6	141.4	1.8	27.9	33.5	22.3	69.4	74.5	1.4	128.8	4.6
Mar	27.6	0.9	112.1	2.2	29.6	35.1	24.1	67.9	71.9	1.7	164.3	5.3
Apr	66.0	2.2	76.8	5.4	30.9	36.2	25.7	68.4	67.9	1.7	168.0	5.6
May	161.6	5.2	52.8	13.6	30.2	34.8	25.6	73.2	53.1	1.5	151.9	4.9
Jun	101.6	3.4	49.3	13.5	29.5	33.7	25.4	73.3	43.3	1.6	135.0	4.5
Jul	112.6	3.6	42.8	15.6	29.1	33.3	25.0	74.1	42.7	1.5	133.3	4.3
Aug	134.0	4.3	48.4	16.9	29.0	33.1	25.0	74.8	41.3	1.5	133.3	4.3
Sep	255.1	8.5	40.2	18.8	28.6	32.5	24.7	78.9	43.3	1.0	117.0	3.9
Oct	203.6	6.6	54.4	15.1	28.0	31.7	24.3	79.6	53.4	1.0	117.8	3.8
Nov	59.1	2.0	94.3	5.8	26.8	30.9	22.7	75.4	65.5	1.3	114.0	3.8
Dec	10.3	0.3	207.5	1.3	25.2	30.6	19.8	68.9	73.8	1.2	114.7	3.7
Total	1 154.5										1 595.9	

Tab. 1 : Klimatische Verhältnisse in Bangkok, Thailand

Ausschlaggebend ist hier die sehr intensive Sonneneinstrahlung von über 12 Stunden und die damit verbundene Wärmeentwicklung auf der Dachoberfläche. Aber auch die durch starke Niederschläge geprägte Regenzeit von Mai bis Oktober und der damit verbundenen hohen Luftfeuchtigkeit erfordert spezielle Anforderungen an das zu wählenden Substrat, Konstruktionen und einzusetzenden Pflanzenarten. Auch ist die Hohe potentielle Verdunstung ein Faktor, welche unbedingt berücksichtigt werden muss, da von ihm die Art und Intensität der Bewässerung abhängt.

Der Standort Dach unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von natürlichen Standorten in der Natur, da er künstlich hergestellt wird. Durch fehlenden Bodenanschluss ist der Nachschub von Wasser aus dem Untergrund unmöglich. Der durchwurzelbare Raum ist sehr stark eingeschränkt, was auf eine geringere Wasserbevorratung des Pflanzensubstrates zurückzuführen ist. Durch die exponierte Lage ist in subtropischen Ländern wie Thailand mit einer höheren Sonneneinstrahlung über das ganze Jahr und stärkeren Windgeschwindigkeiten als in Bodennähe (vgl. REIS, Neue Landschaft, 2/98) zu rechnen. Nur in der Regenzeit kann es durch vermehrte Wolkenbildung zur einer Abmilderung kommen. Neben der bis zu fünfmonatigen Trockenzeit kommt es in der Regenzeit auch zu längeren Trockenperioden. Des Weiteren ist auch mit höheren Windgeschwindigkeiten bei Gewitterstürmen und Taifunen zu rechnen. Diese Faktoren und die ganzjährigen hohen Temperaturen und geringen Luftfeuchtigkeit in der Trockenzeit führen zu einer sehr hohen und schnellen Verdunstung. Eine Beregnung in längeren Trockenperioden wird dadurch unumgänglich sein. Diese Voraussetzung des Pflanzenstandort Dach sind daher sehr wichtig für eine spätere Auswahl der Pflanzenarten. Es ist davon auszugehen, dass schattige und halbschattige Standorte eher selten sind, da die Sonne in Thailand fast das ganze Jahr über, vor allem in der Mittagszeit im Zenit steht und somit von einem sonnigen, trockenheißen Standort ausgegangen werden muss. Pflanzen aus Gebieten, in denen diese Standortverhältnisse vorherrschen, sind deshalb zu bevorzugen. Dies schränkt die Pflanzenauswahl sehr ein. Dies sind meist Spezialisten mit einer Anpassung an diese Extremstandorte (vgl. GROßE-WILDE, Neue Landschaft, 10/99). Darauf wird aber in einem der folgenden Kapitel näher eingegangen.

In der Regenzeit kommt es zu länger anhaltenden Regenereignissen, welche über mehrere Tage anhalten. Durch hohe Luftfeuchtigkeit und warme Temperaturen verändern sich die Standortverhältnisse von trocken und heiß, zu feucht warm. Dies kann zu Problemen bei den Pflanzen führen, welche zu berücksichtigen sind.

Die Gebäudelage, Verschattungen durch Aufbauten, wie Mauern oder Lichtkuppeln, anstehende Gebäudeteile, Dachvorsprünge, Änderungen im Gefälle sind wegen ihres Einflusses auf das Mikroklima weitere wichtige Faktoren. Außerdem kommt es bei langen und hohen Gebäuden zu starken Windturbulenzen.

3.2.2 Dachformen

Eine der häufigsten Dachform auf größeren Gebäuden, gerade in Großstädten wie Bangkok bestehen meist aus einer Stahlbetonschüttung. Aber auch Schrägdächer (verbreitet sind Pult- oder Satteldächer) in Leichtbauweisen, die meist mit Wellprofilen aus Faserzement oder Trapezprofilen aus Stahlblech bedeckt sind, haben eine große Verbreitung.

Das Flachdach stellt meist ein einschaliges Dach (Warmdach) da, bei dem die Decke eines unter dem Dach liegenden Raums auch gleichzeitig die Tragekonstruktion der Dachfläche bildet. Eine Dämmung erfolgt nicht, da es aufgrund der klimatischen Verhältnisse nicht nötig ist. Die Betonoberflächen der Flachdächer werden entweder durch nachträglich grün kolorierten Bitumen oder wasserundurchlässigen Beton vor eindringenden Regenwasser geschützt. Die Dachdichtung befindet sich also unmittelbar auf der Tragekonstruktion. Da es durch mechanische Schäden meist zu Problemen mit der Dichtigkeit kommt, ist eine nachträgliche Aufbringung eines Schrägdaches aus Faserzement oder Stahlblech, mit einer darunter liegenden Stahlkonstruktion üblich.

Bei Einfamilienhäusern ist eine Deckung der Schrägdächer mit Faserzement oder Stahlblech aus Kostengründen weit verbreitet. Dadurch ergeben sich geringe Lastreserven für eine weitere Begrünung. Bei teureren Häusern erfolgt die Deckung durch Dachziegel auf einem stabilen Dachstuhl. Die Dachneigungen bei Faserzementplatten oder Stahlblech liegt meist nicht höher als 36% (20°). Nachneigungen über 30° sind eher selten. Dieses muss bei der Entwicklung geeigneter Dachbegrünungssysteme Berücksichtigung finden.

Die Dachentwässerung erfolgt auf Flachdächern meist durch tiefer gelegene, etwa einen halbe Meter breite Rinnen, in welchen das Regenwasser gesammelt wird, um über Drainagerohre abgeführt zu werden. Dächer welche mit Faserzementplatten, Dachziegeln oder Stahlblech gedeckt sind, entwässern direkt über die Traufe. Wurden diese nachträglich auf ein Flachdach aufgebracht, über die vorhandenen Entwässerungsrinnen. Eine Sammlung des Wassers erfolgt in den Städten meist nicht. Auf Dörfern wird das Regenwasser aber teilweise noch über Regenrinnen in großen Wasserzisternen geführt und gespeichert. Dies ist bei einer fehlenden Frischwasserversorgung in manchen abgelegenen Gemeinden meist der einzige Weg über die lange Trockenzeit Trink- und Brauchwasser zur Verfügung zu stellen.



Abb. 21 : Flachdächer in Bangkok



**Abb. 22 : Schrägdach aus Stahlblech
in Maha Sarakham**



**Abb. 23 : Schrägdach aus Faserzementplatten
in Maha Sarakham**



**Abb. 24 : Endwässerungsrinne eines
Schrägdaches in Bangkok**

Da die Dachoberfläche und die Form des Daches ausschlaggebend für die Wahl der Begrünung ist, soll in diesem Kapitel näher auf die Anforderungen an diese eingegangen werden.

Extensive Dachbegrünungssysteme werden in Thailand vorwiegend auf Schüttbeton und Wellprofildächern eingesetzt werden. Daher ist es sinnvoll für diese Dachtypen Lösungen für eine extensiv Dachaufbau mit der Einheit aus Substraten und geeigneten Pflanzenarten zu finden. Auf Schüttbeton ist die Lastennahme auf jeden Fall höher einzuschätzen, als auf Schrägdächern welche in Leichtbauweise erstellt wurden. Um eine Schädigung der Dachoberfläche des Schüttbetons zu vermeiden ist es unbedingt erforderlich eine Wurzelschutzbahn, welche auch gleichzeitig als Abdichtung gegen Niederschlagswasser dient, aufzubringen. Dazu müssen in Thailand geeignete Materialien gefunden werden. Wurde das Dach bereits mit Bitumen versiegelt, ist dies natürlich nicht nötig. Bei geneigten Dächern sollten Wurzelschutzbahnen zumindest in den Randbereichen mechanisch fixiert werden. Wenn genügend Auflast vorhanden ist, wäre auch eine lose Aufbringung von

Teerpappen denkbar. Aber auch Gussasphalt der Härteklasse GE 40 hat ich in Europa als geeignete Schutz- und Wurzelschutzschicht aufgrund seiner mechanischen Widerstandsfähigkeit bewährt. Bei Neigungen über 5 % sollten aber verseifende Zusätze dem Gussasphalt beigemischt werden (vgl. RODE, Dach+Grün, 4/2000).

Ein Schutz gegen Windsog an den Eck-, Rand- und Mittelbereichen ist auch mit einzuplanen, da es gerade in der Regenzeit zu kräftigen Gewitterstürmen in Thailand kommen kann (vgl. MANN, Dach+Grün, 4/2006).

Wichtig ist es auch, dass der Schutz der Abdichtung an den Begrenzungen der begrünter Flächen, d.h. an aufgehenden Wänden, Durchdringungen, Dachrändern, im Bereich von Fugen und Entwässerungseinrichtungen erhalten bleiben muss. Dazu sollten Schutzschichten die Abdichtungen dauerhaft vor schädlichen Einflüssen durch statische, dynamische und thermische Beanspruchung schützen.

Die An- und Abschlüsse sind mit bis zu 50 cm breiten Kiesstreifen oder Plattenbelägen verlegt in einem Kiesbett vegetationsfrei zu halten und mit der Dachentwässerung zu verbinden. Es sollte erprobt werden ob dafür die vorhandenen, tiefer gelegten Entwässerungsrinnen auf thailändischen Flachdächern geeignet sind. Falls Anschlüsse an aufgehenden Bauteilen vorhanden sind, müssen diese 15 cm über der Oberkante der Vegetationsschicht, mehrlagig aus geeigneten Dichtungsbahnen hergesellt werden (vgl. RODE, Dach+Grün, 4/2000).

Außerdem sollten Dichtungsbahnen vor Sonneneinstrahlung (Infrarot, UV) abgeschirmt werden, welche in Thailand gerade in der Trockenzeit sehr intensiv ist. Die verlängerte Lebensdauer von Dachabdichtungen durch extensive Dachbegrünung sollte in diesem Zusammenhang mit erwähnt werden. Die Kosten für zusätzliche Dachabdichtungen könnten dadurch kompensiert werden.

Eine Kombination mit Dämmelementen unter der Dachabdichtung wäre auch denkbar, was sich gerade bei unter dem Dächern liegenden klimatisierten Räumen positiv auf die anfallenden Energiekosten auswirken könnten. Dazu müssten aber gezielt Untersuchungen erfolgen.

3.3 Substrate

3.3.1 Allgemeine Hinweise

Falls alle Maßnahmen zur Dachabdichtung getroffen worden sind, kommt es jetzt auf die Auswahl der Substrate und der Mächtigkeit der Substratschicht an. Dies hängt im Großen Maße immer von der zulässigen Dachauflast und dem Gefälle ab.

Die Substratmächtigkeit, welche sich bei extensive Dachbegrünungen in einem Rahmen von 3-10 cm bewegen, ist bei statischen Berechnungen zu berücksichtigen. Bei in Leichtbauweise erstellten Schrägdächern sollten die Dachauflast zwischen 30 und 60 kg/m² liegen. Bei Schüttbetondächern liegen die zulässigen Auflasten in Bereichen zwischen 100 und 150 kg/m², abhängig von der Substratstärke.

Für den Statiker ist das komplette Gewicht einer Dachbegrünung (Schichtenaufbau und Pflanzen) im wassergesättigten wichtig, welches stark vom Gründachaufbau abhängig ist (MANN, Dach+Grün, 4/2006). Reicht die Tragfähigkeit von Bauteilen nicht aus, muss die Konstruktion durch zusätzliche Trägerelemente verstärkt werden, um somit zusätzliche Lasten in die Baumasse, vor allem den Mauern, abzuleiten (vgl. RODE, Dach+Grün 4/2000).

Dies bedeutet aber einen zusätzlichen Kosten- und Arbeitsaufwand. Bei Leichtbauweisen mit Minimalkonstruktionen und geringen Belastungsreserven kann dies gegenüber den Gesamtkosten für die Dachkonstruktion erheblich sein. Bei ein- bis zweigeschossigen Gebäuden, welche häufig in ländlichen Gebieten Thailands anzutreffen sind, liegt der konstruktive Mehraufwand höher, da die Lasten vom Fundament aufgenommen werden muss.

Wichtig für den Einsatz von geeigneten Substraten und Pflanzenarten sind die schon beschriebenen Standortverhältnisse auf Gründächern, gerade in subtropischen Ländern wie Thailand. Im Vordergrund stehen die Verbesserung der Standortverhältnisse (vegetationstechnischen Eigenschaften) und damit dauerhaft die grundlegenden physiologischen Bedürfnisse der angesiedelten Pflanzen (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 1/2002), um einen ausreichenden Deckungsgrad und ein gutes Erscheinungsbild zu sichern.

Der Gehalt an organischer Substanz, die Korngrößenverteilung, das Porenvolumen, der Nährstoffgehalt, die Schütt- und Trockenrohddichte und dem damit verbundenen

Volumengewicht, Wasserspeichervermögen und -durchlässigkeit sowie der pH-Wert spielen bei den Substrateigenschaften eine zentrale Rolle.

Bei der Substratwahl muss deshalb auf ein gutes Wasserspeichervermögen, gute Mineralversorgung (welches meist vom Ausgangsstoff abhängt), gute Durchwurzelbarkeit aber auch ein gutes Drän- und Erosionsverhalten (Lagersicherheit) geachtet werden. Auch der Einsatz einer wasserspeichernden Dränschicht, um eine bessere Wasserversorgung, gerade für die immer wieder auftretenden langanhaltenden Trockenperioden, zu gewährleisten, ist denkbar.

3.3.2 Vegetationstragschicht

Es handelt sich bei den in der Dachbegrünung eingesetzten Vegetationstragschichten meist um künstlich hergestellte Substrate aus Kies- und Brechwerken. Bereits angebotene Mischungen auf dem thailändischen Markt sind auf ihre Eignung hin zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen. Aus den langjährigen Erfahrungen in Europa ergeben sich dabei zu beachtende Kennwerte, welche vor dem Anlegen von extensiven Dachbegrünungen und Versuchsflächen zu berücksichtigen sind.

Die zentrale Rolle bei der Entwicklung und Herstellung geeigneter Substrate spielt dabei das Gewicht. Viele Dächer haben nur eine bestimmte maximal mögliche Flächenlast, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, sich zwischen leichten und schweren Substratmischungen zu entscheiden. Leichte Substrate haben den Nachteil, dass sie eine höhere Anfälligkeit gegenüber Winderosion aufweisen (vgl. LIESECKE, Neue Landschaft, 5/96).



Abb. 25 : Einschichtdachsubstrat
(Quelle: Liesecke 2004)



Abb. 26 : Einschichtdachsubstrat mit Recyclingbruch aus Ziegelsteinen
(Quelle: Liesecke 2004)

In Europa werden von unterschiedlichen Anbietern Grundsubstrate angeboten, die gemäß den unterschiedliche Anwendungsfällen in gleichbleibenden Qualität eingesetzt werden. Je nach Region und Substrattyp kommen mineralische Gerüstbausteine wie Lava, Bims, Blähschiefer und Recyclingmaterial (z.B. Tonziegel) sowie organische Zuschlagsstoffe wie Rindenumus und Grünschnittkompost zur Verwendung. Dazu wurden von den Herstellern Qualitätsvereinbarungen getroffen bei denen die Rezeptvorgaben genau einzuhalten sind (vgl. MANN, HENNEBERG, Stadt+Grün, 6/98).

Solche Vereinbarungen müssten auf dem thailändischen Baustoffmarkt auch getroffen werden und durch Qualitätskontrollen in Laboren mit einer speziellen Checkliste überprüft werden.

Es sollten dabei, wenn möglich, leistungsfähige Substrate entwickelt werden, welche die ungünstigen Klimafaktoren, gerade in der Trockenzeit, überlagern (vgl. KOLP, Neue Landschaft, 10/95), um ein besseres Artenspektrum bei den eingesetzten Pflanzenarten zu erreichen.

3.3.3 Materialien

Zu empfehlen ist auf alle Fälle der Einsatz von gebrochenem Sandkies, oder Splitt, um eine bessere Scherfestigkeit, welche zu einer besseren Erosionsbeständigkeit, gerade bei den starken und intensiven Niederschlägen in der Regenzeit führt, zu gewährleisten.

Extensive Gründachsubstrate sollen in der Regel nicht zu nährstoffarm sein, welches entweder durch Düngung oder einen gewissen Anteil an organischer Substanz erreicht werden kann. Doch gerade beim Einsatz von mineralischen Düngern führt das Auswaschen des löslichen Nährstoffanteils zu einem geringeren Nährstoffangebot. Dies wird durch die geforderte hohe Wasserdurchlässigkeit des Substrates noch gefördert (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 2/2002). In der lang anhaltenden Regenzeit mit ihren hohen Niederschlagsmengen ist mit einem starken Nährstoffaustrag zu rechnen. Somit ist nicht von einem ungestörten Nährstoffkreislauf auszugehen.

Eine Lösung wäre die Erhöhung der Speicherkapazität für Nährstoffe durch die Maximierung des Anteils an organischer Substanz, was aber zu einer höheren Wasserspeicherfähigkeit führen würde und dementsprechend zu einer Zunahme der

Lastenannahme bei maximaler Wasserkapazität (vgl. LIESECKE, Dach+Grün, 4/2002). Dies wirkt sich zwar eindeutig positiv auf die Vitalität der Pflanzen aus, da die Wasserkapazität erhöht wird (vgl. KOLB, Dach+Grün, 4/2001). Der Nachteil liegt aber in der starken Mineralisation und Humifizierung der organischen Substanz, gerade bei den hohen Temperaturen und der hohen Feuchtigkeit während der Regenzeit und somit bei zu einem zu hohem Nährstoffgehalt im Substrat und den damit verbundenen potenziell hohen Auswaschung. Durch das hohe Nährstoffangebot ist häufig auch mit einer unerwünscht üppigen Pflanzenentwicklung zu rechnen. Der Gehalt sollte deshalb 10 Volumenprozent nicht überschreiten (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 1/2002).

Zudem verringert sich bei einem höheren Humusanteil und einer geringen Pufferkapazität des Substrates der pH-Wert, was für viele Pflanzenarten nicht tolerierbar ist (UPMEIER, Dach + Grün, 2/2000). Positiv hat sich die Verwendung von Holzhäckseln in einer Aufwendung von 10% zur Bindung von Stickstoff bewährt, der diesen Stickstoff in einer für die Pflanze nicht verfügbaren Form binden kann, diesen aber zu einem späteren Zeitpunkt wieder an diese abgeben kann (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 1/2002).



Abb. 27 : Holzhäckseln
(Quelle: ERDEN, 2004)



Abb. 28 : Untersuchung von Recyclingbruch
(Quelle: DELLER, 2004)

Auch die Erhöhung des Ton- und Schluffanteiles, welcher sich aber negativ auf die Drän- und Filterstabilität auswirken würde (vgl. KOLB, Dach+Grün, 8/2002) ist denkbar. Der Gewichtsanteil sollte auch hier 10% nicht überschreiten (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 1/2002).

Besser wäre es, gebrochene Altziegel und Ziegelsplitt als Recycling-Stoffe mit einem hohen Karbongehalt beizumischen. Diese könnten, gerade in Kombination mit organischen Substanzen, zu einer Verbesserung der vegetationstechnischen

Eigenschaften führen. Der erhöhte Karbongehalt puffert dabei das Absinken des pH-Wertes ab (vgl. LIESECKE, Neue Landschaft, 1/06). Zu beachten ist, dass die Zusammensetzung von Recyclingbruch größeren Schwankungen unterliegt, welche aber durch Vorsortierung des Herstellers besser homogenisiert werden kann. Des Weiteren ist mit der Gefahr der Versinterung von Abläufen durch ausgewaschenes Karbon zu rechnen, welches durch den Anteil von Mörtelresten im Substrat verursacht wird. Eine Kombination mit reinem Ziegelbruch und organischer Substanz verringert aber diese Gefahr (vgl. KOLB, TRUNK, Neue Landschaft, 11/98). Kalkgaben wären zur Stabilisierung des pH-Wertes eine weitere Alternative (vgl. LIESECKE, Dach+Grün, 3/2006).

Abschließend ist zu sagen, dass erst durch Feldversuche eine geeignete Mischung unter den klimatischen Verhältnissen Thailands zu finden ist. Denkbar wäre eine Kombination aus gebrochenen Splitt, organischer Substanz, Recyclingstoffen und Holzhäckseln.

3.4 Pflanzenverwendung

3.4.1 Unterschiede zwischen Intensiv- und Extensivbegrünungen

In der Dachbegrünung unterscheidet man drei Begrünungsarten, die Intensiv-, die einfache Intensiv- und die Extensivbegrünung. Bei der Intensivbegrünung, auch Dachgärten genannt, handelt es sich in der Regel um eher aufwendige Begrünungen mit Stauden und Sträuchern, aber auch Rasenflächen und im Einzelfall auch Bäumen. Diese Begrünungsform bedürfen einer intensiven Pflege, wozu insbesondere eine regelmäßige Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gehört. In Thailand kommt diese Begrünungsform schon seit längerem zum Einsatz, bleibt aber aufgrund der Aufbauhöhe von mindestens 25 cm und einer damit verbundenen höheren Auflast, nur bestimmten Gebäuden vorbehalten, bei denen die Statik dem entsprechend angepasst wurden (vgl. FLL, 2008). Wie schon erwähnt, kommen sie eher auf Hotelanlagen und repräsentativen Gebäuden zum Einsatz, bei denen ein nutz- und erlebbarer Grün- und Freiraum geschaffen werden soll. Da diese Begrünungsform auf den meisten vorhandenen Gebäuden nicht einsetzbar ist, und somit kein nachhaltiger Nutzen für die Lösung der Probleme im städtischen Raum aufweist, soll im Rahmen dieser Arbeit auch nicht näher auf diese eingegangen werden. Das Hauptaugenmerk liegt deshalb in der extensiven Begrünung, welche auf einer größeren potentiell verfügbaren Dachfläche einsetzbar wäre, und somit einen nachhaltigen, für die Lösung stadtoökologische Probleme, messbaren Einfluss hätte.

Die Extensivbegrünungen sind naturnah angelegte Begrünungen, welche sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln, und mit einem Minimum an Pflege eine dauerhafte Vegetationsdecke gewährleisten (BERGER, 1987). In gemäßigten Klimazonen kommen neben Kräutern, Gräsern und Moosen vor allem verschieden Sukkulente, wie z.B. Sedum- und Sempervivumarten zum Einsatz. Diese Arten der Begrünung sind in der Regel mit geringem Aufwand herstellbar und zu unterhalten (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 10/2006).

Das geringe Wasserangebot und eine abnehmende Nährstoffversorgung sollten hierbei, trotz in langanhaltender Trockenperioden erfolgter Bewässerung, ein wichtiges Kriterium bei der Pflanzwahl spielen. Des Weiteren sollten die Arten gut mit der licht- und windexponierten Lage zurechtkommen (vgl. BORCHARD, 1994).

3.4.2 Pflanzenauswahl

Bei der Pflanzenauswahl auf dünn-schichtigen, bodenfernen Aufbauten und der damit verbundenen niedrigen Wasserkapazität, sollte neben ästhetischen Gesichtspunkten auch darauf geachtet werden, dass niedrig wachsende und trockenheitsverträgliche Pflanzen zum Einsatz kommen. Im Allgemeinen ist unter gemäßigten Klimabedingungen keine Bewässerung notwendig, da das ganze Jahr über ausreichend Niederschläge fallen.

In Thailand wird dies wegen der lang anhaltenden Trockenheit und den damit einhergehenden hohen Temperaturen in der Sommerperiode zwischen März und Mai nicht möglich sein.

Unter den extremen klimatischen Bedingungen würde es zu dieser Zeit zum Verlust einzelnen Pflanzenarten oder Totalausfällen ganzer Begrünungen kommen. Aus eigenen Erfahrungen sind eigentlich nur Xerophyten, speziell Sukkulente, für diese Bedingungen geeignet. Da eine tägliche Bewässerung nicht immer möglich oder erwünscht ist, wird es unter subtropischen Bedingungen zu Trockenphasen kommen, welche von klassischen Mesophyten nicht überstanden werden. Sukkulente sind besonders an solche Extremstandorte angepasst (Spezialisten) und können nach einer ausreichenden Anfangsentwicklung auch längere Trockenperioden, falls die Bewässerung ausfallen sollte zwar mit vermindertem Wachstum und teilweiser Zurückbildung der oberen Sprossorgane sowie der Wurzeln durchstehen (vgl. GROßE-WILDE, Neue Landschaft, 10/99). Xerophyten kommen unter natürlichen Bedingungen auf sonnigen, trockenwarmen, nährstoffarmen Stein- und Felsböden als Vertreter von Pioniergesellschaften vor. Sie sind durch das Vorhandensein von Wasserspeichern in den Blättern und Sprossachsen mit einer verdunstungshemmenden Blattbeschichtung oder Behaarung an trockenheiße Standorte angepasst (vgl. KOLB, Dach+Grün, 8/2002). Sie können die Verdunstung durch schließen der Spaltöffnungen, zumindest tagsüber verringern. Das Risiko eines Totalausfall ist dadurch geringer als bei Mesophyten, welche in der intensiven Dachbegrünung sehr häufig zum Einsatz kommen.

In Europa findet man viele Vertreter der Gattung *Sedum* aus der Familie der *Crassulaceae* auf vielen Standorten mit extensiver Dachbegrünung. In subtropischen Ländern ist die Auswahl an geeigneten Gattungen und Arten erheblich größer, da hier nicht, wie in gemäßigten Klimazonen, auf eine gewissen Frostresistenz geachtet werden muss. Bei der Auswahl geeigneter Pflanzenarten sollte neben der Robustheit, auch auf die Höhe und den Durchmesser der Pflanzen, die Blühintensität, sowie die Regenerations- und Reproduktionsfähigkeit Wert gelegt werden. Dann kann auch von einer langfristig stabilen und funktionsfähigen Naturierung und einem zufriedenstellenden Deckungsgrad ausgegangen werden. Arten, welche in kurzer Zeit durch ausreichende Wachstumsergebnisse, einen ausreichenden Deckungsgrad ergeben, der nach einem Jahr bei 70 bis 80% liegen sollte, sind zu bevorzugen. Auch ist davon auszugehen, dass im Laufe der Jahre eine Veränderung der Artenzusammensetzung und damit verbunden eine Veränderung des ästhetischen Erscheinungsbildes und Leistungsvermögens einhergehen. Wie schon erwähnt, sind Sukkulente, welche in ihrer Größe eher niedrig bleiben, also nicht höher als 20 bis 30 cm werden, zu bevorzugen, da sonst eine Substratstärke von mehr als 15 cm erforderlich wird, um den Pflanzen die Möglichkeit zu geben, ein großflächiges Wurzelnetz auszubilden. Sonst würden diese schon bei geringen Windstärke, welche in Thailand bei Gewittern durchaus Sturmstärke erreichen können, entwurzelt. Auch könnten bei Substratstärken von 5 - 10 cm diese Pflanzen ihre mögliche Endhöhe nicht erreichen und durch Kümmerwuchs auffallen (vgl. KÖHLEIN, Dach+Grün, 2008).

Für eine Begrünung auf trockenheißen Standorten fallen einem als Erstes die Arten der Stammsukkulente mit den Familien der *Cactaceae* (Kakteengewächse) ein, welche aber nur für Substrathöhen von über 15 cm geeignet sind und somit eher bei intensiven Dachbegrünungen auf durchlässigen Böden zum Einsatz kommen sollten (vgl. HATZENBÜHLER, Dach+Grün, 4/2007). Dies gilt auch für Vertreter der *Agavaceae* (Agavengewächse). Zum einen sind die meisten Kakteen und Agaven sehr langsamwüchsig, womit der gewünschte Deckungsgrad erst nach mehreren Jahren erreicht werden würde, zum anderen ist der hohe Anschaffungspreis, der sich aus der langen Kulturzeit ergibt, ein weiteres Ausschlusskriterium.



Abb. 29 : *Crassula marnieria*



Abb. 30 : *Kalanchoe millotii*



Abb. 31 : *Sedum clavatum*



Abb. 32 : *Echeveria xanti*

Besser sind andere Xerophyten geeignet mit einer geringen und flachen Wurzelbildung, welche meist den Familien der Blattsukkulanten angehören. Wie auch in gemäßigten Klimazonen, sind Vertreter der Familie der Crassulaceae besonders geeignet. Hier stehen eine ganze Reihe von Subfamilien zur Auswahl, welche auch in Thailand kultiviert werden. Zu erwähnen sind hierbei neben den Crassuloideae, die Kalanchoideae, Echeverioideae und Sedoidea. Aber auch die Subfamilien der Portulacaceae und kleinwüchsige Formen der Liliaceae, Euphorbiaceae könnten auf Dächern kultiviert werden. Diese Familien erreichen durch das speichern von Wasser auch bei völligem Versiegen des Wassernachschubs ein beachtliches Überdauerungsvermögen (vgl. KIRCHSTEIN, Stadt+Grün, 4/97). Im letzten Teil der Arbeit wurden dazu eine Übersicht erstellt.

3.4.3 Pflanzenzusammenstellung

Bei der Bepflanzung sollte auf ein größeres Artenspektrum geachtet werden, damit es nicht, wie in gemäßigten Klimazonen, zu „Monokulturen“ einzelner Subfamilien wie zum Beispiel Sedum kommt, was in ästhetischer Hinsicht zu Nachteilen führt. Durch eine größere Artenzahl ist es möglich, nach dem Wegfall der Pflegemaßnahmen, die Krisensicherheit zu erhöhen. Wenn reine Sedum-Bestände gewählt werden, führt dies durch die Anthocyanbildung zu einem bräunlich-roten Erscheinungsbild und in bestimmter Jahreszeit zu einer Massenblüte, welche meist nicht lange anhält. Auch der zweidimensionale Charakter reiner Sedum-Bestände wird als eintönig empfunden (vgl. ROTH-KLEYER, Dach+Grün, 2/2006). Hier könnte sich der Einsatz von kleinwüchsigen Vertretern der Liliaceae, Euphorbiaceae und Dracaenaceae, wobei besonders Arten der Aloineae geeignet wären, Abhilfe schaffen. Auch ist der Einsatz von Zwiebelgewächsen denkbar, welche aber nur zu bestimmten Zeiten eine Vegetations- und Blühaspekt bringen würden (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 2/2001). Von einem Einsatz von Gräsern ist abzusehen, da diese bei einer Substratdicke von unter 10 cm ausfallen (vgl. LIESECKE, Stadt und Grün, 6/98). Eine Erprobung einheimischer trockenresistenter Gräser könnte aber in Erwägung gezogen werden, da ihr Einsatz zu einer Belebung des visuellen Eindrucks beitragen könnte (vgl. MANN, 2005). Falls die oberen Sprosssteile bei längeren Trockenperioden absterben sollten, ist aber gerade unter den klimatischen Verhältnissen Thailand, die Brandgefahr zu groß.



Abb. 33 : Artenarmes Sedumdach



Abb. 34 : Blühendes Sedumschrägdach

Bei der Planung von Extensiven Dachbegrünungen in Thailand sollten auch der Pflegeaufwand und die Wünsche des Bauherren eine Rolle spielen. In der Monsunzeit wird es zu kurzzeitigen Vernässungen kommen, welche die eingesetzten Arten überstehen müssen (REIS, Neue Landschaft, 2/98).

In Europa werden Pflanzen für die Dachbegrünung meist über Kataloge angeboten mit verschiedenen Sätzen aus denen bei Anlage eines Gründaches gewählt werden kann (vgl. BERGER, 1987). In Thailand ist dies nicht möglich. Man müsste sich an entsprechenden Staudengärtnereinen, welche sich auf die Anzucht von trockenresistenten Pflanzen spezialisiert haben, gewandt werden und dort müssten je nach Angebot Pflanzenkombinationen gewählt werden. Wenn ist es schwierig, die ausreichende Pflanzenmenge zu bekommen. Eine frühzeitige Bestellung ist daher auf jeden Fall sinnvoll.

3.4.4 Pflanzweise

Neben der Ansaat, kommen für die Etablierung von Beständen in Europe traditionell die Pflanzung mit Kleinballen oder bei Sukkulente das Aufbringen von Sprossen oder Sprossteilen zum Einsatz. Auch eine Kombination ist häufig anzutreffen. Diese setzen aber eine hohes Maß an Anzuchtspflege voraus, welche auf langjährige Erfahrungen beruht. Da Studien für subtropische Gebiete wie Thailand noch nicht im ausreichendem Maße vorliegen, soll auf diese Art der Anspritzbegrünung mit Sprossen auch nicht näher eingegangen werden.



Abb. 35 : Blattsposse an *Kalanchoe daigremontiana*



Abb. 36 : Blattsposse an *Kalanchoe pinnatum*

Eine Begrünung mit Kleinballenpflanzen ist daher eher angebracht. Die Pflanzdichte pro Quadratmeter hängt dabei von der Art und Größe der eingesetzten Ballenware ab. In Europa liegt sie meist bei 30 bis 50 Pflanzen pro Quadratmeter. Falls Vertreter der Brutblattgewächse aus der Subfamilie der Kalanchoideae zum Einsatz kommen, könnte eine Kombination von Pflanzung und Verwendung von Brutknospen, welche sich an den Blattränder befinden, für eine flächendeckende, preiswerte Begrünung

eine Rolle spielen. Diese setzt aber, wie bei dem Einsatz von Sprossen oder Sprossteilen, eine intensive Anzuchtpflege in den ersten Jahren voraus. Eine Kombination wäre aber sinnvoll, damit sich die Räume der Substratoberfläche zwischen den Einzelballen schneller begrünen. Diese lägen sonst für einen längeren Zeitraum offen und wären den Wind- und Wassereinwirkungen schutzlos ausgesetzt. Oft werden die Pflanzballen durch Erosion freigelegt und dadurch die Entwicklung der Pflanze eingeschränkt, was sogar zu einem Absterben durch Austrocknung führen kann (vgl. LIESECKE, Neue Landschaft, 5/96). Zudem wachsen aus Brutknospen entstehende Pflanzen in den ersten Vegetationsjahren besser, wenn sie im Schatten von größeren Pflanzen stehen (vgl. ROWLEY, 1978). Somit könnte auf eine Verwendung von Schattennetzen verzichtet werden.

Bei der Verwendung von Pflanzenarten und Sorten kommt es beim Erscheinungsbild nicht wie in Deutschland auf ein „naturnahes“ oder „natürliches“ sonder eher optisch attraktives Bild an. Doch ist dies bei einer extensiven Pflege nicht immer möglich.

Denkbar wäre auch der Einsatz von vorkultivierten Vegetationsmatten, welche in der Regel aus mit einem Substrat verfüllten Tragstruktur bestehen, auf das die Begrünung aufgebracht wird. Das Anzuchtrisiko liegt hier beim Hersteller. Der Vorteil liegt darin, dass die Pflegemaßnahmen risikolos unter Einsatz speziell entwickelter Maschinen und einer stationär, wiederholt einsetzbaren Beregnungsanlage durchgeführt werden kann. Somit wird quasi eine bereits fertige Begrünung auf des Dach aufgebracht (vgl. LIESECKE, Dach+Grün, 3/2004). Es ist darauf zu achten, dass die Anzucht auf Folien erfolgt, um ein Ein- und Durchwachsen von Fremdaufwuchs aus dem anstehenden Boden zu vermeiden. Gewinn, Transport und Verlegung der Matten erfolgt als Roll- oder Plattenware mit einer Fertigungsbreite von 1 m und Fertigungslänge von bis zu 30 m. Gitternetz-Vegetationsmatten und -soden sind meist kleiner und werden als Plattenware angeliefert (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 2/2002). Deren Deckungsgrad muss in Deutschland bei 80 Prozent liegen. Vegetationsmatten sind in Thailand teilweise schon für den Einsatz im Gartenbereich erhältlich, aber nur in Monokultur.

Es wäre also erforderlich, gerade für zukünftige Dachbegrünungsprojekte Gärtnereien zu finden, welche Vegetationsmatten für diesen speziellen Standort vorkultivieren. Als Trägersubstanz könnten Kokosfasern zum Einsatz kommen, welche vor Ort verfügbar wären und mittelfristig verrotten.

Hier könnte es zur Entwicklung von ganzen Dachbegrünungssystemen kommen, auf die später noch eingegangen wird. Diese werden gerade bei Extensivbegrünungen gern auf geneigten Dächern verwendet, wobei abhängig von der Dachneigung – Rutsch- und Schubsicherungen notwendig sind. Leichte Systeme wäre auch in Thailand sinnvoll, da viele Privathäuser, gerade im innerstädtischen Bereichen mit Schrägdächern in Leichbauweise bedeckt sind.

3.5 Unterhalt und Pflege

Neben der richtigen Auswahl der Pflanzenarten spielt auch die richtige Pflege der Grünflächen auf dem Dach eine wichtige Rolle für den Erfolg extensiver Dachbegrünungen. Man unterscheidet dabei zwischen Anfangs-, Anzucht-, Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Unterhaltspflege. Der Pflege- und Arbeitsaufwand sollte zumindest bei der Unterhaltspflege sehr gering sein (vgl. FLL, 2008). Dadurch kann das angestrebten Begrünungsziel erreicht werden, was aber eine fachgerecht Durchführung voraussetzt. Dies ist ohne qualifizierende Vorbereitung nicht möglich. Zu den einzelnen Pflegemaßnahmen gehören neben Bewässerung und Düngung, auch ein ausreichender Pflanzenschutz und wenn nötig ein Nachpflanzen sowie das Entfernen oder Beschneiden von unerwünschtem Aufwuchs. Auf die einzelnen Pflegemaßnahmen wird noch detailliert eingegangen.

3.5.1 Fertigstellungspflege

Die Fertigstellungspflege ist für das Erreichen des angestrebten Deckungsgrades, welcher vor der Abnahme erreicht werden muss, sehr wichtig und gehört zwingend zur Herstellung einer Dachbegrünung. Sie erfolgt nach der Aufbringung der Pflanzen und soll das Anwachsen und Etablieren der Vegetation sicherstellen. Diese Pflanzen müssen Grundsätzlich in einer ausreichenden Anzahl und natürlichen Vitalität vorhanden sein, um einen abnahmefähigen Zustand zu erreichen. Der abnahmefähige Zustand ist erreicht, wenn die Pflanzen sicher angewachsen sind, sich selbst vermehren können und den geforderten Deckungsgrad (Anteil der Pflanzen an Bedeckung der Dachfläche) erreicht haben. Dabei wird der sich abzeichnende Schattenwurf bei senkrechter Sonneneinstrahlung für die Ermittlung der Deckung herangezogen. Bei Miniballenpflanzungen sollte der Deckungsgrad bei

der Abnahme bei 60 Prozent liegen, bei vorkultivierten Vegetationsmatten beim Einbau mindestens 70 Prozent und zum Zeitpunkt der Abnahme bei 90 Prozent, um einen geschlossenen und grünen Vegetationseindruck zu hinterlassen.

Grundsätzlich sollten die Ballenpflanzen ins Substrat eingewurzelt sind und ein natürliches Wachstum zeigen, Vegetationsmatten bilden mit dem darunter liegenden Substrat fest verwurzelt sein, um sich nahezu selbst weiter zu entwickeln. In Mitteleuropa wird dies in der Regel nach 12 bis 15 Monaten erreicht. Bei guten Wachstumsbedingungen könnte dies in Thailand zu einem früheren Zeitpunkt der Fall sein, da es hier bei ausreichender Bewässerung in der Trockenzeit zu keiner Unterbrechung der Vegetationsperiode kommt (vgl. MANN, Dach+Grün, 3/2007). Unter ariden und mediterranen Klimabedingungen wurde bereits nach fünfmonatiger Anzucht ein abnahmefähiger Zustand erreicht. Dies konnte aber nur mit einer zusätzlichen Wasserversorgung der Vegetation in Trockenperioden erreicht werden (vgl. LIESECKE, Dach+Grün, 3/2004). Die Verkürzung des Zeitraums für die Fertigstellungspflege und ein damit verbundener geringerer Arbeitsaufwand, führte in betriebswirtschaftlicher Hinsicht, zu einem finanziellen Vorteil, da es früher möglich ist, dem Bauherren eine „fertige“ Leistung zu präsentieren, welche sich mit den Erwartungen des Auftraggebers deckt (vgl. LIESECKE, Stadt+Grün, 2/2002). Zu beachten ist, dass Maßnahmen zur Fertigstellungspflege unter erschwerten Bedingungen durchgeführt werden müssen, da der Einsatz von Maschinen durch die gegebenen Verkehrslast in der Größenordnung begrenzt oder nicht möglich ist.

3.5.2 Entwicklungs- und Unterhaltspflege

Die Entwicklungspflege beginnt nach der Abnahme im Anschluss an die Fertigstellungspflege, um das angestrebte Vegetationsziel und einen Deckungsgrad von etwa 90 Prozent zu erreichen. Sie geht in die gezielte Unterhaltspflege über, die das erreichte Vegetationsziel erhält und langfristig das Überleben der Arten garantiert. Die Unterhaltspflege umfasst alle Leistungen, die auf die Erhaltung des mit der Entwicklungspflege erreichten funktionsfähigen Zustandes gerichtet sind. Dazu gehören die Versorgung mit Nährstoffen, Entfernung von unerwünschten Pflanzen und die Durchführung von Pflegeschnitten. In Thailand ist in der Trockenzeit eine Zusatzberegnung und während der Regenzeit ein ausreichender Pflanzenschutz erforderlich, da es sonst nicht möglich ist Vegetationsziele zu erhalten. Dieses kann

nur mit einem hohen Maß an gärtnerischer Erfahrung und Einfühlungsvermögen erfolgen, da Pflegefehler sich durch Artenverarmung oder Entwicklung unerwünschter Vegetation bemerkbar machen (vgl. KOLB, Dach+Grün, 6/2003).

Neben den bauphysikalischen und ökologischen Ansprüchen, sind die gestalterischen besonders in Thailand nicht zu vernachlässigen. Hier besteht bei Grünanlagen ein gewisser Wunsch nach einem guten und repräsentativen Aussehen. Dies muss bei der Wahl der Pflanzen und der Durchführung von Pflegemaßnahmen eine tragende Rolle spielen. Somit kommt es nicht, wie teilweise in Europa schon geschehen, zu einem schlechten Image der extensiven Dachbegrünung, welches meist durch mangelnde und falsche Pflege sowie die Auswahl der Dachpflanzen hervorgerufen wurde (vgl. LIESECKE, Neue Landschaft, 5/96). Hierzu sollen im Folgenden Hinweise gegeben werden.

3.5.3 Bewässerung

Die Grundlage der Bewässerung bildet bei allen Dachbegrünungen das Niederschlagswasser. Zwar sollten in gemäßigten Klimazonen extensive Dachbegrünungen in Trockenperioden nicht künstlich bewässert werden, da sich dies negativ auf die Zusammensetzung und Langlebigkeit der Vegetation auswirkt. Außerdem werden die positiven Wirkungen der Begrünung auf den städtischen Wasserhaushalt durch zusätzliche Bewässerung verringert (vgl. FLL, 2008). In Regionen mit langanhaltenden Trockenperioden und hohen Tagestemperaturen, ist dies aber wohl unumgänglich.

Auf extensiven Dachbegrünungen kann wegen der bodenfernen Bepflanzung und den damit verbundenen fehlenden Oberflächen- und Grundwasseranschluss in Regionen wie Thailand mit einer starken Austrocknung des Substrates gerechnet werden. Außerdem ist die verminderte Wasserkapazität durch die geringe Substratdicke zu nennen. Schon nach kurzer Zeit verdunstet das für die Pflanzen verfügbare Bodenwasser durch die Hitzeentwicklung, die hohe Sonneneinstrahlung und eine geringe Luftfeuchtigkeit während der Trockenzeit, was durch die windexponierte Lage des Daches noch beschleunigt wird. Das Wasser kann von der Wurzel aber nur dann aufgenommen werden, wenn es entsprechend der Saugspannung für die Pflanze verfügbar ist.

In subtropischen Gebieten spielt die Bewässerung als Pflegemaßnahme bei langanhaltenden Trockenzeiten deshalb eine maßgebliche Rolle. Sie wirkt sich dabei

speziell auf das ästhetische Leistungsvermögen und die Vegetationsentwicklung der Bepflanzung aus. Bleibt sie aus, würde sich die Artenzusammensetzung gegenüber der ursprünglich eingebrachten Vegetation ändern. Dies tritt vor allem ein bei einem großen Defizit zwischen der potentiellen Verdunstung und den natürlichen Niederschlägen, was gerade während der Trockenzeit Thailands der Fall ist. Bleibt eine Bewässerung aus, kommt es zu einer Schädigung des Wurzelwerkes und unter Umständen zum Absterben der Pflanzen. Dies muss auf jeden Fall vermieden werden. Bei Sukkulenten überdauern zwar auch wurzellose Sprosstteile, die bei einer günstigeren Wasserversorgung wieder austreiben, doch wird das Erscheinungsbild immer unter einem verminderten Deckungsgrad leiden.

Die Zusatzbewässerung erfolgt hauptsächlich während der Fertig- und Entwicklungspflege, sollte dann aber in kürzeren Intervallen bei der Unterhaltspflege fortgesetzt werden. Bis zur Abnahme der Fläche ist es unbedingt erforderlich, je nach klimatischen Gegebenheiten eine Intervallbewässerung durchzuführen. In den ersten Monaten und bei anhaltender Trockenheit erfolgt diese alle zwei Tage.

Das Wasser kann entweder über die zentrale Wasserversorgung bezogen werden oder durch Speicherung von Regenwasser erfolgen, welches über Pumpen der Beregnungsanlage zugeführt wird. Auf dem Markt werden in Europa unterschiedliche Bewässerungssysteme angeboten. Dazu gehören fest installierte Feldkreisregner, welche über eine Zeitschaltuhr oder manuell gesteuert werden. Falls Dränschichten vorhanden sind, könnte auch über einen Kontrollschacht, der als Wassereinlass dient bewässert werden. Diese wird über eine schwimmergesteuerte Bewässerungsautomatik oder manuell gesteuert funktionieren. Steuerungen über Feuchtefühler sind bei hohlraumreichen Substraten einschichtiger Bauweisen nicht geeignet (vgl. KOLP, Garten+Landschaft, 10/2003).

Eine besonders ökologische Möglichkeit ist die Verwendung von Solar-Zisternen-Bewässerungen. Dieses Verfahren nutzt die natürlichen Ressourcen; Niederschlagswasser und Sonnenenergie. Niederschlagswasser ist in der Regenzeit im ausreichenden Maße vorhanden, müsste dann aber bis zur Trockenzeit, in der die Sonnenenergie genutzt wird, in genügend großen Zisternen gespeichert werden. Scheint die Sonne stark genug, von dem in Thailand ausgegangen werden kann, und ist die Zisterne ausreichend mit Wasser gefüllt, fördert die solargesteuerte Pumpe Wasser bis zu 20 m Höhe auf die Dachbegrünung. Die Förderleistung beträgt bei 12 m Höhe ca. 25 l/min. Sollte die Zisterne leer sein, schaltet sich die mit

Wasserstandssensoren ausgestattete Pumpe selbständig ab. Gerade in der heißen Phase der Trockenzeit könnten bei großem Wassermangel größere Wassermengen auf das Dach gepumpt werden (vgl. MANN, Neue Landschaft, 6/99). Um die Verdunstungsrate, welche in Thailand tagsüber sehr hoch ist, möglichst gering zu halten, sollten Bewässerungen nur in den späten Nachmittag- und Abendstunden erfolgen, um unnötigen Wasserverlust zu vermeiden. Eine vollständige Sättigung des Bodens wäre angebracht, um die Intervalle der Bewässerung so gering wie möglich zu halten. Die nächste Bewässerung erfolgt vor einer vollständigen Austrocknung des Bodens, da sich ständige Wechsel zwischen trockenen und feuchten Phasen negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Bei der Wahl des Substrates sollte deshalb auf eine hohe Wasserspeicherfähigkeit geachtet werden. Während der der Fertigstellungspflege ist in den ersten 14 Wochen eine tägliche Bewässerung in der Trockenzeit anzuraten.

Auch würde ein Wechsel zwischen Vernässung und Austrocknung zu einem Dauerstress führen, der mit Pilzbefall verbunden ist und zu einem Absterben der ganzen Pflanze führt (vgl. KULPKE, Dach+Grün, 3/2006). Doch muss auch darauf geachtet werden, dass es nicht zu anhaltender Vernässung durch langanhaltenden Regenfälle oder ständiger Bewässerung kommt, weil dies durch mangelnde Luftversorgung und Fäulnisprozesse im Wurzelbereich zum Absterben der Pflanzen führt. Eine angepasste Entwässerung muss daher in allen Bereichen der Begrünung sichergestellt sein (vgl. RIEHL, Garten+Landschaft, 10/2003).

3.5.4 Düngung

Neben der schon erwähnten Bewässerung, ist die ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen ein Faktor für die zufriedenstellende Pflanzenentwicklung auf extensiven Dachbegrünungen. Hierbei ist zwischen Start- bzw. Folgedüngung im Rahmen der Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Unterhaltspflege zu unterscheiden. Auch muss auf den richtigen Zeitpunkt, die Menge, Wirkungsweise und Zusammensetzung der Dünger geachtet werden.

Bei den hohen Temperaturen, welche in Thailand das ganze Jahr über vorherrschen, wird es zu einer schnellen Nährstofffreisetzung kommen. Ein weiteres Problem wird die lang anhaltende Trockenzeit sein, bei dem die Nährstoffe nur in unmittelbarer Nähe des Düngerkorns bleiben und somit nicht in die Nähe der Pflanzenwurzel transportiert werden, wo sie über die Bodenlösung an die Pflanze abgegeben werden. Dem könnte über eine ausreichende Bewässerung in dieser Zeit entgegengewirkt werden.

Bei den starken Niederschlagsereignissen in der Regenzeit wird es des Weiteren zu einer Auswaschung der Nährstoffe aus dem Substrat kommen. Diesem muss durch entsprechende Maßnahmen vorgebeugt werden. Eine Möglichkeit wäre die Erhöhung des Anteils an organischer Substanz, leider durch den allmählichen Abbau nicht dauerhaft im Substrat verbleibt. Auch könnte der Ton- und Schluffanteil erhöht werden, was aber gerade bei einschichtigen Aufbauten zu einer schlechteren Dränleistung führt. Dies könnte sich gerade in der Regenzeit negativ auf die Sukkulente auswirken.

Es wird auf alle Fälle nötig sein, die Bestände ein- bis zweimal jährlich zu düngen, wobei bis zur Etablierung und der Erreichung des gewünschten Deckungsgrades höhere Düngergaben verabreicht werden müssten. Diese Düngung sollte aber nicht zu übermäßig erfolgen, da sonst ein unerwünschter mastiger Wuchs der Vegetation erfolgt, der zu möglichen Schäden in der Trockenzeit führt. Düngemaßnahmen sind daher so abzustimmen, dass mit geringem Arbeitsaufwand eine anhaltend zufriedenstellende Bestandsdichte der Vegetation erreicht wird. Auch sollten Umweltbelastungen durch das Auswaschen von Nährstoffen in das Dränwasser so gering wie möglich gehalten werden, da dies zu einer unnötigen Eutrophierung von Gewässern führen würde. Dies ist bei Substraten für Extensivbegrünungen, mit ihrer hohen Wasserdurchlässigkeit häufig der Fall.

Folgerichtig sollte daher stets Depot-Dünger verwendet werden, um die langsam fließenden Nährstoffe überwiegend den Pflanzen zukommen zu lassen bzw. um Auswaschungsverluste zu begrenzen. Diese Depot-Düngemittel könnten bei hohen Niederschlagsmengen aber auch relative hohe Auswaschungsverluste zeigen, da sie Stickstoff nur teilweise in langsam fließender Form, Phosphat und Kali ausschließlich in schnell fließender Form beinhalten. Besser stellt sich dazu ein umhüllter NPK-Dünger dar, der alle enthaltenen Nährstoffe langsam abgibt. Die Aufteilung der gesamten Düngemenge auf 2 Gaben ist gegenüber einmaligen Gaben mit deutlich

geringeren Verlusten verbunden. Die Düngegabe sollten dabei eine Menge von 5 g / m² liegen, wobei die Startdüngung etwas über diesen Wert liegen kann (vgl. FISCHER, JAUCH, Dach+Grün, 2/2002). Die Düngung sollte solange erfolgen, bis sich im vegetationstechnischen Aufbau ausreichend organische Substanz gebildet hat, die infolge von Mineralisation ein stabiles System der Nährstoffnachlieferung sicherstellt. Dies ist laut FISCHER (1995) erst nach 5 Jahren wahrscheinlich. Es wird empfohlen 8-10 g/m²/Jahr umhüllten Depotdünger mit 8 monatiger Wirkungsdauer zu verabreichen (vgl. UPMEIER, Dach+Grün, 3/2007). Um Auswaschungen vorzubeugen, wäre der Einsatz von Zeolithen denkbar, welche Nährstoffe direkt aus der Bodenlösung aufnehmen und speichern. Werden der Bodenlösung durch die Pflanze Nährstoffe entzogen, liefert die Zeolithe dies aufgrund eines Konzentrationsgefälles nach. Dieser Prozess erfolgt bedarfsabhängig von den Bedürfnissen der Pflanze. Die in der Zeolithen gespeicherten Nährstoffe sind von einer Auswaschung während der Regenzeit geschützt und werden auch nicht durch mikrobiologische Prozesse verändert (vgl. UPMEIER, Dach+Grün, 2/2000).

3.5.5 Entfernen von Fremdvegetation und Schädlingsbekämpfung

Der Aufwuchs von Fremdvegetation führt immer wieder zu einer Verschlechterung des ästhetischen Gesamteindrucks auf extensiven Dachbegrünungen. Auch führt ein expansives Flächenwachstum immer wieder zu einem Überwachsen der Bepflanzung. Diese wird dann durch Licht- und Nährstoffkonkurrenz geschwächt oder verdrängt. Das Aufkommen von Unkräutern und Gehölzen hängt vorwiegend von der Substratstärke und einer guten Wasser- und Stickstoffversorgung ab. Je höher der Schichtenaufbau (Drän- und Vegetationstragschicht) ist und je dauerhafter ein mittlerer bis hoher Wassergehalt vorhanden ist, desto leichter siedelt sich Fremdvegetation auf den Dächern an. Dies geschieht meist bei Schichtstärken über 10 cm, welches für extensive Dachbegrünungen eher untypisch ist. Extensive Dachbegrünungen stellen für die meisten Pflanzen einen Extremstandort dar, wobei über den Mangelfaktor Wasser eine Ansiedlung verhindert oder eingeschränkt werden kann. Da Sukkulente an diesen trockenen Standort gut angepasst sind, kann man sie als konkurrenzfähiger gegenüber dem Fremdaufwuchs bezeichnen. Unkräuter verbreiten sich meist über Samen, welche durch Aufwinde am Gebäude auf des Dach gelangen. Aber auch Vogelkot oder der Mensch selbst kann Saatgut

transportieren. Eine flächige Ansiedlung erfolgt aber nur dann, wenn geeignete Standortvoraussetzungen vorhanden sind. Dies wird unter subtropischen Verhältnissen eher in der Regenzeit der Fall sein. Zu dieser Zeit muss darauf geachtet werden, dass es zu keiner Ausbildung von Samen kommt, um ein Weiterverbreiten auf der Vegetationsfläche zu vermeiden.

Unerwünschter Aufwuchs auf den bepflanzten Flächen, Rand- und Sicherheitsstreifen, Sicherheitsrinnen, Kontrollschächten, Dachabläufen und anderen Entwässerungseinrichtungen müssten aber per Hand oder mechanisch entfernt werden, auch wenn es sich um erwünschte Arten handelt.

Eine weitere Gefahr für die gesunde Entwicklung der Pflanzenbestände stellen Schädlinge und Krankheiten dar. In dem Extrembiotop „Extensivdach“ werden sich hauptsächlich mobile Tierarten ansiedeln (wie Insekten und Spinnen), dieses aber nur temporär besiedeln. Es wird zu einer hohen Besiedelungsdynamik kommen und je nach Jahreszeit und Witterung Zu- und Abwanderungsprozesse geben. Eine Bekämpfung mit chemischen Mitteln sollte aus ökologischen Gesichtspunkten bei der Schädlingsbekämpfung aber auf jeden Fall vermieden werden. Besser ist es über eine ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung die Vitalität der Pflanzen so zu stärken, dass ein Schädlingsbefall nicht eintritt. Durch eine höhere Artenvielfalt wird des Weiteren eine Massenvermehrung von einzelnen Tierarten vermieden. Auch sollten eher Pflanzen aus Freilandkulturen eingesetzt werden, da diese deutlich unempfindlicher gegenüber Krankheiten und Witterungseinflüssen sind.

3.6 Absturzsicherung

Pflegearbeiten auf Dächern finden zum überwiegenden Teil in Höhen statt, bei denen eine Absturzsicherung erforderlich ist. Dazu gibt es in Europa gewisse Vorschriften, welche unbedingt eingehalten werden sollten. Von verschiedenen Firmen werden dazu Systeme angeboten, welche je nach Dachneigung und örtlichen Gegebenheiten eingesetzt werden. Diese können entweder temporäre oder ortsfeste Auffangeinrichtungen und Absperrung oder Systeme, bei denen Sicherheitsseile zum Einsatz kommen, sein. Dabei muss immer nach den jeweiligen Vor- und Nachteilen entschieden werden.

So bieten ortsfeste Absturzsicherungen in Form von Seitenschutz an der Dachkante im fest installierten Geländer oder Brüstungen mit einer Höhe von 100 cm den Vorteil, dass sie nicht nur während der Bauphase des Gründaches, sondern auch zu

den späteren Pflegearbeiten vorhanden sind und somit kein individueller Schutz zu treffen ist. Der Nachteil liegt in den Kosten und der optischen Wirkung.

Eine Alternative wäre eine nur für die Dauer der Arbeit angebrachter, nicht ortsfester Seitenschutz aus Gerüstbrettern oder –rohren. Dieser wird mit der Attika fest verbunden. Diese Systeme sind variable einsetzbar und eine optische Beeinträchtigung ist nur während der Arbeit auf dem Dach zu erwarten. Leider muss dieser Seitenschutz mit einem nicht unerheblichen Aufwand auf- und wieder abgebaut werden. Dies erfolgt dann bei jeder Art von Pflegearbeiten auf dem Gründach. Der Kostenaufwand ist dabei mit zu berücksichtigen. Das gleiche gilt auch bei der Verwendung von Arbeits- und Fanggerüsten, welche in Thailand meist aus Bambusstangen gefertigt werden (vgl. MANN, Stadt+Grün, 12/2003).

In Thailand wäre die Verwendung von Sicherheitsseilen sinnvoll, welche an vorhandenen Pfosten, welche im Abstand von 2,5 m angebracht werden, befestigt werden. Diese sind in zwar nur für Pflege- und Wartungszwecke zugelassen, in der Bauphase könnten ohne Weiteres die traditionellen Arbeits- und Fanggerüste zum Einsatz kommen. Bei Arbeiten auf Flachdächern wird es bisweilen nicht nötig sein, Sicherungssystem einzusetzen, da Dächer in Thailand häufig durch Sichtschutzmauern begrenzt werden.



Abb. 37 : Absturzsicherung über Seile
(Quelle: KOLB, 2003)



Abb. 38 : Wiederlager für Absturzsicherung
(Quelle: DITTRICH 2008)



Abb. 39 : Temporäre Absturzsicherung
(Quelle: BÖCKMANN, 2007)



Abb. 40 : Permanente Absturzsicherung
(Quelle: KOLB, 2003)

3.7 Dachbegrünungssysteme

3.7.1 Allgemeine Hinweise

In Deutschland wurden in den letzten Jahren von verschiedenen Herstellern entwickelte Systeme und Bauweisen bei Extensivbegrünungen auf Flach- und Schrägdächern entwickelt. Diese sind durch langjährige Forschung immer weiter verbessert worden. Durch eine effiziente Logistik und ausgefeilte Verfahrenstechnik beim Einbau und dem damit verbundenen günstigen Preis erfreuen sich solche Bauweisen einer immer größeren Beliebtheit. Da viele dieser Systeme auch kostenmäßig in Konkurrenz mit herkömmlichen Dachdeckungsarten liegen, findet die einfache Form der Dachbegrünung zunehmend Verbreitung.

Auch konnten durch den Einsatz von Drän- und Filterschichten, die aus leichtem Kunststoff bestehen und mit einer dünnen Substratschicht und vorkultivierten Vegetationsmatten versehen werden, leichtere Aufbauten eingesetzt werden, welche auf Dächern mit geringer zusätzlicher Dachlast zum Einsatz kommen können. So ist es möglich, große Dachflächen zu Begrünen und einen Effekt bei der Minimierung von Problemen in Stadtgebieten, wie eine hohe Abflussmenge bei Starkregen oder

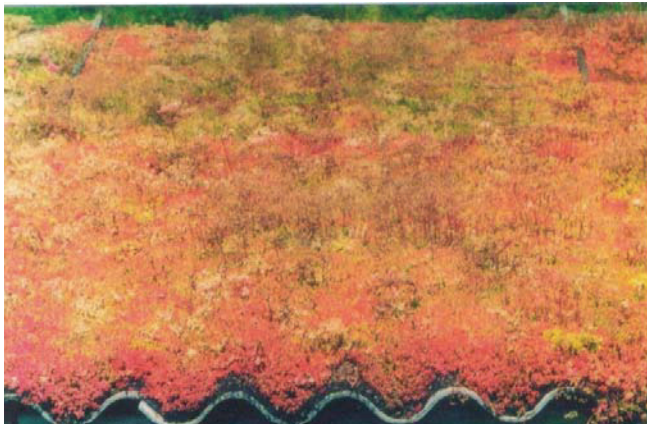


Abb. 41 : Extensive Dachbegrünung auf Wellprofilen aus Faserzement (Quelle: Liesecke 2003)

große Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht, zu erzielen. Insbesondere auf großen Dachflächen, die nicht genutzt und nur wenig begangen werden, z.B. auf Industriebauten, ist ein Einsatz sinnvoll (vgl. HÄMMERLE, Neue Landschaft, 4/98).

Da solche Systeme in Asien noch weitgehend Neuland sind, sollte auf in Mitteleuropa gemachte Erkenntnisse und in Deutschland entwickelte und bewährte Systeme zurückgegriffen und gewonnene Erfahrungen genutzt werden (vgl. LIESECKE, Neue Landschaft, 3/04).

Sollen solche Systeme auf dem thailändischen Markt erfolgreich eingeführt werden, ist darauf zu achten, dass im Anwendungsfall passende, qualitative hochwertige

Substrate, welche schnell und kostengünstig für die Aufbringung verfügbar sind, Verwendung finden. Die Lastannahme bei solchen Systemen sollte auf jeden Fall unter 60 kg/m^2 liegen. Eine Messung erfolgt meist nach drei Vegetationsperioden (vgl. KOLB, Stadt+Grün, 6/2003).

Damit die Dachbegrünung langfristig funktioniert, muss für eine gute Entwässerung gesorgt werden und unter den klimatischen Voraussetzungen in Thailand natürlich auch eine künstliche Bewässerung mit integriert werden. Mehrschichtige Aufbauten sind in Europa häufig anzutreffen, wobei die Einbauhöhe und die Substratzusammensetzung entscheidend für das Pflanzenwachstum sind. Der Systemaufbau muss auf die entsprechende Dachform abgestimmt sein (vgl. REIS, Neue Landschaft, 2/98).

3.7.2 Technische Anforderungen an verwendete Stoffe

Die Stoffe der verwendeten Platten und Matten müssen beständig gegen biologische Einwirkungen und in Wasser gelöste Stoffe sein. Wenn sie ganz oder partiell offen liegen, ist eine UV-Beständigkeit bei intensiver Sonneneinstrahlung, was in Thailand das ganze Jahr der Fall ist, erforderlich. Kommen vorkultivierte Vegetationsmatten mit Trägergeflecht aus Naturfasern, die der biologischen Umsetzung unterliegen, kann darauf verzichtet werden.

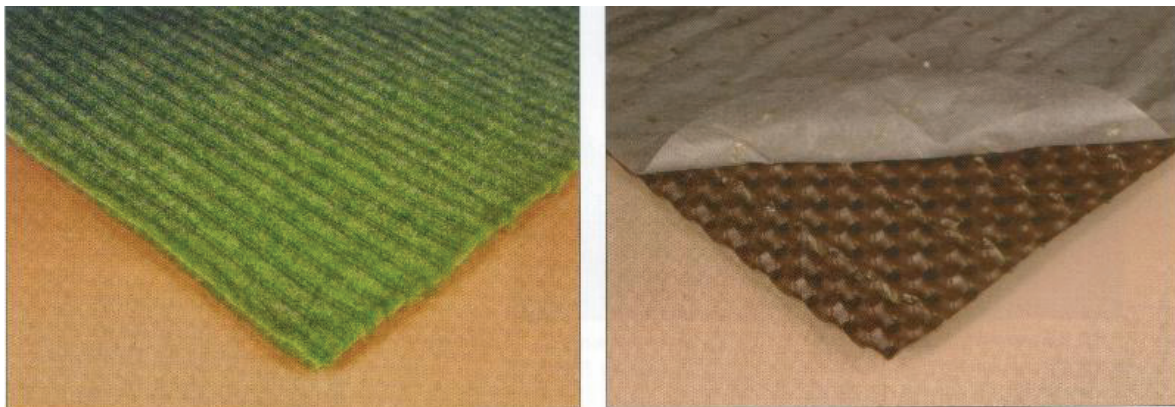


Abb. 42 : Strukturvlies- und Noppenmatten für Dachbegrünungssysteme
(Quelle: LIESECKE 2005)

Ein wichtiger Bestandteil von Dachbegrünungssystemen ist eine Speicherschicht, bei der sowohl Synthefasern aus Polypropylen oder Polyester, aber auch recycelte Stoffgemische mit Naturfaseranteil eingesetzt werden. Um die Wirkung nachhaltig zu gewährleisten, sollte es sich um unverrottbare Stoffe handeln. Dies können Mineralwollmatten aus hydrophil ausgestatteter Steinwolle sein. In Thailand bieten es sich an, Verbundschaumplatten aus recycelten modifizierte Schaumstoff und einem Anteil aus Kokosrinde (Husk-Chips), welche ein einheimisches Naturprodukt darstellt und in großen Mengen verfügbar wäre, einzusetzen. Die Wasserspeicherung dieser Matten ist der Funktion entsprechend hoch, was sich auf die Lastannahme auswirkt. Als Dränschicht werden unterschiedliche Matten und Plattentypen eingesetzt, die beständig gegen physikalische, chemische und biologische Einwirkungen, aber nicht unbedingt UV-stabil sein müssen, da sie von anderen Funktionsschichten überdeckt werden. Sowohl die Lastannahme als auch die Wasserspeicherung sind gering. Nach einer Verfüllung der Profilplatten mit Substrat, reduziert sich die angegebene Wasserspeicherung. Bei der Verwendung muss auf eine gute Durchwurzelbarkeit und mechanische Filterwirksamkeit geachtet werden (vgl. LIESECKE, Dach+Grün, 1/2005).

Wurzelfeste Abdichtungen werden sorgfältig aufgebracht und gegen Beschädigung und Abrutschen geschützt. Als Schutzschicht können Vliese und ähnliches eingesetzt werden.

Wünschenswert, wäre auch ein Einsatz multifunktionaler Vegetationssysteme. Hierbei handelt es sich um ein Konzept, das Aspekte von Investitionsaufwand, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit der konventionellen Dachbegrünungsmethoden optimiert. In Thailand könnte der Einsatz von Isolationen aus Kunststoff unter den Begrünungssystemen, zu einer Optimierung der Energiebilanz von klimatisierten Gebäuden entscheidend beitragen (vgl. DÖRRIES, Zens, Garten+Landschaft, 10/2003).

Vorgefertigte Systeme und Produkte sind immer auf den jeweils spezifischen Extremstandorte anzupassen und Experten, welche mit dem Thema vertraut sind, sollten dabei zu Rate gezogen werden.

3.7.3 Dachbegrünungssystem auf Schrägdächern

Werden Dachbegrünungssysteme auf Schrägdächern mit einer Neigung über 10 Grad eingesetzt, muss eine stabil ausgeführte Traufbohle oder ähnliches als Widerlager für das Substrat hergestellt sein. Die Dimensionierung ist auf die zu erwartenden einwirkenden Kräfte abzustimmen. Es sollten auch Drän- und Wasserspeichernde Maßnahmen zum Einsatz kommen. Auch entsprechende ausgebildete und zugfeste Krallgewebe als zusätzliche Schicht könnten alternativ aufgebracht werden. Ihre Fixierung muss dauerhaft stabil mittels Klemmprofilen erfolgen, wobei eine Verträglichkeit der verschiedenen Stoffe zu überprüfen ist. Eine Verlegung über den First hinweg ist, soweit möglich empfehlenswert. Die Zugfestigkeit des zu verwendeten Gewebe muss der zu erwartenden Last gerecht werden und ein statischer Nachweis zu erbringen. Übersteigt die Neigung 15 Grad sollten zu den vegetationstechnischen Maßnahmen, konstruktive Maßnahmen vorgesehen werden, welche stets dauerhaft und nicht temporär herzustellen sind. Temporäre Elemente sind zum Beispiel Holzroste und -gitter, die unter den extremen Witterungsbedingungen in Thailand durch häufigen Termitenbefall oder Fäulnis ihre Funktion nicht mehr wahrnehmen könnten. Ein möglicher Weg dies zu verhindern, wäre der Einbau unter der Dachabdichtung, wodurch sie dem Regenwasser und der hohen Luftfeuchtigkeit während der Regenzeit nicht unmittelbar ausgesetzt wären. Auch könnte durch eine Imprägnierung ein Befall durch Insekten verhindert werden. Die angebrachten Schubswellen dürfen die Dachabdichtung und -entwässerung auf keinem Fall beeinträchtigen. Werden sie als rasterförmiges System eingesetzt, bedürfen die Schubswellen Widerlager, deren Anzahl und Dimensionierung entsprechend der Dachlänge vorzusehen ist. Auch könnten Schubsicherungsplatten verwendet werden, welche Kammern in unterschiedlicher Form, wie zum Beispiel Waben, aufweisen, welche mit Substrat gefüllt werden, und es so vor dem Abrutschen bewahren. Abhängig von der Dachlänge, -neigung und zu erwartenden Gesamtlast können zusätzliche Widerlager innerhalb der Dachfläche notwendig werden. Schubsicherungselemente sind nicht als Ersatz für Erosionsschutzmaßnahmen zu sehen. Insbesondere der Traufbereich muss bei Steildächern mit einer Möglichkeit zur Dränung des anfallende Wassers ausgestattet sein. Die Dimensionierung dieser Maßnahmen muss die zu erwartende Niederschlagsmenge, welche in der Regenzeit erheblich sein kann, und die

Dränlänge berücksichtigen. Hier können Dränrohre, Rinnen oder Ähnliches mit einer Kiesüberdeckung in Frage kommen. Erosionsschutzmaßnahmen können aus Schutzgewebe aus dauerhaften Kunststoff, z.B. Nylonnetzen oder der Naturfaser Kokos bestehen. Nylonnetze werden in Thailand häufig für die Beschattung von Pflanzfläche verwendet und stehen in unterschiedlichen Stärken zur Verfügung. Die Naturfaser Kokos ist auch ein natürliches Produkt, welches vor Ort zum Einsatz kommen könnte. Diese Erosionsschutzmaßnahmen sollten mindestens mit einer Dauerhaftigkeit von mindestens zwei Jahren ausgeführt werden. Eine Fixierung des Substrates mit Kleber oder Bodenfestiger ist ebenfalls möglich. Auch vorkultivierte Vegetationsmatten mit geeigneten Trägermaterialien bieten einen ausreichenden Erosionsschutz.

Die konstruktive Maßnahmen müssen mindestens 3 Zentimeter mit Substrat, jedoch mindestens doppelt so hoch wie der Durchmesser des Grobkorn misst, bedeckt sein. Dies ist im besonderen Maße bei nicht UV-beständigen Materialien, wie Folien und Vliese, zu gewährleisten. Die Berechnung der Dimensionierung sollte auf jeden Fall über eine Statiker erfolgen (vgl. THOMAS, Dach+Grün, 2/2007).



Abb. 43 : Geschlitztes Dachtraufprofil
(Quelle: Appl 2004)



Abb. 44 : Georaster Elemente,
(Quelle: Appl, 2004)



Abb. 45 : Entwässerung



Abb. 46 : Schubschwelle und Dachabdichtung

3.8 Planungshinweise

Um Gründächer in Thailand erfolgreich zu begrünen, ist es erforderlich schon in der Planungsphase bestimmte Grundsätze einzuhalten. Für den Erfolg ist das Zusammenspiel zwischen Bauherr, Planer und die kooperierenden Fachbetrieben sehr entscheidend. So sollte neben der geringen Dachlast auch ein ökonomischer Kostenaufwand beim Bau und der späteren Pflege der Begrünung im Fokus der Planung stehen. So sollten die eingesetzten Produkte so aufeinander abgestimmt sein, das sich eine Sicherheit für den Planer, Bauherrn und Ausführungsbetrieb bieten. Neben der Finanzierbarkeit sehen bei der Umsetzung vor allem die Erfahrungen des Planers und des ausführenden Garten- und Landschaftsbaubetriebes im Vordergrund. Somit kann der Kostenaufwand für Personal, Maschinen, Geräte und Stoffe gering gehalten werden. Dazu ist es erforderlich, das sich der Planende und Ausführende die erforderlichen Fachkenntnisse aneignet. Leider gibt es in Thailand nur ausreichende Erfahrung im Umgang mit intensiven Dachbegrünungen. Doch könnten daraus gewisse Grundsätze und Empfehlungen für eine extensive Begrünung abgeleitet werden. Auch spielt die Forschung an Hochschulen und Institutionen eine wichtige Rolle um spätere Planungsfehler zu vermeiden. Diese sollten sich vor allem auf Material, Pflanzenverwendung und Pflegemaßnahmen konzentrieren. Die Baustelleneinrichtung und Planung der Ausführung, womit der Transportaufwand, welcher sich nach Geschosshöhe und Erreichbarkeit des Grundstückes bzw. Größe der Dachfläche richtet, sollte in enger Zusammenarbeit mit Universitäten geschehen, damit spätere Normen und Richtlinien erarbeitet werden können.

3.9 Kosten

Die Kosten sind ein entscheidender Faktor um extensive Dachbegrünungssysteme erfolgreich auf dem thailändischen Markt einzuführen. Substrat und Pflanzen stellen den wesentlichsten Kostenfaktor bei der Extensivbegrünung dar (vgl. KOLB, Neue Landschaft, 10/95). In dieser Position sollte eine optimale Schnittmenge aus Verwendung, Qualität und Preis ermittelt werden. Durch die Wahl des richtigen Substrates und Pflanzenarten kann Planer schon in der frühen Bauphase eventuelle spätere Kosten sparen. Dabei ist die einfachste und billigste Bauweise nicht immer die Beste, da es zu hohen Folgekosten bei der Unterhaltspflege kommen kann. Auch sind spätere Bauschäden und ein Ausfall der Vegetation zu vermeiden. Die Herstellungs- und Einbaukosten stellen am Anfang den größten Faktor für den Bauherren oder Hausbesitzer da. In Europa werden diese durch Kommunen und Bundesländer bezuschusst, um den Mehrkostenaufwand gegenüber konventionellen Dachabdeckungen so gering wie möglich zu halten. Zu diesen Mehrkosten gehören neben einem möglichen Mehraufwand für statische Verbesserungen an der Dachkonstruktion welche sich aus einer erhöhten Dachlast ergeben auch erhöhte Frachtkosten für Substrate. Diese können dadurch verringert werden, das sie aus regionalen Erdwerken stammen oder regional verfügbare Zuschlagsstoffe (z.B. Recyclingstoffe) verwendet werde.

Die Kostenersparnisse für den Auftraggeber sind aber nicht immer eindeutig kalkulierbar. Auf jeden Fall sollte eine Kosten-Nutzen Analyse durchgeführt werden, um die Mehrkosten, welche nicht über Bezuschussung von Kommunen ausgeglichen werden zu rechtfertigen.

Auch die positiven Wirkung auf das Stadtklima und eine der Verminderung von Problemen im urbanen Bereichen, wie die Verringerung der Regenwasserabflussmengen und die Verbesserung der Lebensqualität sind finanziell nicht immer eindeutig kalkulierbar. Diese könnten nur über wissenschaftliche Studien und Modelprojekte verdeutlicht werden.

4 Projektbeschreibungen

Aus den vorangegangenen Erörterungen geht hervor, dass für eine erfolgreiche Umsetzung der aus Mitteleuropa stammenden Idee der extensiven Dachbegrünung eine ganze Reihe von Vorüberlegungen getroffen werden müssen. Neben der Auswahl geeigneter Substrat und Pflanzenarten sowie Pflegemaßnahmen, sollten auch ökonomische und ökologische Gesichtspunkte eine Rolle spielen. In Thailand liegen bisher wenige Forschungsergebnisse zur Dachbegrünungen vor. Wenn Untersuchungen vorgenommen wurden, dann beschäftigen sie sich meist mit Intensivbegrünungen, welche aber in punkto Substrat, Pflanzenverwendung und Pflege nicht unbedingt mit extensiv begrünten Dächern vergleichbar sind. Es ist dringend erforderlich Forschungsprojekte gerade in diesem Bereich der extensiven Dachbegrünung durchzuführen, damit die Form der Bauwerksbegrünung ein wichtiger Bestandteil der Stadtökologie des urbanen Raums werden kann. Auch müssen ökologische, ökonomische und sozialen Vorteile von Extensivbegrünungen wissenschaftlich belegt werden, um sie als flächendeckende und nachhaltige Form der Bepflanzung unter subtropischen Bedingungen einzusetzen. Man sollte sich dabei im ersten Schritt vorwiegend auf Themen konzentrieren, in denen eine nachhaltige, flächendeckende Begrünung mit einem möglichst geringen Pflegeaufwand und einer trotzdem ansprechend aussehenden Pflanzendecke erstellt werden kann. Wird dieses mit ökonomisch sinnvollen und umsetzbaren Maßnahmen erreicht, könnten dann an weiteren Demonstrationsanlagen alle in Mitteleuropa bekannten Vorteile für den städtischen Raum in Thailand wissenschaftlich belegt werden.

Erste Erfahrungen mit extensiven Dachbegrünungen wurden in punkto Substrat und Pflanzen bereits an zwei Universitäten im Rahmen eines Forschungsprojektes im Nordosten Thailands gesammelt. Dazu wurden Versuchsflächen auf Flachdächern angelegt und mit verschiedene Pflanzenarten, welche an den trockenheißen Standort Dach angepasst sind, bepflanzt. Zusätzlich sollten über die Messung der Quantität der abgeflossenen Regenwassermengen Rückschlüsse auf den möglichen Wasserrückhalt der Dachflächen unter subtropischen Bedingung gezogen werden. Da es noch keine Erfahrungen mit extensiven Dachbegrünungen im Nordosten Thailand gemacht wurden, dienten diese Versuche auch dazu, erste Erkenntnisse zu sammeln und durch eine Demonstrationsanlage zu veranschaulichen.

4.1 Lage

Die Untersuchungsflächen befinden sich in der Provinzhauptstadt Maha Sarakham im Nordosten Thailands. Diese Region wird auch umgangssprachlich als „Issan“ bezeichnet. Die Region besteht i.W. aus einem flachen Becken, dem Koratplateau, welches rund ein Drittel der regionalen Landesfläche einnimmt und vom Mekong-Tal begrenzt wird. Das Plateau prägt die gesamte Nordostregion und wird durch angrenzende Bergzüge eingefasst.

Die Stadt Maha Sarakham befindet sich im Zentrum des „Issan“, etwa 430 km nordöstlich von Bangkok, ist Hauptstadt der gleichnamigen Provinz und Bildungszentrum des Nordostens. Hier leben rund 200 000 Menschen, die entweder in den zahlreichen Bildungseinrichtungen, im Handel und in der Landwirtschaft tätig sind oder hier studieren. Das alte Hochschulgelände der RMU, mit der Versuchsfläche des ersten Projektes, liegt etwa 3 km westlich der Innenstadt von Maha Sarakham. Die Versuchsfläche des zweiten Projektes wurden auf dem neuen Campusgeländes der Maha Sarakham Universität etwa 10 km nördlich der Innenstadt angelegt.



Abb. 47 : Luftbild Maha Sarakham, Lage der Universitäten (Quelle: Google Earth, 2007)

4.2 Forschungsprojekt an der Rajabhat Maha Sarakham Universität

Während der Jahre 2005 bis 2007 wurden in Maha Sarakham zwei Forschungsprojekte durchgeführt. Bei der ersten Versuchfläche, welche sich zwischen März 2005 und Juni 2006 auf dem Dach des Gebäudes der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Rajabhat Maha Sarakham Universität befand, sollten erste Erkenntnisse zur Pflanzenverwendung auf einem dünn-schichtigen, nährstoffarmen Substrat mit unterschiedlicher Mächtigkeit geliefert werden. Dazu wurden Demonstrationspflanzungen mit sechs handelsüblichen Sukkulentearten durchgeführt. Es sollte festgestellt werden, ob diese unter den subtropischen Bedingungen im Nordosten Thailands, mit der bereits genannten Trocken- und Regenzeit, überleben und einen ausreichenden Deckungsgrad erzielen. Zusätzlich wurden die täglichen Niederschlagsmengen in Liter pro Quadratmeter bestimmt. Das von den vier Versuchflächen abfließende Überschusswasser wurde separat in großen Zisternen gesammelt, um die zurückgehaltene Menge des Regenwassers, welches auf die Versuchflächen niederging, zu ermitteln.



Abb. 48 : Luftbild Rajabhat Maha Sarakham Universität, Lage der Versuchflächen
(Quelle: Google Earth, 2007)

4.2.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsflächen befanden sich auf dem nördlichen Teil des Daches, welches den Anbau des Gebäudes der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften bedeckt. Das gesamte Flachdach umfasst eine Fläche von rund 300 m² (19 x 16 m) und weist ein Gefälle von 2 % auf. Die Entwässerung erfolgt über eine 50 cm breite, das gesamte Dach umlaufende Rinne, welche alle 4 m mit einem Abfluss versehen ist. Die Abflussrohre reichen bis in das Erdgeschoss und verlaufen vor der Fassade. Die Rohre enden etwa 3 m über dem Erdboden und entwässern in die angrenzenden Flächen.



Abb. 49 : Vorbau der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (RMU)



Abb. 50 : Dachfläche des Vorbaus (RMU)



Abb. 51 : Bepflanzte Versuchsflächen (RMU), Dezember 2005

Die Versuchsanlage selbst bedeckt rund 72 m² (5 x 14,4 m), also mit rund 23 % etwa ein Viertel der Dachoberfläche und ist in vier Teilflächen durch 30 cm hohe Bohlenbretter getrennt. Jede Teilfläche umfasst jeweils 18 m² (5 x 3,6 m), wobei auf drei Teilflächen, jeweils 13,5 m² als Pflanzfläche genutzt werden. Die vierte Fläche dient als Vergleichsfläche ohne Pflanzsubstrat. Für die Entwässerung der Flächen wurde ein 20 cm breiter Streifen aus gebrochenen Steinen angelegt, der über einen Spalt mit der anschließenden Rinne verbunden ist. Der Streifen aus Steinen bedeckt eine Fläche von 2 m² und die anschließende Rinne von 2,5 m² die gerahmten einzelnen Versuchsfelder ab.

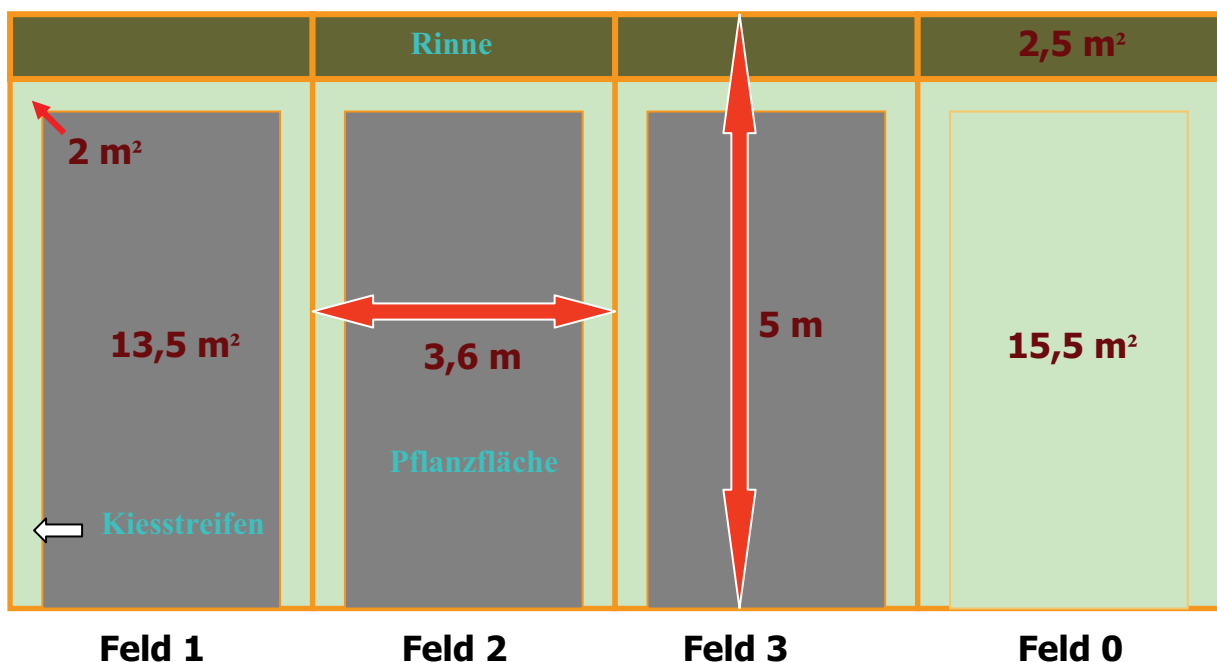


Abb. 52 : Plan, Versuchsaufbau (RMU)

Die in einschichtiger Bauweise erstellten Pflanzflächen sind jeweils in 12 Einzelflächen unterteilt und durch umlaufende schmale Ziegel (9 x 6 x 13 cm) von einander getrennt worden, so dass sich je Fläche 12 Parzellen mit einer Kantenlänge von 1x1 m ergeben. Die 1 m² großen Parzellen haben unterschiedliche Substratmächtigkeit von 4, 7 und 10 cm. Auf jeder Pflanzfläche wurden nur zwei Substrathöhen aufgebracht, welche sich durch die umlaufende, 3 cm tiefer gelegene und ein Meter breite Stufe im Dach ergibt.

Die Durchschnittliche Substrathöhe der Fläche 1 beträgt 8.5 cm, der Fläche 2.4 cm und der Fläche 3, 7.75 cm.

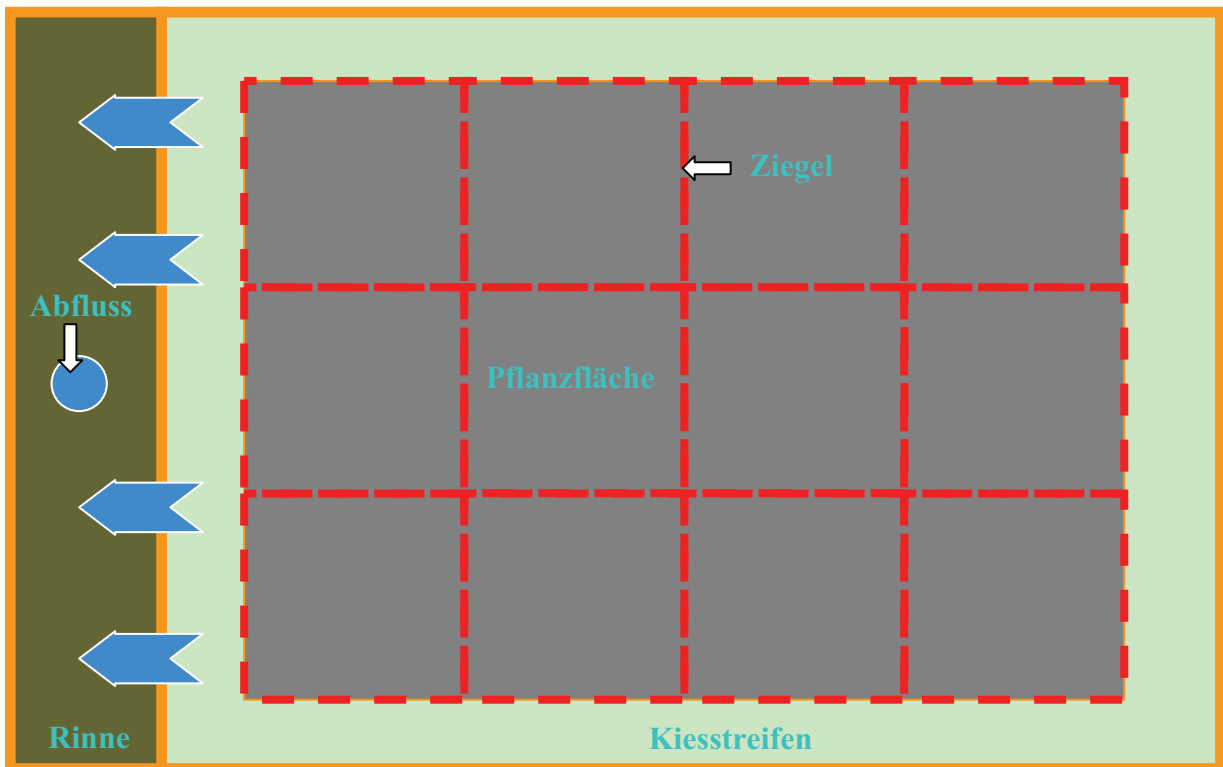


Abb. 53 : Plan, Teilfläche (RMU)

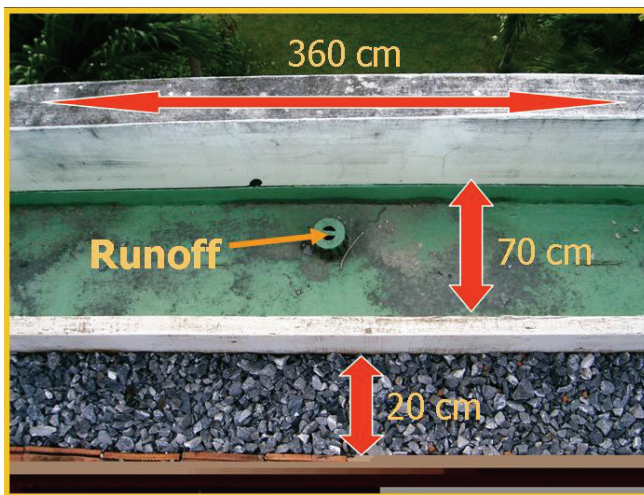


Abb. 54 : Rinne mit Abfluss und anschließenden Kiesstreifen

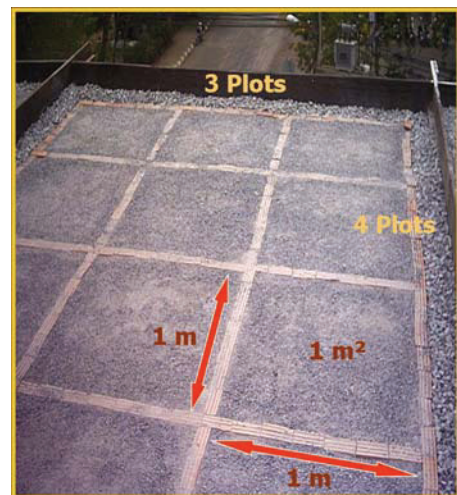


Abb. 55 : Blick auf unbepflanzte Teilfläche

4.2.2 Substrat

Das Substrat, welches aus einem grobkörnigen gebrochenen Kies-Sand-Gemisch mit einem sehr geringen Schlemmanteil besteht, wurde von einem lokalem Mischwerk angeliefert und entspricht in seiner Zusammensetzung den Richtlinien der FLL für extensive Dachbegrünungssubstrate. Die Sieblinie ist in Abbildung 56 dargestellt. Ein Anteil an organische Substanz ist nicht vorhanden. Das Substrat wurde unverdichtet, parallel zur Dachoberfläche aufgebracht.

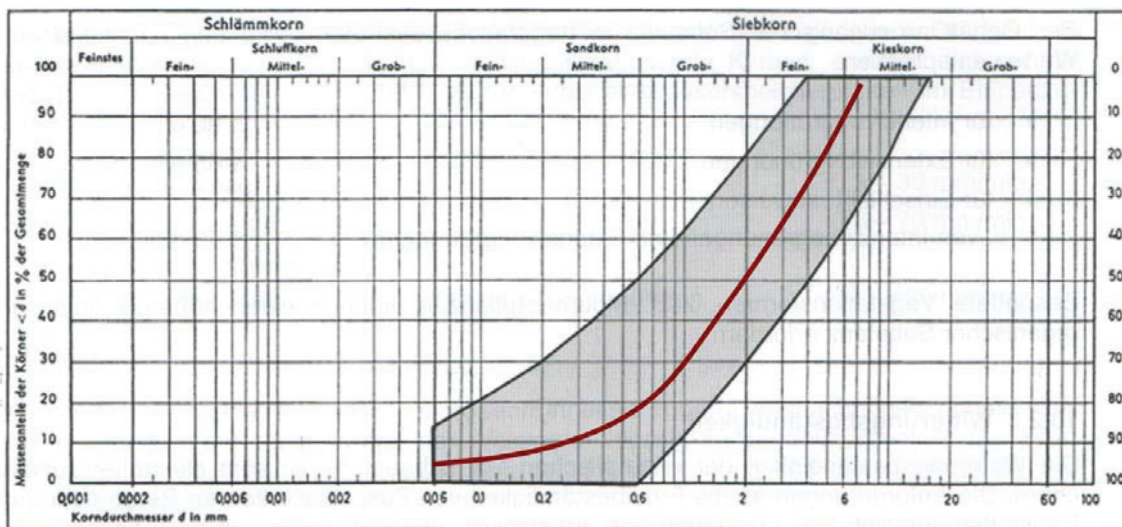


Abb. 56 : Sieblinie des verwendeten Substrates auf der Grundlage des Korngrößenverteilungsbereiches für Vegetationssubstrate bei Extensivbegrünungen (Quelle: FLL, 2008)

4.2.3 Bepflanzung

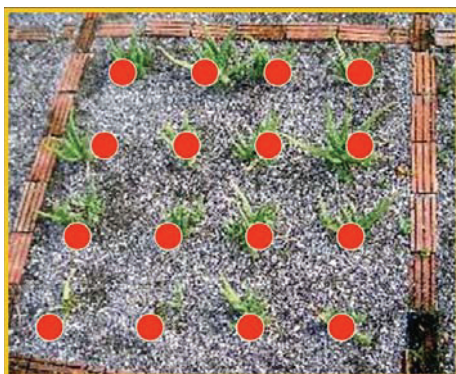
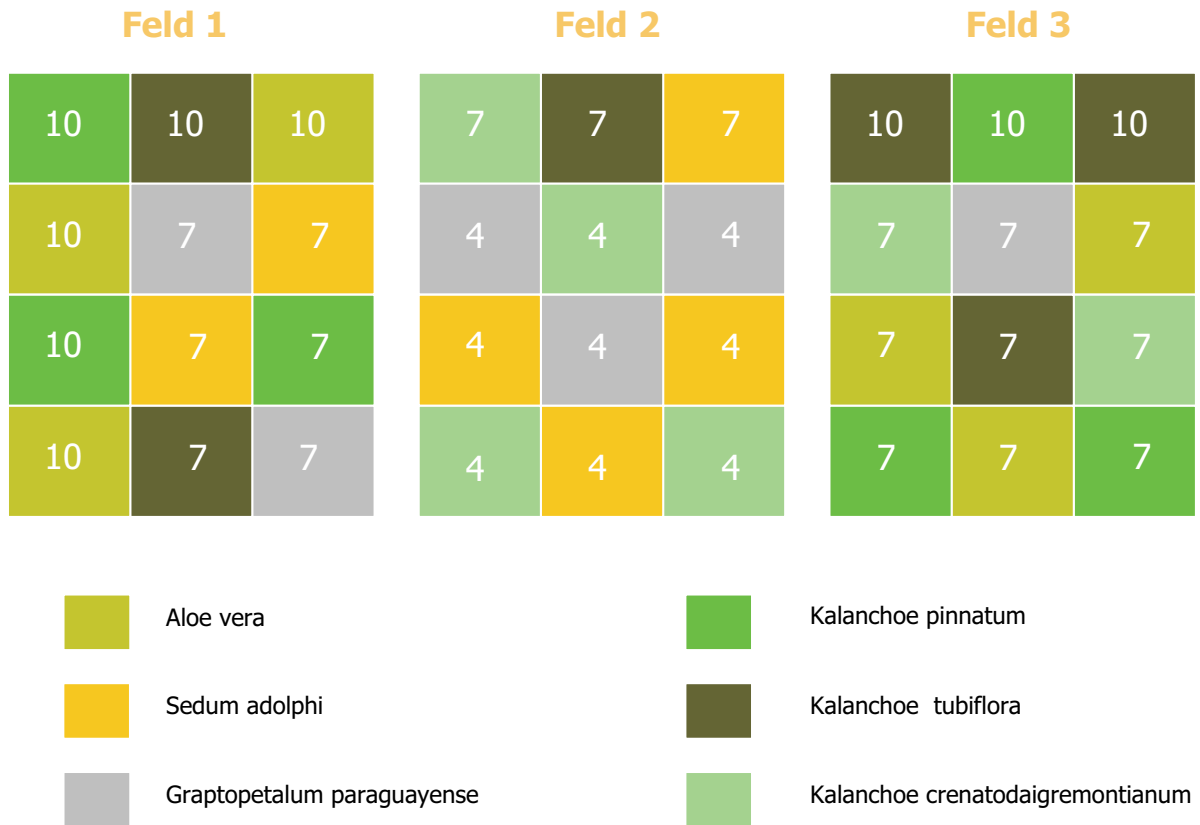


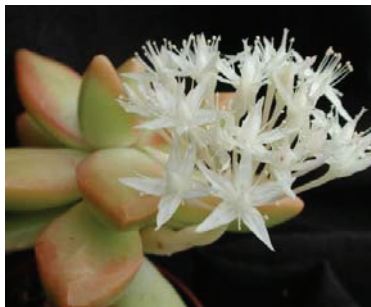
Abb. 57 : Pflanzschema einer Einzelfläche (RMU)

Die Einzelflächen wurden mit jeweils sechs im Handel erhältlichen Sukkulentenarten bepflanzt. Pro Fläche wurden 16 Ballenpflanzen der gleichen Art im Abstand von 25 cm gesetzt.

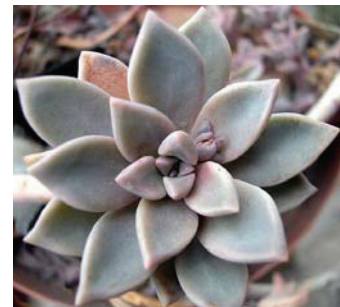
Neben einer Art der Gattung Aloe kam eine Art der Gattung Sedum und eine Art der Gattung Graptopetalum zum Einsatz. Zusätzlich wurden drei weitere Arten der Gattung Kalanchoe getestet. Die Artnamen, sowie die Substrathöhen sind der folgende Abbildung 58 zu entnehmen.



Aloe vera



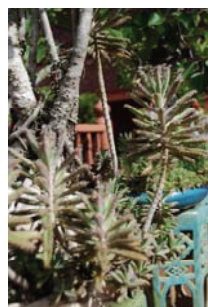
Sedum adolphi



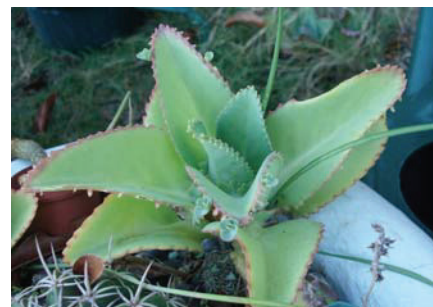
Graptopetalum paraguayense



Kalanchoe pinnatum



Kalanchoe tubiflora



Kalanchoe crenatodaigremontianum

Abb. 58 : Pflanzplan mit Substrathöhen sowie Artnamen und Abbildungen der verwendeten Arten (RMU)

4.2.4 Pflege

Nach der Fertigstellung der Bepflanzung im Mai 2005 erfolgte auf Grund der spät einsetzenden Regenzeit eine intensive zweimonatige Fertigstellungspflege, die neben der substratsättigenden Bewässerung über einen Schlauch, welche wöchentlich wiederholt wurde, auch eine einmalige Düngung im Juni 2005 mit handelsüblichen Dünger umfasste. Die Menge betrug 8 g/m^2 und bestand aus einem umhüllter NPK-Dünger mit einem Wirkungszeitraum von 6 Monaten. Während der Regenzeit zwischen August und Oktober wurde nur nach längeren Trockenphasen bewässert. Nach der Regenzeit von Dezember bis Mai wurde zum Schutz der Pflanzung vor zu starker Sonneneinstrahlung ein Netz mit einer Durchlässigkeit von 50 % über die gesamte Vegetationsfläche gespannt.

Mit dem Einsetzen der Trockenzeit im November erfolgte eine weitere wöchentliche substratsättigende Bewässerung zwischen November 2005 und März 2006. Danach wurden die Pflegemaßnahmen eingesellt, um die Wirkung einer längere Trockenphase auf die Entwicklung der Pflanzen zu testen. Eine Entfernung von Fremdaufwuchs musste nicht erfolgen, da dieser sich nicht Dauerhaft auf den Flächen etablieren konnte.



Abb. 59 : Schattennetz (RMU)



Abb. 60 : Bewässerung der Teilflächen (RMU)

4.3 Durchführung der Untersuchungen

4.3.1 Niederschlagsmessung

Die Niederschlagsmenge wurde in der Regenzeit des Jahres 2005 zwischen Juni und November nach jedem Regenereignis in den Morgenstunden des darauf folgenden Tages vom Monitor des HOBO Event Loggers abgelesen und notiert. Der HOBO Event Logger registriert mit einem Kippzähler den Niederschlag und überträgt jede Kippung, welche eine Volumeneinheit von 0,01 in (1 inch = 0,254 mm) entspricht, über Funk an einen Monitor. Auf dem Monitor kann die Niederschlagsmenge der letzten 24 h abgelesen werden.

4.3.2 Abflussmenge

Zur Ermittlung der Regenwasserabflussmenge der vier Teilflächen, wurde das überschüssige Regenwasser in einer Zisterne (Fassungsvermögen 2000 l), welche sich ebenerdig im Erdgeschoss des Gebäudes befanden, gesammelt. Diese Zisternen wurde über einen Schlauch mit dem Abflussrohren des Daches verbunden. Dabei wurde jeder der vier Teilflächen eine Zisterne zugeordnet. Die gesamte Menge des Regenwassers einer Teilfläche floss in die jeweils zugeordnete Zisterne. In den Zisternen wurde an einer Skala die jeweilige eingeleitete Menge abgelesen und anschließend das Wasser durch einen Verschlussahn im unterem Bereich abgelassen. Die Ermittlung der abgeflossenen Wassermenge erfolgte jeweils zur selben Zeit wie die Niederschlagsmessung.



Abb. 61 : Zisternen (RMU)



Abb. 62 : Skala in Zisterne (RMU)

4.3.3 Pflanzenentwicklung

Die Entwicklung der Pflanzen wurde während der Entwicklungspflege zwischen Juni 2005 und März 2006 alle drei Monate bonitiert. Nach der Beendigung der Fertigstellungspflege Ende März 2006 erfolgte drei Monate später eine Überprüfung der Entwicklung und der Anzahl der abgängigen Pflanzen im Juni 2006. Eine weitere Erfassung der Entwicklung der Pflanzen mit der Ermittlung der Anzahl der abgängigen Pflanzen pro Quadratmeter wurde nach 12 Monaten im Juni 2007 durchgeführt.



Abb. 63 : Teilflächen im Dezember 2005 (RMU)

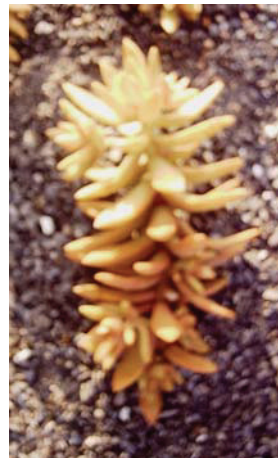


Abb. 64 : *Sedum adolphii*



Abb. 65 : *Aloe vera*



Abb. 66 : *Kalanchoe pinnatum*

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Niederschlags- und Abflussmenge

In Tabelle 2 werden die jeweiligen monatlichen Niederschlags- und Abflussmengen pro m^2 und Teilfläche dargestellt. Die Menge an abgeflossenen Niederschlagswasser für den jeweiligen Monat ist in Liter pro Quadratmeter angegeben. Auf der Fläche 1 lag sie im August am höchsten und im Oktober am niedrigsten. Dies ist auch bei der Fläche 2 und 3 zu beobachten. Die größte Menge an Niederschlag fiel im August 2005 mit 255 l, der geringste im November mit 47 l. Beim Vergleich der gesamten Abflussmenge der einzelnen Flächen fällt folgendes auf. Fläche 0, deren Oberfläche nicht mit Substrat und einer Pflanzung versehen wurde, weist mit 500 l die höchste durchschnittliche Abflussmenge auf. Von der Fläche 3 floss mit 378 l die geringste Menge an Niederschlagswasser ab. Fläche 1 und Fläche 2 liegen mit 423 l und 467 l zwischen den beiden Werten von Fläche 3 und Fläche 1.

Monat	Menge an Abfluss in l / m^2 Fläche 1	Menge an Abfluss in l / m^2 Fläche 2	Menge an Abfluss in l / m^2 Fläche 3	Menge an Abfluss in l / m^2 Fläche 0	Niederschlagsmenge in l / m^2
JUNI	53	65	45	78	140
JULI	124	123	101	147	233
AUG	136	158	121	157	255
SEP	96	105	96	90	186
OKT	5	6	5	14	51
NOV	9	10	10	14	47
Total	423	467	378	500	912

Tab. 2: Monatliche Regenwasserabflussmenge der einzelnen Teilfläche im Vergleich mit der Niederschlagsmenge in l / m^2 (RMU, Juni 2005 bis November 2005)

In der Tabelle 3 wird die Abflussmenge in das Verhältnis zur gesamten Regenmenge, welche pro Monat gefallen ist, gesetzt. Daraus ergibt sich der prozentuale Regenrückhalt. So flossen von Fläche 1, mit einer durchschnittlichen Substrathöhe von 8,5 cm, im Durchschnitt nur 37 Prozent der gefallenen Regenmenge in die Zisterne. Bei der Fläche 2, mit der geringsten, durchschnittlichen Substratstärke von 4 cm, lag sie bei 42 Prozent und bei Fläche 3 mit der durchschnittlichen Substratstärke von 7,75 cm bei 34 Prozent. Von der Versuchfläche ohne Substratauflage flossen im Durchschnitt 48 Prozent der gesamten Regenmenge ab.

Monat	Abflussmenge im Verhältnis zur gesamten Regenmenge in %	Abflussmenge im Verhältnis zur gesamten Regenmenge in %	Abflussmenge im Verhältnis zur gesamten Regenmenge in %	Abflussmenge im Verhältnis zur gesamten Regenmenge in %	gesamte Regenmenge in l pro m ²
	Fläche 1	Fläche 2	Fläche 3	Fläche 0	
JUNI	38	47	32	56	140
JULI	53	53	43	64	233
AUG	53	62	47	62	255
SEP	51	57	51	48	186
OKT	10	11	10	28	51
NOV	18	22	21	29	47
Average	37	42	34	48	912

Tab. 3: Monatliche Regenwasserabflussmenge im prozentualen Verhältnis zur gesamten Regenmenge (RMU, Juni 2005 bis November 2005)

Vergleicht man die durchschnittlichen Regenmengen, welche normalerweise in dieser Region fallen, mit denen des Versuches (siehe Tabelle 4), lässt sich erkennen, dass im Juli, September und Oktober die Regenmengen von 2005 weit unter den Normalwerten lagen, obwohl die Anzahl der Regentage ungefähr gleich blieb. Nur im Oktober fiel an vier Tagen Regen, was 50 Prozent des Normalwertes entspricht. Im Juli und August liegen die Regenmengen i.d.R. etwas höher als der Durchschnitt. Die Anzahl der Regentage lag aber im Juli 2005 doppelt so hoch. Im November fielen an zwei Regentage mit 47 l fünfmal mehr Regen als in den Jahren 1970 bis 1998 als Durchschnittswert angegeben sind.

Art	Monat												Jahr
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Niederschlag (mm)	5	12	29	59	172	214	213	242	257	92	9	4	1970-1998
Regentage	0.5	1.5	2	4	9	7	8	10	12	8	1	0.3	1970-1998
Niederschlag (mm)						140	233	255	186	51	47		2005
Regentage						8	17	11	12	4	2		2005

Tab. 4: Mittlere monatliche Klimadaten der Huay Sithon Versuchsstation für Niederschlag und Regentage (1970-1998) im Vergleich zu den erhobenen Werten von 2005

Quelle: Royal Irrigation Department (2000)

4.4.2 Pflanzenentwicklung

Aus der Tabelle 5 geht die Mortalitätsrate für die einzelnen Pflanzenarten während der Fertigstellungspflege zwischen Juni 2005 und März 2006 hervor. Sie lag bei *Craptopetalum paraquayense* bei einer Substrathöhe von 7 cm am 1. März 2006 mit 27 Prozent am höchsten. Bei den anderen Arten fielen mit höchstens 10 Prozent nur einige Pflanzen aus. Bis Dezember 2005 starb nur 1 Pflanze der Art *Sedum adolphi* und insgesamt 4 Pflanzen der Art *Graptopetalum paraquayense*.

Artname	Schichtdicke	Mortalität in % 1. Dez. 2005	Mortalität in % 1. Mär. 2006
Sedum adolphi	4 cm	2	10
	7 cm	0	4
Graptopetalum paraquayense	4 cm	2	12
	7 cm	10	27
Kalanchoe crenatodaigremontianum	4 cm	0	2
	7 cm	0	0
Kalanchoe pinatum	7 cm	0	4
	10 cm	0	0
Kalanchoe tubiflora	7 cm	0	2
	10 cm	0	0
Aloe vera	7 cm	0	0
	10 cm	0	0

Tab. 5: Mortalitätsrate der eingesetzten Pflanzen im Dezember 2005 und März 2006 während der Fertigstellungspflege zwischen Juni 2005 bis März 2006 (RMU)

Aus Tabelle 6 geht die Mortalitätsrate drei Monate nach der Beendigung der Fertigstellungspflege im Juni 2006 und ein weiteres Jahr später im Jahre 2007 hervor. Sie liegt nur bei *Kalanchoe crenatodaigremontianum*, *Kalanchoe pinatum* und *Aloe vera* am 1. Juni 2006 unter 20 Prozent. Beim Rest der eingesetzten Pflanzenarten vielen ein Viertel bis ein Drittel der Pflanzen schon nach drei Monaten ohne Bewässerung aus. Deutlicher wird die Ausfallrate ein weiteres Jahr später im Juni 2007. So sind *Sedum adolphi* und *Graptopetalum paraquayense* nicht oder nur noch mit wenigen Exemplaren vertreten, bei *Kalanchoe tubiflora* sind es nur noch 30 bis 40 Prozent. Bei *Kalanchoe pinatum* vielen nur bei einer Substrathöhe von 7 cm ein Drittel der Pflanzen aus, auf 10 cm 14 Prozent. Am Besten kam *Aloe vera* mit den Bedingungen auf dem Dach ohne zusätzliche Bewässerung klar. Hier liegt die Ausfallquote im Juni 2007 bei 10 bis 20 Prozent.

Artname	Schichtdicke	Mortalität in % 1. Jun. 2006	Mortalität in % 1. Jun. 2007
Sedum adolphi	4 cm	37	100
	7 cm	37	96
Graptopetalum paraguayense	4 cm	31	98
	7 cm	31	81
Kalanchoe crenatodaigremontianum	4 cm	18	69
	7 cm	18	33
Kalanchoe pinatum	7 cm	25	31
	10 cm	24	14
Kalanchoe tubiflora	7 cm	12	69
	10 cm	6	58
Aloe vera	7 cm	10	10
	10 cm	12	20

Tab. 6: Mortalitätsrate der eingesetzten Pflanzen im Juli 2006 und im Juli 2007 nach der Fertigstellungspflege



Abb. 67 : Graptopetalum paraguayense



Abb. 68 : Sedum adolphi



Abb. 69 : Kalanchoe tubiflora



Abb. 70 : Kalanchoe crenatodaigremontianum

4.5 Auswertung

4.5.1 Abflussmenge

Vergleicht man die Abflussmengen der einzelnen Flächen, ist ein geringer Unterschied zwischen der Fläche 2, welche eine durchschnittlichen Substratstärke von 4,75 cm aufweist, mit der ohne Substrat, liegt der Unterschied nur bei 6 %. Von Fläche 1 und 3 fließen etwa 10 Prozent weniger Wasser im Vergleich zur Fläche 0 ab. Daraus lässt sich schlussfolgern das mindestens eine Substratstärke von 7 cm erforderlich ist, um einen Unterschied zur Abflussmenge von Dächern ohne extensive Begrünung zu erreichen. Da die Flächen nicht vollständig begrünt waren, können daraus keine Rückschlüsse auf die Effektivität in der Regenwasserrückhaltung getroffen werden. Dazu wären weitere Untersuchungen erforderlich.

4.5.2 Pflanzenentwicklung und Pflege

Werden die Ausfallquoten vor und nach der Fertigstellungspflege gegenübergestellt, fällt auf, dass ohne eine zusätzliche Pflege nur eine Pflanzenart, nämlich Aloe vera die lange Trockenzeit mit geringer Todesrat übersteht. Die Kalanchoe Arten sind wesentlich besser an die Bedingung auf dem Dach angepasst, als Sedum adolphi und Graptopetalum paraquayense. Bei diesen beiden Arten ist ein Einsatz nur mit ausreichender Bewässerung und Düngung empfehlenswert. Erfolgen entsprechende Pflegemaßnahmen, ist ein Einsatz aller getesteten Arten für die extensive Dachbegrünung denkbar. Fallen diese weg, kann nicht von einem zufriedenstellenden Deckungsgrad ausgegangen werden.

4.6 Forschungsprojekt an der Maha Sarakham Universität

Die zweite Versuchsanlage wurde im Juli 2007 auf dem Dach des Gebäudes der Fakultät für Architektur der Maha Sarakham Universität angelegt. Hier lag das Augenmerk auf der Erprobung weiterer Pflanzenarten auf unterschiedlichen Substratmischungen aber gleicher Substratstärke. Dazu wurden Demonstrationspflanzungen mit dreizehn trockenresistenten Pflanzenarten durchgeführt. Neben Sukkulenten kam auch eine Grasart und eine häufig verwendete Zierpflanze zum Einsatz, um deren Entwicklung im Vergleich zu Sukkulenten zu beurteilen. Es sollte auch hier festgestellt werden, ob diese unter den subtropischen Bedingungen im Nordosten von Thailand überleben und bei der ausgeprägten Trocken- und Regenzeit einen ausreichenden Deckungsgrad erreichen.



**Abb. 71 : Luftbild Maha Sarakham Universität, Lage der Versuchsfächen (MSU)
(Quelle: Google Earth, 2007)**

4.7 Versuchsaufbau

Die Versuchsflächen befinden sich auf einem Teildach der Fakultät für Architektur. Das gesamte Flachdach umfasst eine Fläche von rund 110 m² (6,5 m x 18,5 m) wovon 80 m² begrünt wurden. Die Fläche hat ein Gefälle von 2 Prozent und entwässert über drei Abflüsse an den Ecken der Flächen.



Abb. 72 : Dach der Fakultät für Architektur (MSU)

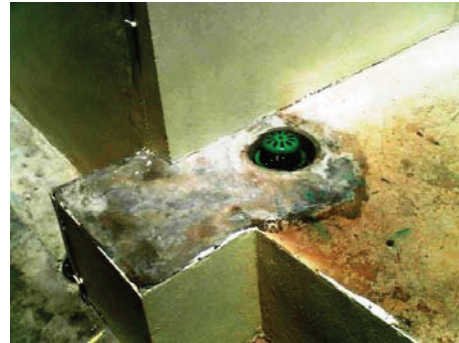


Abb. 73 : Abfluss der Dachfläche (MSU)

Die gesamte Fläche ist in vier Teilflächen mit unterschiedlichen Substratmischungen und einer Substrathöhe von 5 cm bedeckt. Für die Entwässerung der Flächen wurde ein 20 cm breiter, an der Mauer verlaufender Steifen aus gebrochenen Steinen angelegt. Die in einschichtiger Bauweise erstellten Pflanzflächen sind jeweils in 18 Einzelflächen unterteilt und die vier Versuchsfelder mit einem umlaufenden schmalen Ziegelband (9 x 6 x 13 cm) von einander getrennt worden, so das sich für die gesamte Fläche eine Anzahl von 72 Parzellen ergibt, mit einer Kantenlänge von 1x1 m.

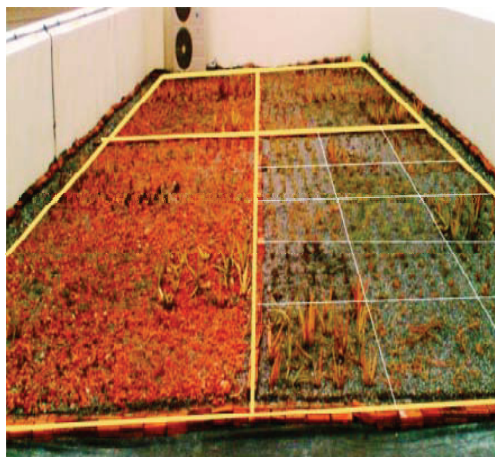


Abb. 74: Einteilung der Flächen (MSU)



Abb. 75 : Überblick Versuchsflächen (MSU)

4.7.1 Substrate

Die vier Versuchsfelder wurden mit vier verschiedenen Substratmischungen versehen. Als Grundsubstrat diente die selbe Mischung wie an der Rajabhat Maha Sarakham Universität. Dieses wurde mit Humus und Ziegelbruch versetzt. Auf Fläche 1 kam nur das Grundsubstrat zum Einsatz. Bei Fläche 2 wurde 10 Prozent Humus beigemischt. Auf Fläche 3 wurde zu den 10 Prozent Humus noch 10 Prozent Ziegelbruch oberflächlich aufgebracht. Fläche 4 besteht nur aus dem Grundsubstrat und 10% Ziegelbruch.

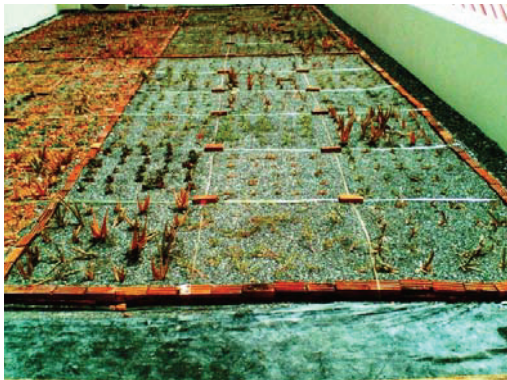


Abb. 76: Flächen 1 aus mit Grundsubstrat



**Abb. 77: Fläche 2 mit Grundsubstrat
und 10 % Humus**



**Abb. 78: Fläche 3 mit Grundsubstrat
10 % Humus und
10 % Ziegelbruch**



**Abb. 79: Fläche 4 mit Grundsubstrat
und 10 % Ziegelbruch**

4.7.2 Bepflanzung

Die Einzelflächen wurde mit jeweils mit 12 im Handel erhältlichen oder natürlich vorkommenden Arten bepflanzt. Pro Fläche wurden 25 Ballenpflanzen der gleichen Art im Abstand von 20 cm gesetzt. Die Art *Graptopetalum paraguayense* (GP) kam nur beim ersten Versuch an der Rajabhat Maha Sarakham Universität zum Einsatz ist aber in der Liste mit aufgelistet.

Eingesetzte Arten:

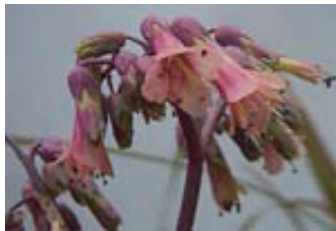
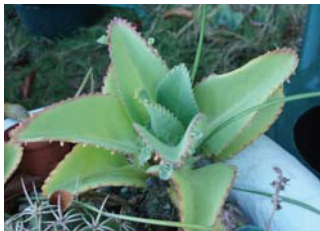


Abb. 80 a - c: *Kalanchoe crenatodaigremontianum* (KC)

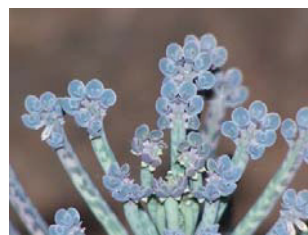
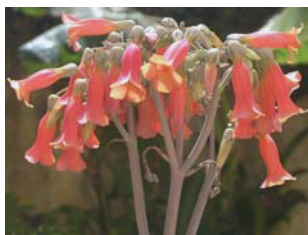


Abb. 81 a - c: *Kalanchoe tubiflora* (KT)



Abb. 82 a - c: *Kalanchoe pinnatum* (KP)



Abb. 83 a - c: *Kalanchoe blossfeldiana* (KB)



Abb. 84 a – c: Kalanchoe laciniata (KL)

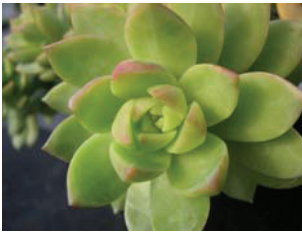


Abb. 85 a – c: Sedum adolphi (SA)



Abb. 86 a – c: Plectranthus tomentosus (PT)

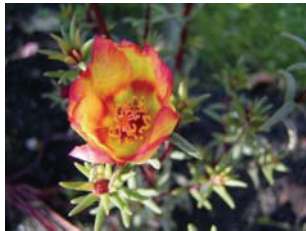


Abb. 87 a – c: Portulaca grandiflora (PG)

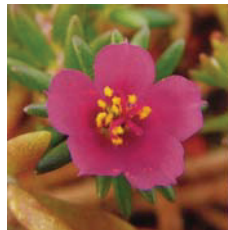
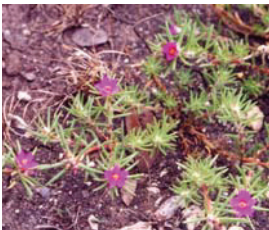


Abb. 88 a – c: Portulaca pilosa (PP)



Abb. 89 a – c: Aloe vera (AV)



Abb. 90 a – c: Rhoeon discolor (RD)

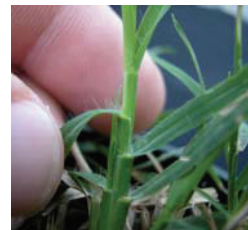


Abb. 91 a – c: Cynodon dactylon (CD)



Abb. 92 a – c: Graptopetalum paraguayense (GP)

4.7.3 Pflege

Nach der Fertigstellung der Bepflanzung im Juli 2007 erfolgte eine intensive zweimonatige Fertigstellungspflege durch Bewässerung, welche alle zwei Tage wiederholt wurde. Danach wurden die Pflanzen weitgehend sich selbst überlassen.

Abb. 93: Pflanzplan, Projekt an der MSU



- Kalanchoe crenatodaigremontianum (KC)
- Kalanchoe tubiflora (KT)
- Kalanchoe pinnatum (KP)
- Kalanchoe blossfeldiana (KB)
- Kalanchoe laciniata (KL)
- Sedum adolphi (SA)

- Plectranthus tomentosus (PT)
- Portulaca grandiflora (PG)
- Portulaca pilosa (PP)
- Aloe vera (AV)
- Rhoeon discolor (RD)
- Cynodon dactylon (CD)

4.8 Durchführung der Untersuchungen

Die Entwicklung der Pflanzen wurde ein Jahr nach der Entwicklungspflege einmalig im Juli 2008 bonitiert. Es erfolgte eine Überprüfung der Entwicklung und Anzahl der abgängigen Pflanzen durch Auszählung.

4.9 Ergebnisse

Artname	Ausfallrate in % Kies	Ausfallrate in % Kies/ Humus	Ausfallrate in % Kies / Ziegelbruch	Ausfallrate in % Kies/Humus / Ziegelbruch
Kalanchoe crenatodaigremontian um	64	24	38	4
Kalanchoe tubiflora	52	58	76	32
Kalanchoe pinnatum	12	36	20	4
Kaloanchoe blossfeldiana	100	100	100	100
Kalanchoe laciniata	4	92	12	84
Sedum adolphi	96	100	96	92
Plectranthus tomentosa	56	100	0	12
Portulaca grandiflora	16	10	39	15
Portulaca pilosa	12	0	16	8
Aloe vera	49	45	21	28
Rhoeon discolor	100	100	96	90
Cynodon dactylon	100	84	100	100
Durchschnitt	55	62,5	50,9	47,4

Tab. 7: Ausfallrate der eingesetzten Pflanzen im Juli 2008 (MSU)

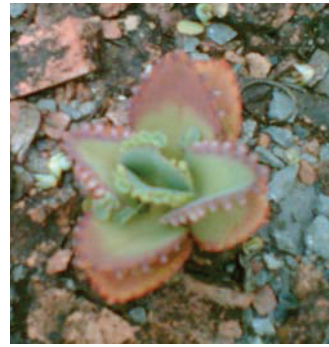
Aus der Tabelle 7 geht die Ausfallrate für die einzelnen Pflanzenarten im Juli 2008 hervor. Es ist ersichtlich dass vier Arten entweder gar nicht oder nur in geringem Maße auf allen vier Substratmischungen überlebt haben. Dazu zählen *Kalanchoe blossfeldiana*, *Sedum adolphi*, *Rhoeo discolor* und *Cynodon dactylon*. Beim Rest der Pflanzen liegen die Todesraten, je nach Substratzusammensetzung zwischen 90 und 10 Prozent. Auf Fläche 1 mit Grundsubstrat konnte nur *Kalanchoe laciniata* eine Todesrate unter 10 % verbuchen. Auf Fläche 2, mit Grundsubstrat und Humus *Portulaca grandiflora* und *Portulaca pilosa*. Auf Fläche 4, mit Grundsubstrat und Ziegelbruch überlebte nur *Plectranthus tomentosus* und bildete mit einem Deckungsgrad von 80 % die besten Ergebnisse. Auf Fläche 3 mit Grundsubstrat, Humus und Ziegelbruch lagen die Todesrate bei fünf Arten unter 15 %. Dazu zählen *Plectranthus tomentosus*, *Kalanchoe crenatodaigremontianum*, *Kalanchoe pinnatum* und *Plectranthus tomentosus* sowie *Portulaca pilosa*.

4.10 Auswertung

Vergleicht man die durchschnittlichen Ausfallraten der Teilflächen untereinander, überlebten auf Fläche 3 rund 53 Prozent der Pflanzen, auf Fläche 4 rund 49 Prozent, auf Fläche 1 rund 45 Prozent und auf Fläche 2 nur rund 38 Prozent aller Arten. Somit weist eine Mischung aus Grundsubstrat, Humus und Ziegelbruch die besten Überlebenschancen für Pflanzen, welche ohne weitere Unterhaltspflege auskommen sollen, auf. Für einen Einsatz in der extensiven Dachbegrünung sind die Arten *Plectranthus tomentosus*, *Plectranthus tomentosus*, *Portulaca pilosa*, *Kalanchoe crenatodaigremontianum*, *Kalanchoe pinnatum* und *Aloe vera* zu empfehlen, da sie die besten Ergebnisse bei der Überlebensrate und dem Deckungsgrad gezeigt haben.



Abb. 94: Aloe vera, Juli 2008



**Abb. 95: Kalanchoe crenatodaigremontianum
Juli 2008**



Abb. 96: Kalanchoe pinnatum, Juli 2008



Abb. 97: Plectranthus tomentosa, Juli 2008



Abb. 98: Portulaca grandiflora, Juli 2008



Abb. 99: Portulaca pilosa, Juli 2008

4.11 Weitere einsetzbare Sukkulentearten

Aloe



Abb. 100: Aloe
brevifolia



Abb. 101: Aloe
rauhii



Abb. 102: Aloe
saponaria

Crassula



Abb. 103: Crassula
coccigea

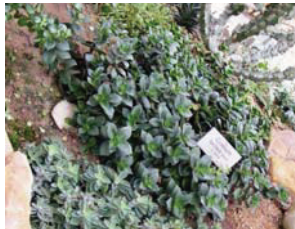


Abb. 104: Crassula
lactea



Abb. 105: Crassula
marnieria



Abb. 106: Crassula
multicava



Abb. 107: Crassula
sericea



Abb. 108: Crassula
socialis

Graptopetalum



Abb. 109: Graptopetalum
macdougallii



Abb. 110: Graptopetalum
macdougallii

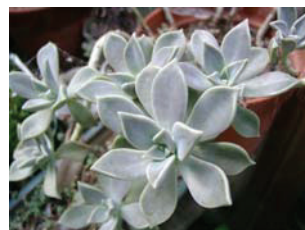


Abb. 111: Graptopetalum
soborozuki

Echeveria

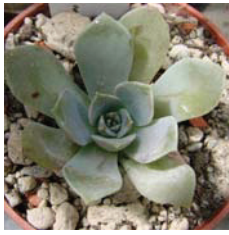


Abb. 112: *Echeveria eurychlamis*

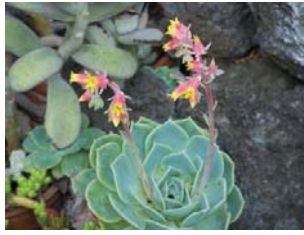


Abb. 113: *Echeveria glauca*



Abb. 114: *Echeveria pubescens*



Abb. 115: *Echeveria rungonii*

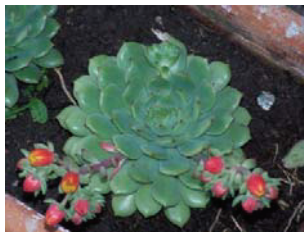


Abb. 116: *Echeveria ramilette*



Abb. 117: *Echeveria xanti*

Haworthia



Abb. 118: *Haworthia attenuata*



Abb. 119: *Haworthia cymbiformis*



Abb. 120: *Haworthia cyntiform*



Abb. 121: *Haworthia glauca*



Abb. 122: *Haworthia marumiana*



Abb. 123: *Haworthia cymbiformis*

Kalanchoe

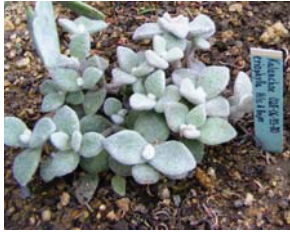


Abb. 124: *Kalanchoe eriophylla*



Abb. 125: *Kalanchoe fedtchenkoi*



Abb. 126: *Kalanchoe marmorata*



Abb. 127: *Kalanchoe millotii*



Abb. 128: *Kalanchoe pumila*



Abb. 129: *Kalanchoe rhombopilosa*



Abb. 130: *Kalanchoe rosei*



Abb. 131: *Kalanchoe sexangularis*

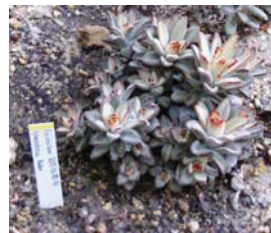


Abb. 132: *Kalanchoe tomentosa*

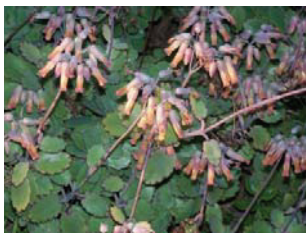


Abb. 133: *Kalanchoe laxiflora*

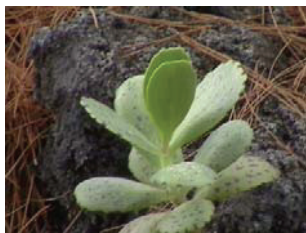


Abb. 134: *Kalanchoe marmorata*

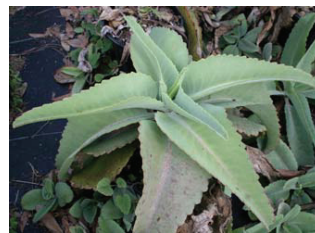


Abb. 135: *Kalanchoe mortgagei*

Sansevieria



Abb. 136: *Sansevieria pearsonii*



Abb. 137: *Sansevieria pinguala*



Abb. 138: *Sansevieria Hahnii trifasciata*

Sedum



Abb. 139: *Sedum allantooides*



Abb. 140: *Sedum clavatum*



Abb. 141: *Sedum goldmanii*



Abb. 142: *Sedum hutbenii*



Abb. 143: *Sedum locidum*



Abb. 144: *Sedum mexicanum*



Abb. 145: *Sedum oaxacanum*



Abb. 146: *Sedum pachyphyllum*

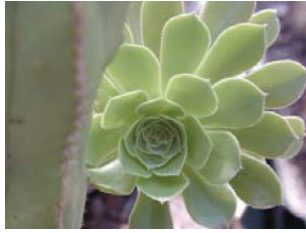


Abb. 147: *Sedum aurora*

Weitere Arten



**Abb. 148: Abromeitiella
brevifolia**



**Abb. 149: Aeonium
arboreum**



**Abb. 150: Agave
isthmensis**



**Abb. 151: Carpobrotus
edulis**



**Abb. 152: Delosperma
cooperie**



**Abb. 153: Euphorbia
marlothiana**



**Abb. 154: Manadenium
guentheri**



**Abb. 155: Pachyphytum
oviferum**



**Abb. 156: Plectrahtus
neochilus**



**Abb. 157: Schlechteranthus
hallii**



**Abb. 158: Stomatium
agninum**



**Abb. 159: Variegated
sedum**

Liliaceae	Aloe		
	Aloe x spinosissima	Aloe africana	Aloe arborescens
	Aloe vera	Aloe ciliaris	Aloe strianta
	Aloe striata	Aloe marlothii	Aloe acutissima
	Aloe spillansii	Aloe malanacantha	Aloe microstigma
	Aloe sladeniana	Aloe aculeata	Aloe aristata
	Aloe transvaalensie	Aloe nobilis	Aloe virens
	Aloe distans	Aloe striata	Aloe latifolia
	Aloe zebrina	Aloe malanostigma	Aloe saponaria
Aloe eru maculata	Aloe mitriformis	Aloe "cleistiflora"	
Crassulaceae	Sedum		
	Sedum brevifolium	Sedum bellum	Sedum hintonii
	Sedum pachyphyllum	Sedum treleasei	Sedum adolphii
	Sedum rubrotinctum	Sedum sieboldii	Sedum compressum
	Sedum oreganum	Sedum lineare	Sedum craigii
	Sedum allantoides	Sedum morgonianum	Sedum trotusum
	Crassula		
	Crassula dasyphylla	Crassula namaquensis	Crassula obvallata
	Crassula deceptrix	Crassula deltoidea	Crassula radicans
	Crassula socialis	Crassula punctulata	Crassula marginalis
	Crassula comptonii	Crassula orbicularis	Crassula dregeana
	Crassula tecta	Crassula falcata	Crassula perfossa
	Echeveria		
	Echeveria gilva	Echeveria simulans	Echeveria lozanii
	Echeveria derenbergii	Echeveria runyonii	Echeveria subsessilis
	Echeveria glauca	Echeveria secunda	Echeveria agavoides
	Echeveria affinis	Echeveria leucotricha	Echeveria pulvinata
	Echeveria setosa	Echeveria elegans	Echeveria gigantea
	Echeveria pallida	Echeveria expatriata	Echeveria multicaulis
	Echeveria derenbergii	Echeveria gibbiflora	Echeveria crenulata
	Echeveria crenulata	Echeveria fulgens	Echeveria subrigida
	Echeveria peacockii	Echeveria carnicolor	Echeveria linguaefolia
	Kalanchoe		
	Kalanchoe blossfeldiana	Kalanchoe blossfeldiana	Kalanchoe flammea
	Kalanchoe uniflora	Kalanchoe manginii	Kalanchoe tomentosa
	Kalanchoe marmorata	Kalanchoe fedtschenkoi	Kalanchoe tubilfora
	Kalanchoe pinnata	Kalanchoe beharensis	Kalanchoe synsepala
	Kalanchoe pubescens	Kalanchoe velutina	Kalanchoe dyeri
	Kalanchoe paniculata	Kalanchoe longiflora	Kalanchoe pumila
	Kalanchoe orgyalis	Kalanchoe millotii	Kalanchoe quartiniana
	Kalanchoe laciniata	Kalanchoe eriophylla	Kalanchoe grandiflora
	Kalanchoe figuereidoi	Kalanchoe rotundifolia	Kalanchoe beharensis
Kalanchoe mortagei	Kalanchoe suarezenisi	Kalanchoe grayii	

Tab. 8: Arten für den Einsatz bei der extensiven Dachbegrünung in Thailand