



4.3 OBJEKT #02 - DOME

Grüne Kathedrale



Begrünung im urbanen Raum wird i.d.R. in horizontal & vertikal unterteilt, denn die meisten Linien und Flächen in der Stadt sind künstlich geschaffen und folgen diesem Prinzip. Die Natur hält sich aber nicht an klare Linien und auch bei Dachformen finden sich unterschiedlichste Neigungswinkel. Im folgenden Objekt wollen wir daher die Bepflanzung verschiedener Neigungswinkel untersuchen. Als Form haben wir uns daher für eine Halbkugel entschieden, welche zudem den Vorteil bietet, dass wir verschieden Einstrahlwinkel der Sonne berücksichtigen können. Zusätzlich wollen wir bei diesem Objekt auf das Anlegen von Bienenweiden eingehen und verschiedene Saatmischungen testen.

4.3.1 DESIGN

Die perfekte Form für dieses Objekt ist die Halbkugel, welche wir jedoch nur mittels einer Fachwerkkonstruktion annähern können. Als Bauweise dafür eignet sich das Prinzip der „Geodätischen Kuppel“, welche maßgeblich von Buckminster Fuller weiterentwickelt wurde. Diese außergewöhnliche Konstruktion wurde unter anderem beim Bau des Planetariums in Jena, der Carl-Zeiss-Werke, angewandt. Für Aufsehen sorgte außerdem die Fuller-Kuppel Biosphère beim Pavillon der USA auf der Expo 1967 in Montreal.

Geodätische Kuppeln sind Polyeder, die aus Dreiecken bestehen und bei denen alle Verbindungspunkte der tragenden Struktur auf der Oberfläche einer Kugel liegen. Somit lässt sich die gewünschte Form einer Halbkugel sehr gut durch eine geodätische Kuppel annähern.

Ein zentrales Designelement des Projektes ist die Wabe. Dieses wollen wir auch hier wieder aufgreifen, auch um eine Verbindung zu der Bepflanzung, das Anlegen von Bienenweiden, zu schaffen. Dazu brechen wir die Dreiecksstruktur der geodätischen Kuppeln auf und verän-

dern diese zu Sechs- und Fünfecken, welche uns dann als Bepflanzungsfelder dienen.

4.3.2 KONSTRUKTION

WAS IST DAS?

Eine geodätische Kuppel (engl.: geodesic dome)

- Substruktur aus Dreiecken

ALLGEMEINE VORTEILE:

- selbsttragend (keine Stützstruktur aus innenliegenden Säulen oder Wänden notwendig)
- optimales Verhältnis von Volumen zu Oberfläche

ALLGEMEIN:

Ausgangspunkt zur Konstruktion geodätischer Kuppeln ist i.d.R. der Ikosaeder. Der Ikosaeder ist ein regelmäßiger Polyeder und einer der fünf platonischen Körper. Er besteht aus 20 gleichseitigen Dreiecken, hat 30 Kanten und 12 Ecken, welche alle auf der Oberfläche der Umkugel liegen. Damit kommt er einem sphärischen Körper schon sehr nahe.

Um eine bessere Annäherung an eine Kugel zu erhalten, unterteilt man die gleichseitigen Dreiecke (Seitenflächen) des Ikosaeder in weitere kleine gleichseitige Dreiecke (Abb. 01). Je höher die Anzahl der Dreiecke, desto "runder" wird der resultierende Körper.

Die so neu entstandenen Punkte werden dann vom Mittelpunkt des Ikosaeder auf die Umkugel projiziert. Durch diese Projektion werden die einzelnen Kanten unterschiedlich skaliert und es ergeben sich somit unterschiedliche Kantenlängen (Abb. 02).

Die Länge der Kanten kann mit Hilfe einfacher trigonometrischer Berechnungen in Abhängigkeit von Durchmesser und Komplexität der Kuppel bestimmt werden. Mittlerweile bieten auch eine Vielzahl von Online-Kalkulatoren Unterstützung bei der Berechnung geodätischer Kuppeln, z.B. <http://www.desertdome.com/> oder <http://acidome.ru/>.

KONSTRUKTION STADTGRÜN

Geodätische Kuppeln bestehen i.d.R. (wie oben beschrieben) aus einer Substruktur aus Dreiecken. Ein Hauptgestaltungsmerkmal in dem Projekt „StadtGrün“ ist

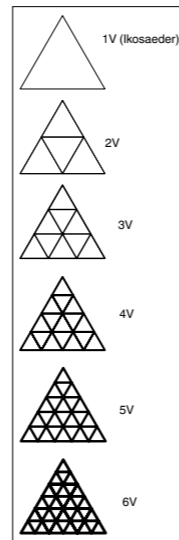


Abb. 01

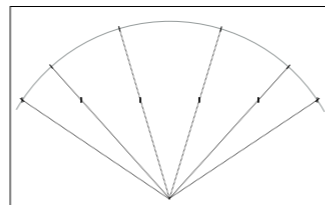


Abb. 02



DOME

Nahrungsangebot für Insekten

DACHBEGRÜNUNG EXTENSIVE OBJEKTBEGRÜNUNG

Testlabor für verschiedene Neigungswinkel bei Dachbegrünungen.

DOME GEODÄTISCHE KUPPEL

Fachwerkbau als Halbkugel mit sechseck und fünfeck Struktur.



STANDORT

Öko-Zentrum und Institut Magdeburg Sachsen-Anhalt e.V.
Harsdorfer Str. 49, 39110 Magdeburg



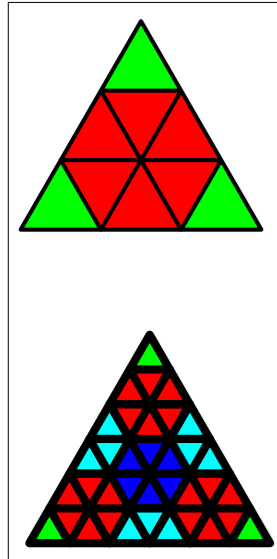


Abb. 03

jedoch, wie weiter oben bereits erwähnt, das Sechseck in Anlehnung an die Bienenwabe. Alle Kuppeln mit einer durch 3 teilbaren Frequenz (also 3V, 6V, 9V, usw.) lassen sich jedoch auch in Sechs- und Fünfecke zerlegen (Abb. 03), indem man die Kanten innerhalb der 6- bzw. 5-Ecke entfernt. Die Fünfecke entstehen immer um die ursprünglichen Eckpunkte des Ikosaeder, es sind also immer 12 Fünfecke bei einer Vollkugel bzw. 6 Fünfecke bei einer Kuppel (Halbkugel). Um alle weiteren hinzugefügten Eckpunkte entstehen Sechsecke. (grüne Dreiecke in Abb. 03 ergeben Fünfecke, alle anderen Dreiecke ergeben Sechsecke).

PROTOTYP (KLEINE KUPPEL)

Um das Konstruktionsprinzip zu testen, haben wir in einem ersten Schritt eine Kuppel basierend auf der 3V (siehe Abb. 01) Struktur gebaut. Diese hat den Vorteil, dass sie nur aus regelmäßigen Sechs- und Fünfecken besteht und somit auch leicht nachzubauen ist. Auch die Kanten der Sechs- und Fünfecke sind alle gleich lang. Damit entspricht diese Kuppel genau der Struktur eines Fußballes (oder andersherum).

Für diese Kuppel werden 6 Fünfecke und 10 Sechsecke benötigt. Die Fünfecke bestehen aus insgesamt 36 Einzelbrettern, welche wie folgt angeschnitten werden müssen:

- Schifterwinkel (α): 11,6°
- Gehrungswinkel (β): 27,8°

Die Sechsecke bestehen aus insgesamt 60 Einzelbretter, die wie folgt angeschnitten werden müssen:

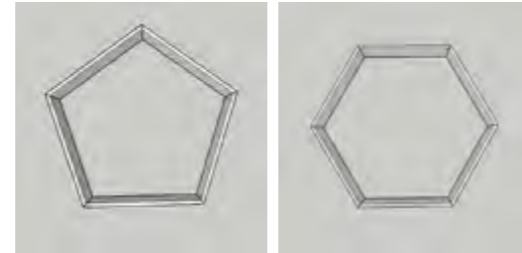
- Schifterwinkel (α): 11,6°
- Gehrungswinkel (β): 34,3°

Die äußere Kantenlänge der Bretter beträgt ca. das 0,4 fache des gewünschten Kuppelradius.



Die äußere Kantenlänge der Bretter beträgt ca. das 0,4 fache des gewünschten Kuppelradius.

MATERIALLISTE „KLEINE KUPPEL“:



- Glattkantbrett Lärche: ca. 100m
- Domino Dübel 5x30mm: ca. 250 Stück
- Holzschrauben: ca. 400 Stück
- Hülsenmutter und -schrauben: ca. 150 Stück
- Holzleim D3: 1/2 Liter

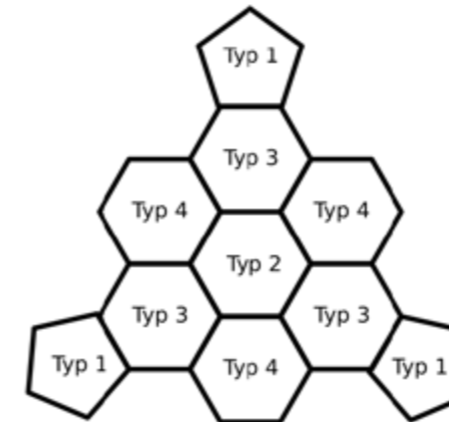
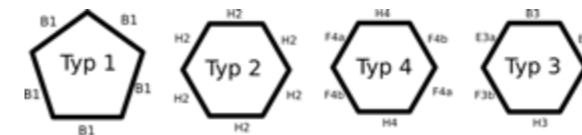


Kleine Kuppel / Prototyp vor dem Kubus 2025 / Fürstenwallstraße 11, 39104 Magdeburg

GROSSE KUPPEL (GRÜNE KATHEDRALE)

Die Konstruktion der großen Kuppel ist wesentlich komplexer als die des Prototypen. Sie basiert auf einer 6V-Struktur und besteht zu den regelmäßigen Fünf- und Sechsecken zusätzlich auch aus unregelmäßigen Sechsecken. Im Folgenden wird das regelmäßige Fünfeck als „Typ 1“ und das regelmäßige Sechseck als „Typ 2“ bezeichnet. Die beiden zusätzlichen unregelmäßigen Sechsecke werden mit „Typ 3“ und „Typ 4“ bezeichnet. Am unteren Ring der Kuppel muss zudem das Sechseck „Typ 4“ halbiert werden, wodurch die zwei spiegelsymmetrischen „halben Sechsecke“ mit den Bezeichnungen „Typ 5“ und „Typ 6“ entstehen.

In folgender Abbildung sind Typ 1 bis Typ 4 inklusive der Bezeichnungen der einzelnen Kanten dargestellt. Zudem zeigt die Abbildung den grundsätzlichen Aufbau des Ursprungsdreiecks des zugrunde liegenden Ikosaeder, mit dessen Hilfe die Kuppel zusammengesetzt werden kann.



Radius in cm		275	
Faktoren			
fA	0,1625672	fF	0,1980126
fB	0,1904769	fG	0,2059077
fC	0,1819083	fH	0,2153537
fD	0,2028197	fI	0,2166282
fE	0,1873834		

Typ 1 (reg. 5-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L in cm	Anzahl
B1	5,5	35,6	35,6	52,4	30

Typ 2 (reg. 6-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L	
H2	6,2	29,4	29,4	59,2	60

Typ 3 (unreg. 6-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L	
B3	5,5	31,3	31,3	52,4	30
H3	6,2	31,2	31,2	59,2	30
F3a	5,7	27,8	29,4	54,5	30
F3b	5,7	29,4	27,8	54,5	30
E3a	5,4	34,3	23,1	51,5	30
E3b	5,4	23,1	34,3	51,5	30

Typ 4 (unreg. 6-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L	
H4	6,2	31,2	31,2	59,2	20
F4a	5,7	27,8	29,4	54,5	20
F4b	5,7	29,4	27,8	54,5	20

Typ 5 (halbes unreg. 6-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L	
H5	6,2	31,2	31,2	59,2	5
F5a	5,7	27,8	29,4	54,5	5
F5b	5,7	29,4	27,8	54,5	5

Typ 6 (halbes unreg. 6-Eck)					
Brett	alpha	beta_l	beta_r	L	
H6	6,2	31,2	31,2	59,2	5
F6a	5,7	27,8	29,4	54,5	5
F6b	5,7	29,4	27,8	54,5	5

Beim Aufbau der Kuppel empfiehlt es sich von unten nach oben aufzubauen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Untergrund möglichst plan ist.

MATERIALLISTE „GROSSE KUPPEL“:

- Glattkantbrett Lärche: ca. 280 m (inkl. Verschnitt)
- Domino Dübel 5x30mm: ca. 750 Stück
- Holzschrauben: ca. 1000 Stück
- Gewindeschrauben M8x50mm: ca. 750 Stück
- Muttern M8: ca. 750 Stück



- Unterlegscheiben M8: ca. 1500 Stück
- Holzleim D3: 1l

Materialliste für Bepflanzung pro Element:

- Siebdruckplatte: 1m²
- Kanthölzer: 2m
- Holzschrauben: ca. 20 Stück
- Teichfolie
- Noppenbahn
- Substrat (Lava/ Bims unterschiedliche Korngröße)
- Bienenweide (einjährig oder mehrjährig als Saat)

4.3.3 BEPFLANZUNG

Auf der geodätische Kuppel wurden vier Felder (Fläche 01 bis 04, vgl. Abb. rechts) mit Bienenweide begrünt. Es wurde beim Schichtaufbau die extensive Begrünung, ein Aufbau von 8cm, gewählt. Das Gewicht dieses Aufbaus ist wesentlich geringer als bei einer intensiven Begrünung und daher eher für die tragende Holzkonstruktion geeignet. Die Flächen wurden in einer Ost- West Reihe ausgesucht, um auch eine unterschiedliche Sonneneinstrahlung zu testen.

In der Rahmenkonstruktion wird in die vier zu beplantenden Felder eine Bodenplatte aus 8mm filmbeschichtetem Sperrholz eingesetzt. Die Bodenplatte ist an jeder Seite 0,5 cm kleiner als der Innenradius des Rahmen, damit überschüssiges Wasser ablaufen kann. Auch die Wassersperre, in Form einer Teichfolie, wird nach dem Aufbringen an den Rändern perforiert, damit das Wasser ablaufen kann. Danach wurde eine Noppenbahn als Drainage aufgebracht, die einen Teil des Wassers speichern kann und zeitlich verzögert an die Bepflanzung abgibt. Der so entstandene Pflanzkübel wurde dann mit Bims/ Lavastein in unterschiedlicher Korngröße gleichmäßig aufgefüllt.

Als Sonderfall wurde ein Sechseck in der Kuppel mit mehr als 30° Neigungswinkel begrünt. Hierbei wurden Querhölzer aus Lärchenholz angebracht um das Substrat und die Pflanzen zu stabilisieren und vor Erosion zu schützen.

Für die Aussaat wurden zwei verschiedene Saatkombinationen getestet. Zum einen eine mehrjährige Bienenweide (3 Testfelder – 01, 03, 04), zum anderen eine einjährige Bienenweide (Testfeld 02). Beide Saaten wurden mit Substrat in einer kleinen Schale

vermischt und locker in die präparierten Pflanzbehälter gestreut, vorsichtig festgeklopft und dann gewässert. Da es sich bei unseren Saatkombinationen um Lichtkeimer handelt, wird die Aussaat nicht mit Erde bedeckt. Danach wurden alle Testfelder mit lichtdurchlässiger Folie abgedeckt, um die Saat vor Vögeln zu schützen und durch das hierbei entstandene Mikroklima den Keimprozess positiv zu beeinflussen.



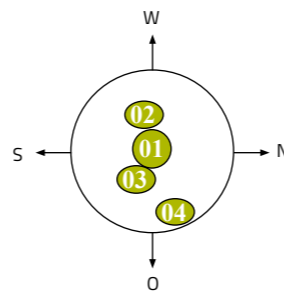
BEOBSACHTUNG

Die zwei Saatkombinationen ergaben keinen signifikanten Unterschied im Keim- und Wuchsverhalten der Pflanzen. Beide Mischungen lieferten ein gutes Pflanzenbild.

Bei den Neigungswinkeln wurde die Bepflanzung zwischen drei verschiedenen Gradzahlen getestet (Fläche 01 mit 0°, Fläche 02 und 03 mit 10° und Fläche 04 mit 30° Neigung). Die waagrecht angelegte Bepflanzung (Fläche 01) keimte hierbei am gleichmäßigsten und ergab das einheitlichste Pflanzenbild. Welches u.a. auf die homogene Wasserverteilung zurückzuführen ist.

Die zwei leicht schräg angelegten Flächen (02 und 03) wurden mit unterschiedlicher Saatkombination getestet. Hierbei gab es Abweichungen im Keimverhalten und später im Wuchs der Pflanzen. Fläche 02, mit der einjährigen Bienenweide, zeigte hierbei ein gutes Ergebnis. Fläche 03, mit der mehrjährigen Bienenweide, hingegen zeigte große Lücken im Keimverhalten.

Der Aufbau, die Aussaat und die Bewässerung der geneigten Fläche 04 stellte den größten Aufwand dar, erzielte aber trotzdem zufriedenstellende Pflanzergebnisse. Es gab in der Pflanzdichte und der Wuchshöhe kaum Einbuße im Vergleich zur 10° geneigten Fläche.



AUSWERTUNG

Der entscheidende Faktor für ein gutes Pflanzenbild in den Flächen 01 bis 04 ist, unserer Beobachtung nach, die Ausrichtung zur Sonne. Die Flächen 02 und 04 bekamen mehr Schatten als die Flächen 01 und 03. Die Fläche 01 hatte hierbei den Vorteil der homogeneren Wasserverteilung, auf Grund dessen hier ein besseres Wuchsverhalten zu verzeichnen war.

Saatkombinationen und Neigungswinkel spielen bei richtiger Anwendung nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend für das Wuchsverhalten von Bienenweiden an der geodätischen Kuppel ist das Verhältnis von Licht und Schatten, sowie die hinreichende Bewässerung der Pflanzen.

Pflanzliste

mehrjährige Bienenweide

deutscher Name	botanischer Name
Bienenfreund	Phacelia
Buchweizen	Fagopyrum
Serradella	Ornithopus sativus
Gelbsenf	Sinapis alba
Sonnenblume	Helianthus annuus
Lein	Linum
Inkarnatklee	Trifolium incarnatum
Örtlich	Raphanus sativus
Perserklee	Trifolium resupinatum
Borretsch	Borago officinalis
Malve	Malva
Ringelblume	Calendula officinalis
Kornblume	Cyanus segetum
Klatschmohn	Papaver rhoeas
Gemeine Schafgarbe	Achillea millefolium
Gemeiner Odermennig	Agrimonia eupatoria
Färberkamille	Anthemis tinctoria
Wiesenkerbel	Anthriscus sylvestris
Beifuß	Artemisia vulgaris
Winterkresse	Barbarea vulgaris
Echter Kümmel	Carum carvi
Skabiosen-Flockenblume	Centaurea scabiosa
Gewöhnliches Hornkraut	Cerastium fontanum
Gemeine Wegwarte	Cichorium intybus
Gemeiner Wirbeldost	Clinopodium vulgare
Wiesen-Pippau	Crepis biennis
Wilde Möhre	Daucus carota
Wilde Karde	Dipsacus fullonum
Gewöhnlicher Natternkopf	Echium vulgare
Fenchel	Foeniculum vulgare
Weißes Labkraut	Galium album
Echtes Labkraut	Galium verum
Wiesenbärenklau	Heracleum sphondylium
Echtes Johanniskraut	Hypericum perforatum
Margarite	Leucanthemum
Hornklee	Lotus
Moschus-Malve	Malva moschata
Wilde Malve	Malva sylvestris
Quirlmalve	Malva verticillata
Hopfenklee	Medicago lupulina
Luzerne	Medicago sativa

Gemeine Nachtkerze	Oenothera biennis
Esparsette	Onobrychis
Oregano	Origanum vulgare
Pastinake	Pastinaca sativa
Gartenpetersilie	Petroselinum crispum
Spitzwegerich	Plantago lanceolata
Kleine Braunelle	Prunella vulgaris
Färber-Wau	Reseda luteola
Wiesensalbei	Salvia pratensis
Kleiner Wiesenknopf	Sanguisorba minor
Kolbenhirse	Setaria italica
Weißer Lichtnelke	Silene latifolia
Rote Lichtnelke	Silene dioica
Taubenkopf-Leimkraut	Silene vulgaris
Kuckuckslichtnelke	Silene flos-cuculi
Mariendistel	Silybum marianum
Rainfarn	Tanacetum vulgare
Schwedenklee	Trifolium hybridum
Rotklee	Trifolium pratense
versch. Königskerzen	Verbascum
Sommerwicke	Vicia sativa
Zottige Wicke	Vicia villosa

Pflanzliste

einjährige Bienenweide

deutscher Name	botanischer Name
Kornrade	Agrostemma
Kornblume	Centaurea
Färberkamille	Anthemis t.
Ringelblume	Celandula officinalis
Klatschmohn	Papaver rhoeas
Wildmöhre	Daucus carota



mehrjährige Bienenweide



einjährige Bienenweide



4.3.4 BEWERTUNGSKRITERIEN

MATERIALKOSTEN: HOCH

KONSTRUKTIONSAUFWAND: HOCH

Der Konstruktionsaufwand und somit auch die Kosten sind für solche geodätischen Kuppeln i.d.R. nicht unerheblich. Speziell für die Grüne Kathedrale oder vergleichbare Kuppeln können folgende Kosten und Aufwände abgeschätzt werden:

1. Material (nur Kuppel, ohne Technik z.B. für Bewässerungssysteme): ca. 2.000 – 5.000 Euro, je nach verwendeten Materialien
2. Berechnung aller Schiffer- und Gehrungswinkel inkl. Erstellung eines 3D-Modelles und der Baupläne: ca. 1 Personenwoche, Durchführung durch ein entsprechendes Ingenieurbüro
3. Berechnungen zu Statik, inkl. Belastungen durch die Bepflanzung und anderer Lasten (e.g. Windlast): ca. 1 Personenwoche, Durchführung durch ein entsprechendes Ingenieurbüro
4. Fertigung der Kuppelstruktur: ca. 6 Personenwochen, Durchführung durch ein entsprechendes Handwerks- oder Industrieunternehmen
5. Aufbau der Kuppel: ca. 1 Personenwoche

Eine Kuppel dieser Art würde somit schätzungsweise einen mittleren 5stelligen Betrag kosten.

WARTUNGS-AUFWAND

HOCH

Die Kuppelkonstruktion an sich sollte zudem in regelmäßigen Abständen überprüft und gewartet werden. Insbesondere der Holzschutz sollte regelmäßig aufgefrischt werden.

Durch den relativ hohen Konstruktionsaufwand und Platzbedarf ist die Grüne Kathedrale für den privaten Bedarf der meisten Bürger*innen sicherlich eher ungeeignet. Für Kommunen, Firmen, Wohnungsbaugesellschaften, aber auch für Bürger*innen mit größeren Eigentumsgrundstücken ist die Grüne Kathedrale sicherlich eine sehr reizvolle Option.

KOSTEN DER BEPFLANZUNG

GERING

Die Kosten der Bepflanzung sind in unserem Beispiel überschaubar, da wir eine Ansaat mit Samen getestet haben. Die Kosten für die Teichfolie, die Noppenbahn,

das Substrat belaufen sich pro Modul auf ca. 70 €. Die Kosten für die Saatmischung beträgt bei Großpackungen ca. 3 Cent pro qm.

BEPFLANZUNGS-AUFWAND

HOCH

5 Stunden pro Fläche, da aufwändige Anzucht bei Aussat.

Zu dem Konstruktionsaufwand muss auch der Bepflanzungsaufwand berücksichtigt werden. Insbesondere in den Wochen direkt nach der Bepflanzung sollte täglich gewässert werden. Sobald sich die Bepflanzung ausreichend entwickelt hat, ist je nach Witterung eine gelegentliche Bewässerung von wenigen Malen pro Woche sinnvoll. Dies kann jedoch auch automatisiert werden. Dafür empfiehlt es sich, das obere Fünfeck als (Regen) Wassersammelbecken zu nutzen und von dort die bepflanzten Elemente mit Wasser zu versorgen. Wenn die Bepflanzung vollständig entwickelt ist, sollte die natürliche Witterung ausreichend sein. Eine gelegentliche Prüfung sollte aber vorgenommen werden.

Des Weiteren sollte man die Pflanzendecke zu Beginn etwas ausdünnen, damit die restlichen Pflanzen genug Platz und Nährstoffe bekommen.

PFLEGE-AUFWAND

GERING

Nach dem Anwachsen ist keinerlei weitere Pflege notwendig. Falls sich die einjährige Bienenweide nicht selbst wieder ausgesät hat, sollte dann im Frühjahr wieder neu ausgesät werden.

4.3.5 FAZIT

Die Grüne Kathedrale ist mit Sicherheit ein Hingucker und bietet durch die verschiedenen Neigungswinkel und Ausrichtungen zur Sonne besonders viele Möglichkeiten zur Begrünung. Zudem kann sie, je nach Größe, auch als eine Art Pavillon dienen, unter dem man Schatten findet und Ruhe genießen kann. Somit kann sie ein kleiner grüner Rückzugsort im urbanen Raum sein. Die Ansaat bei Flächen, die einen größeren Neigungswinkel als 10° haben ist nicht empfehlenswert, da hier der Bepflanzungsaufwand zu hoch erscheint. Auch bei einer vorsichtigen Bewässerung wird die Saat fast weggespült.

