

STACK UP!

vertikale Farm und botanischer
Garten

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs

Studienrichtung: Architektur

Stephan Grabmaier, Jakob Wogrolly

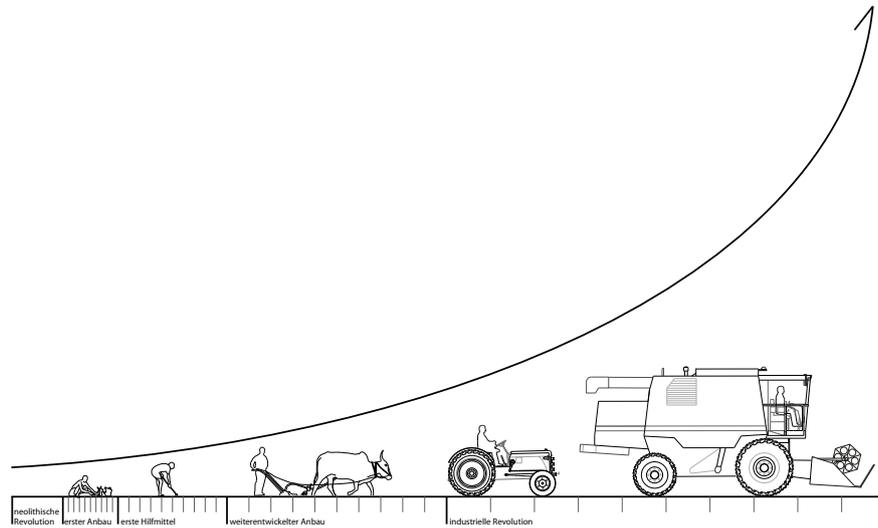
Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität
Fakultät für Architektur

Betreuer:
Peters, Stefan, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Institut für Tragwerksentwurf

März 2014

BAMBOO GARDEN

-eine vertikale Farm-



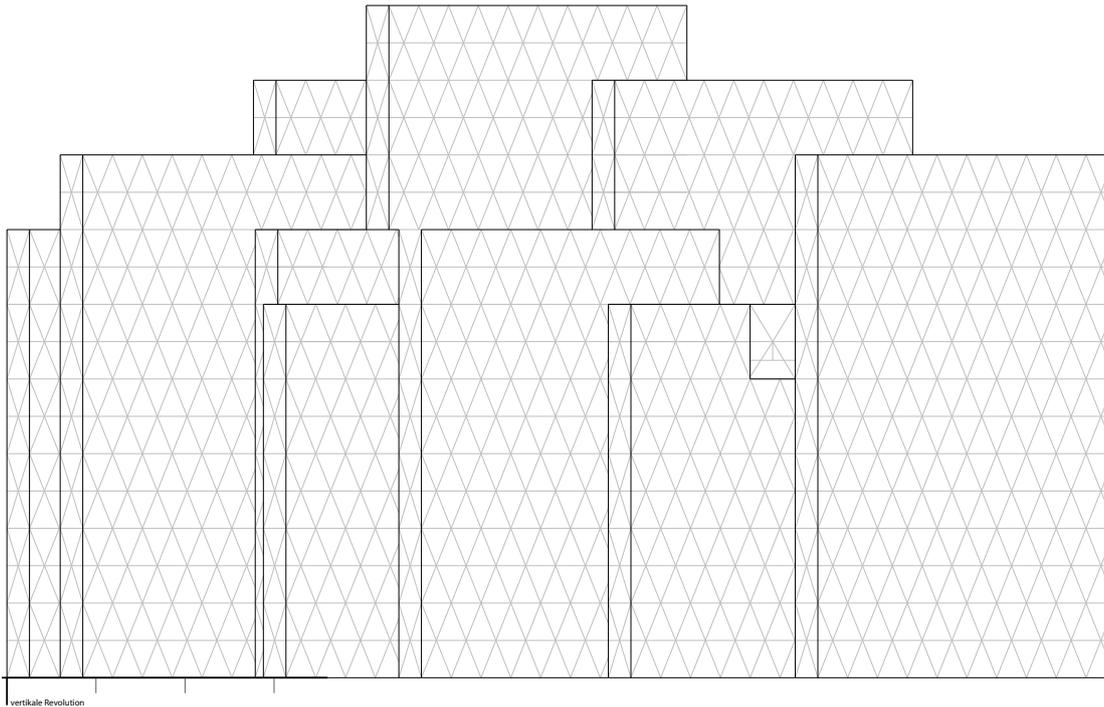
EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am _____

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am _____

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

INHALTSVERZEICHNIS

	¹EINLEITUNG	6
	²ANALYSE	
2.1	Standort	10
	Südkorea	12
	Seoul	16
	Bauplatz	18
2.2	Wettbewerb Auslobung	24
2.3	'Vertical farming'	26
	Definition	28
	Arten	30
	Vorteile	38
	Typologie	40
	Hydrokulturen	42
	Vorteile	43
	Nachteile	44
	Geo / Hydrovergleich	45
	Trägermaterialien	46
	Bewässerung	48
	Aquaponik	54
	Gewächshäuser	56
	Biogasanlage	58
	bestehende Farmen	60
2.4	Vorentwürfe	66
	³WETTBEWERB EINREICHUNG	
3.1	Wettbewerb Einreichung	72
	⁴MATERIALIEN	
4.1	Bambus	82
	Arten	85
	Die Pflanze	92
	Behandlung	93
	Eigenschaften	96
4.2	ETFE	98
	Definition	100
	Bauphysik	103
	Eigenschaften	104
4.3	UHCP	106

	5ENTWURF	
5.1	Belichtungsstudie	110
	Sonnenrose	112
	Tagesverlauf	113
	3D Modell	115
	Raumbelichtung	117
	Lichtbedarf	120
5.2	finaler Entwurf	122
	Konzept	124
	Lage	125
	System	128
	Gebäudeaufbau	133
	Gebäudetechnik	134
5.3	Botanischer Garten	136
	Geschichte	139
	Entwurf	141
	Nutzung	142
	System	144
	Technik	146
	Bewegungsablauf	148
5.4	Statische Berechnung	150
	Vorbereitung	152
	Materialien	153
	Querschnitte	154
	Lasten	156
	Berechnung	158
5.5	Pläne	164
	6KONKLUSION	214
	7VERZEICHNIS	218
	Literatur	220
	Abbildungen	222

EINLEITUNG

Vorwort

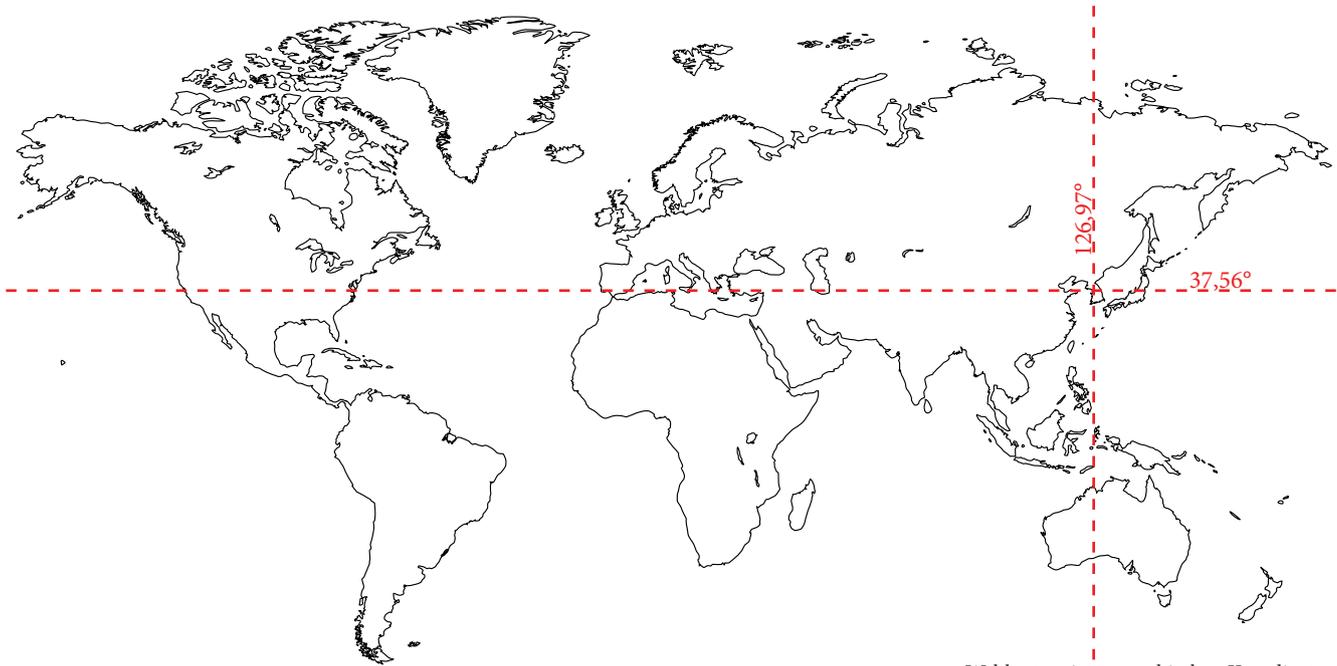
Im Sinne der Forschung und des Interesses, auch Themen zu behandeln, die über den Bereich des Vertrauten hinausgehen, haben wir uns entschlossen, am Wettbewerb von "Super-Skyscrapers" teilzunehmen. Die Technik des vertikalen Anbaus von Nutzpflanzen in Gebäuden ist schon seit langem ein heißes Thema in einschlägigen Medien. Ob in Lehrveranstaltungen während des Studiums, in diversen Architekturzeitschriften oder in zahllosen Ideenwettbewerben, überall tauchen Bilder von riesigen Öko-Wolkenkratzern auf, die zum Anbau von Nutzpflanzen geeignet sind und wirken, als wären sie einem Science-Fiction-Film entnommen. Das Motiv von "grüner" Architektur – ob Modeerscheinung unserer Zeit oder notwendiger Fortschrittsgedanke zur Sicherung der Welternährung – begegnet uns allerorts. Vielleicht ist es einfach die Art und Weise, wie seit Jahrzehnten das System der Landwirtschaft eigentlich immer nur horizontal-flächig geblieben ist, während der Mensch begonnen hat, in der Vertikale zu leben, die unsere Wahrnehmung geprägt hat. Bauparzellen und Raum sind definitiv Bereiche, die in Zukunft immer mehr an Wert gewinnen. Wo also hin mit dem Gemüseanbau? Interessanterweise gibt es trotz all der Ideen für 'vertical farms' bislang keinerlei Realisierung. Vielleicht sind das Thema und die Entwürfe dazu einerseits noch zu futuristisch anmutend, sodass sie

keinen Investor finden. Andererseits wissen wir, dass etwa Steve Jobs, Gründer von Apple, schon 1983 einen Prototyp des heutigen "iPhones", ein Schnurtelefon mit einer Art Touchscreen, benutzte, um sich Notizen zu machen. Das Telefon kam nie in die Serienfertigung, da es noch kein Zielpublikum fand. Futuristische Ideen brauchen etwas wie einen Vorläufer, um die Menschen daran zu gewöhnen. Vielleicht schrecken die vertikalen Wolkenkratzer-Farmen die Leute noch ab? Oder vielleicht besteht ein Zweifel daran, ob all das technisch möglich ist. Auch der Aspekt der unter künstlichem Licht in Massen gezüchteten Nutzpflanzen erinnert eventuell mehr an Legefarmen als an ökologischen Anbau. Unser Fokus und unser Ehrgeiz waren daher von Anfang an darauf ausgerichtet, einen Entwurf zu entwickeln, der eine Brücke zwischen futuristischen Ideen und momentanen Möglichkeiten spannt. Der Denkansatz der Konstruktion einer vertikalen Farm, wo Gemüse dennoch im natürlichen Licht reift, hat uns einfach fasziniert: ein Gebäude, das vorwiegend für Pflanzen gebaut ist und das Landwirtschaft auch in der Vertikale möglich macht.

2.1. STANDORT

Südkorea
Seoul
Bauplatz

Analyse des Standorts.



Weltkarte mit geographischen Koordinaten

SÜDKOREA¹

¹ vgl: Wikipedia, 2013, Südkorea

Südkorea ist Teil der Koreanischen Halbinsel. Seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges trennt die demilitarisierte Zone Korea in zwei Hälften. Nordkorea ist das einzige direkt an Südkorea angrenzende Nachbarland. Südkorea ist im Osten, Süden und Westen vom Pazifischen Ozean umgeben. Im Westen verbindet das Gelbe Meer Südkorea mit China, im Süden befindet sich das Ostchinesische Meer. Über die Koreastraße, die Meerenge zwischen Korea und Japan, verbindet sich das Ostchinesische Meer mit dem im Osten von Korea liegenden Japanischen Meer, welches in Südkorea schlicht Ostmeer genannt wird.

Einwohnerstatistik Südkorea

Fläche: 99.392 km²

Einwohner: ca. 50.000.000

Bevölkerungsdichte: 490/km²

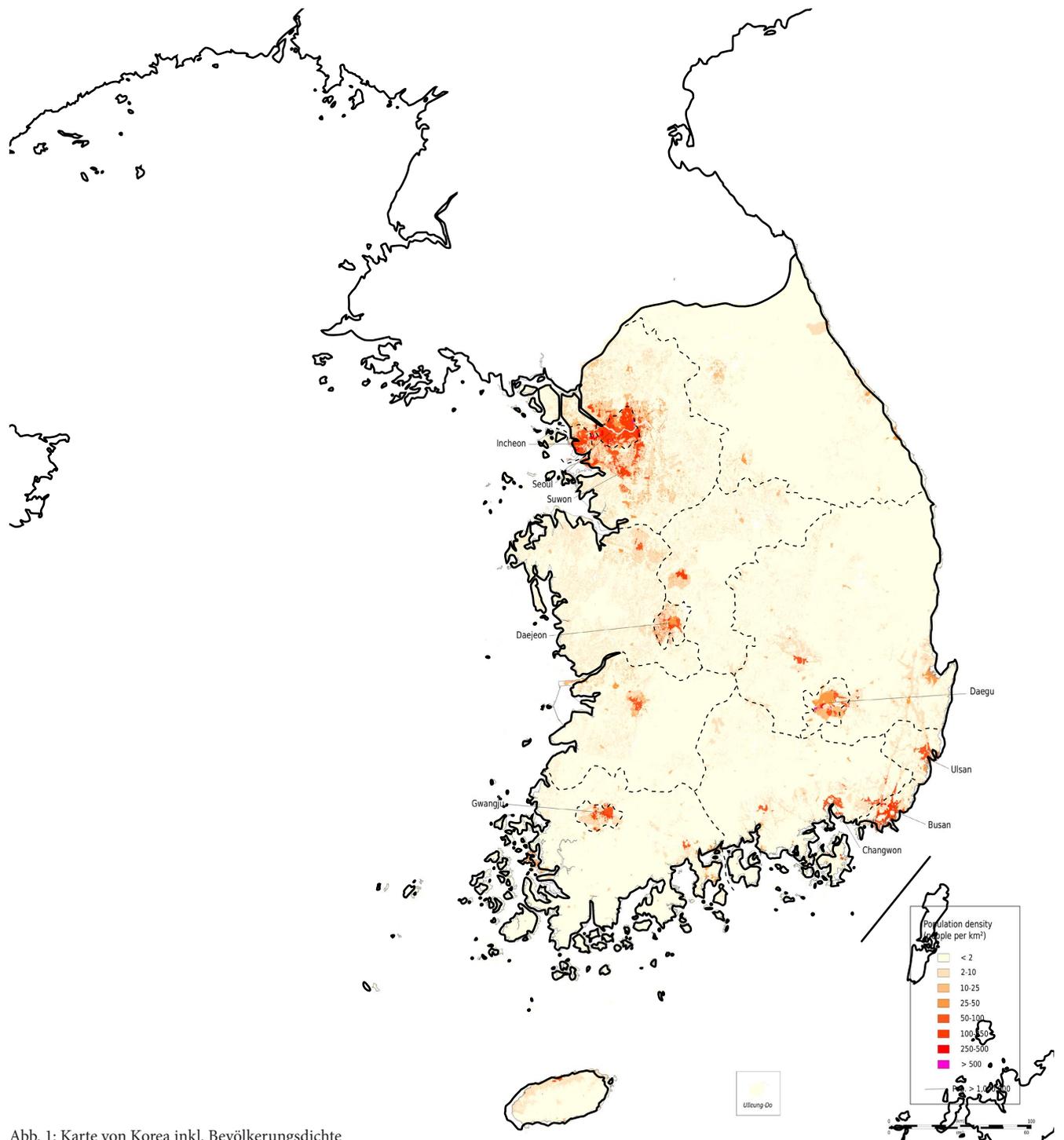


Abb. 1: Karte von Korea inkl. Bevölkerungsdichte



Abb.2: Topographie Südkorea

Bedingt durch ein gebirgiges Landesinneres – etwa 70% der Landesfläche sind Gebirge – befinden sich die bevölkerungsreichen Gebiete an der ebenen, dennoch hügeligen Westküste und im Südosten des Landes. Nur etwa 20% der Fläche Südkoreas sind als landwirtschaftliche Nutzfläche geeignet. Südkorea befindet sich, bezogen auf die Ernährungssicherheit, auf dem fünftletzten Platz weltweit. Wegen der hohen Bevölkerungsdichte bei relativ geringer Anbaufläche ist Korea stark auf den Import von Lebensmitteln angewiesen: Wurden 1963 ca. 63% der Lebensmittel importiert, stieg der Wert 2010 auf über 90%. Der Anteil der Bauern an

der Gesamtbevölkerung hat sich im gleichen Zeitraum von 63% auf unter 10% reduziert. Hauptnahrungsmittel ist Reis. Dieser wird auf 80% der landwirtschaftlich genutzten Fläche angebaut. Daneben werden Getreide, Soja, Kartoffel, Obst und Gemüse angebaut. Die Viehzucht gewinnt immer mehr an Bedeutung. Dies ist auf den steigenden Wohlstand und eine immer größer werdende städtische Bevölkerung zurückzuführen. Eine weitere Nahrungsmittelquelle ist die Fischzucht. In Küstennähe wurden die Fischbestände aufgrund von Überfischung sehr stark minimiert. Die Fischerei ist reguliert.^[3,4]

3 http://de.wikipedia.org/wiki/Wirtschaft_S%C3%BCdkoreas

4 <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/kampf-gegen-welthunger-ackerbau-im-wolkenkratzer-a-773724.html>



Abb.3: Reisfeld in Südkorea

SEOUL⁴

⁴ vgl: Wikipedia, 2013, Seoul

Abb 5 (rechts): Klimadiagramm von Seoul

Die Hauptstadt Seoul im Nordwesten des Landes ist mit 10 Millionen Einwohnern die größte Stadt. In der Metropolregion Sudogwon leben etwa 25 Millionen Menschen und somit etwa die Hälfte aller Bewohner von Südkorea. Sie ist nach Tokio die zweitgrößte Agglomeration der Welt. Die Stadt hat eine lange Geschichte, sie wurde 18 vor Christus gegründet. Sie diente schon während der Joseon-Dynastie und dem Koreanischen Reich als Hauptstadt. Seoul liegt 87m über dem Meeresspiegel und ist eng mit der angrenzenden Hafenstadt Incheon verbunden. Die Stadt wird

von einigen Gebirgszügen umgeben. Im Stadtzentrum ist der Berg Namsan mit 265 Meter Höhe die größte Erhebung. Der Fluss Han durchfließt die Stadt von Ost nach West. Etliche Nebenflüsse münden innerhalb des Stadtgebiets in den Han. Früher war der Fluss eine wichtige Handelsroute für den Austausch von Gütern mit China.

Einwohnerstatistik Seoul

Fläche: 605,21 km²

Einwohner: 10,581,728

Bevölkerungsdichte: 17,000/km²

Metropolregion: ca. 23.960.000 EW



Abb.4: Stadtzentrum Seoul

Monatliche Durchschnittstemperaturen und -niederschläge für Seoul

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Max. Temperatur (°C)	1,6	4,1	10,2	17,6	22,8	26,9	28,8	29,5	25,6	19,7	11,5	4,2	Ø 16,9
Min. Temperatur (°C)	-6,1	-4,1	1,1	7,3	12,6	17,8	21,8	22,1	16,7	9,8	2,9	-3,4	Ø 8,3
Niederschlag (mm)	21,6	23,6	45,8	77,0	102,2	133,3	327,9	348,0	137,6	49,3	53,0	24,9	Σ 1.344,2
Sonnenstunden (h/d)	5,2	6,0	6,4	6,6	7,4	6,1	3,9	4,9	5,9	6,7	5,0	4,6	Ø 5,7
Regentage (d)	7,1	6,0	6,8	8,0	8,8	10,0	15,5	13,8	8,7	6,6	9,0	7,3	Σ 107,6
Wassertemperatur (°C)	5	4	4	8	10	18	21	24	21	18	13	7	Ø 12,8
Luftfeuchtigkeit (%)	66	65	65	63	64	73	82	79	73	68	67	67	Ø 69,4

Seoul liegt etwa auf dem 37. Breitengrad und damit auf einer Höhe mit Athen und San Francisco. Das Klima in Seoul lässt sich als gemäßigt bezeichnen, wobei

der Sommer durch den Monsun geprägt ist. Die Jahreszeiten sind sehr ausgeprägt. Der Winter ist kalt und bietet kaum Niederschläge, die Temperaturen schwanken sehr

stark. Im Sommer ist es heiß und feucht, etwa 70% der Regenfälle fallen während der Monsunzeit. Die meisten Sonnenstunden gibt es im Frühling und im Herbst.



BAUPLATZ⁵

5 vgl: Superskyscraper, 2013, Competition 03 - Seoul

Unser Planungsgebiet befindet sich im Osten des Stadtzentrums im Bezirk Jongno-gu. Das Areal befindet sich an der Grenze zwischen modernem Zentrum mit Hochhausbebauung im Westen und herkömmlichen Wohn- und Geschäftsgebäuden im Osten. Es ist anzunehmen, dass die herkömmliche Bebauungsstruktur in Zukunft modernen Gebäuden weichen wird. In der Umgebung befinden sich viele touristische Attraktionen, darunter einige historische Bauwerke. Aus der Zeit der Joseon-Dynastie stammen viele historische Paläste und Burgen. Im Stadtzentrum wurden fünf bedeutende Paläste gebaut. Sie

liegen alle in den heutigen Bezirken Jongno-gu und Jung-gu. In Nord-Süd-Richtung verläuft eine wichtige innerstädtische Verkehrsroute. Etliche U-Bahnlinien befinden sich in der Nähe zum Planungsgebiet. Der künstliche Wasserlauf Cheonggyecheon fließt direkt nördlich an dem Bauplatz vorbei. Der Cheonggyecheon ist ein ehemaliger Fluss, welcher vom Stadtzentrum Richtung Osten fließt und in den Han-Fluss mündet. Viele Jahre befand sich eine innerstädtische Schnellstraße über dem Fluss, ehe er 2005 aufwendig restauriert wurde. Ein künstlich angelegter Flusslauf dient seither der Erholung.



Abb.6: Changdeokgung Palast



Abb.7: Samsung Hauptquartier

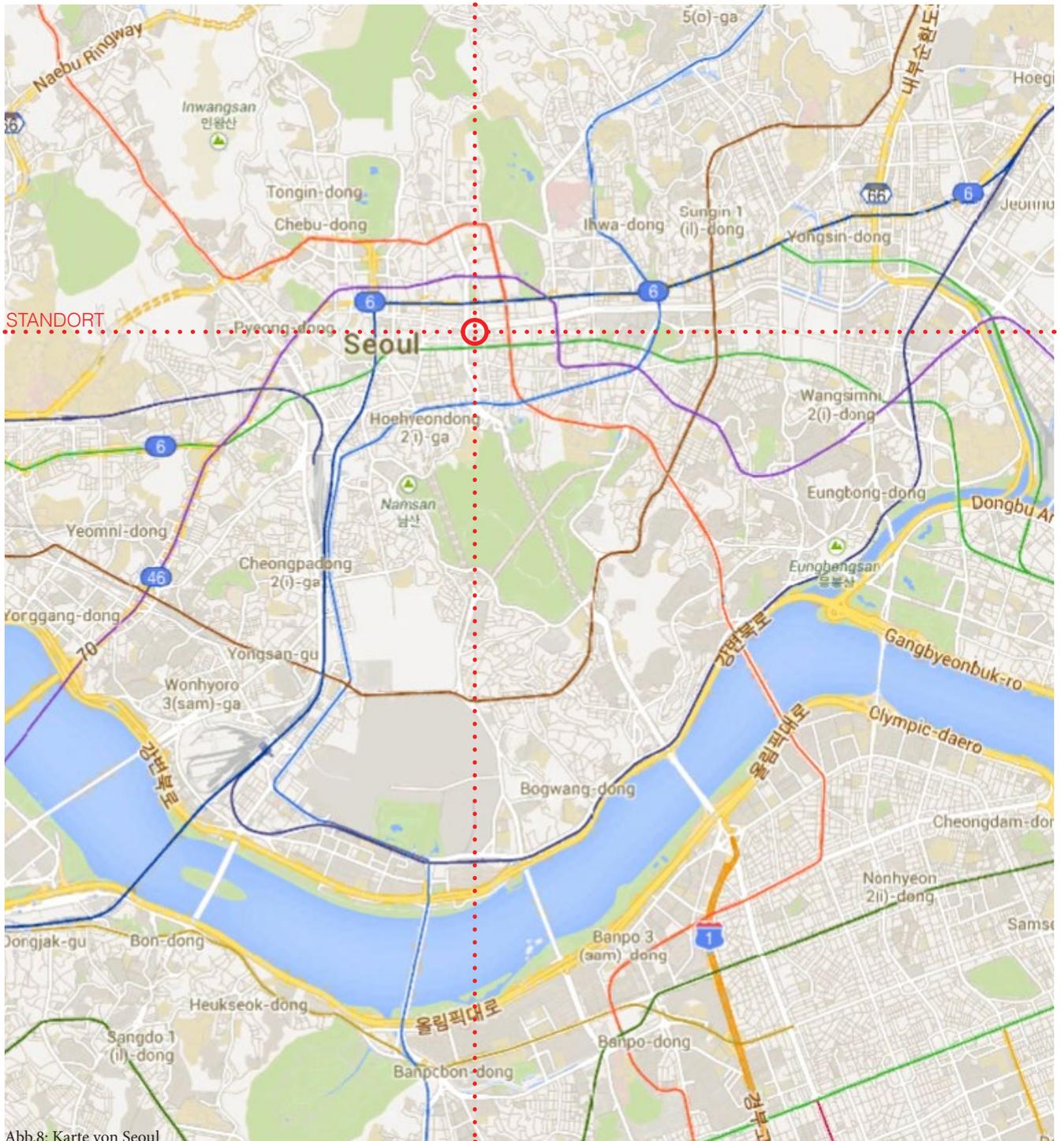
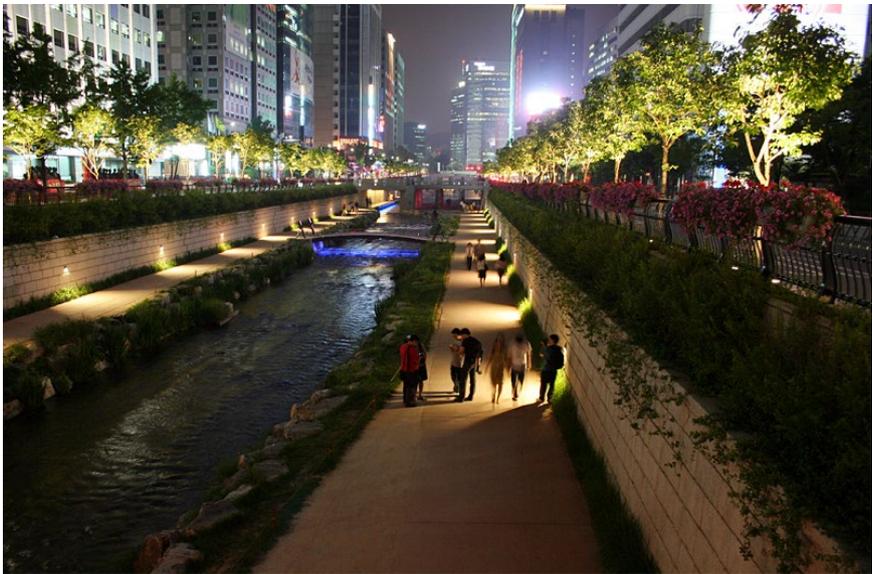


Abb.8: Karte von Seoul

CHEONGGYECHEON

Abb. 9 & 10: Cheonggyecheon



BAUPLATZ

Abb11 & 12: Streetview Aufnahmen



2.2 Wettbewerb Auslobung

WETTBEWERB⁵

Vertical Farm & Botanical Gardens

Die Auslobung des Ideenwettbewerbs von Superskyscrapers war es, eine vertikale Farm & botanischen Garten im Zentrum von Seoul zu entwerfen.

Die Auslobung dafür hatte folgende Inhalte:

Im Wettbewerb soll ein hochqualitatives, urbanes Konzept für eine Vertical Farm und botanische Gärten gefunden werden, welche hohe Maßstäbe bezüglich urbaner, moderner Landwirtschafts- bzw Grünerholungs-Designmöglichkeiten im Hochhausstil in Seoul setzt.

Dieses Ziel erfüllt ein Entwicklungsprojekt bestmöglich, wenn es

- einen visuellen Focus bietet, der die lokalen Möglichkeiten, eine urbane (städtische) Vertical-Farm zu designen, verstärkt
- hochqualitatives Design widerspiegelt und in den baulichen Kontext der unmittelbaren Umgebung passt
- sich positiv auf die Community und die Örtlichkeit auswirkt
- die natürliche Topografie der Umgebung ausnützt, um interessante Formen der vertikalen Integration und Zirkulation zu verwirklichen
- Anwendungen anregt, die in einem direkten Verhältnis zur Idee des Vertical Developments stehen, einfallsreich und qualitätsbewusst ist, sowie den optischen Eindruck der Umgebung verstärkt und die

Skyline bereichert

- das Entwicklungspotential maximiert in Bezug auf Nachhaltigkeit und Ökologie und

Design Vorgaben:

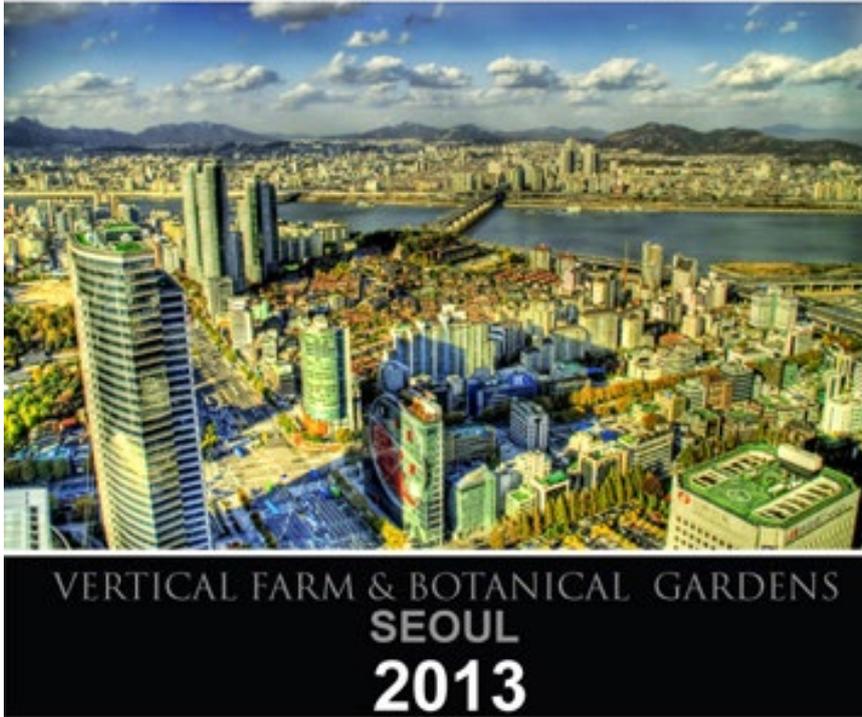
Der Vertical-Farm- und Botanische-Gärten-Konzeptentwurf sollte folgende Elemente beinhalten:

- einen Landwirtschaftsbetrieb
- einen botanischen Garten zwecks Entspannung und Betrachtens von Bäumen und Pflanzen
- Bewässerungssysteme
- die Idee der Selbstversorgung und eines ökologischen Kreislaufs sollen berücksichtigt werden



WETTBEWERB

5 - Superskyscrapers, Vertical Farm & Botanical Garden
SkyScraper - Seoul, <http://www.superskyscrapers.com/viewResultscat.asp?id=10001>, 15.05.2013



DEFINITION⁶

⁶ vgl. Wikipedia.de, 2013, Vertical Farming

Unter 'Vertical Farming' bezeichnet man den Anbau von Nutzpflanzen in mehrgeschossigen Gebäudestrukturen. Hierbei können Obst & Gemüse, Kräuter, Pilze, Algen sowie Nutztiere gezüchtet werden. Es gilt, möglichst effizient vorzugehen. Ressourcen schonende und ertrags maximierende Prozesse zu entwickeln ist die Kernaufgabe der Vertikalen Farm. Hierfür werden Gewächshausbedingungen geschaffen. Diverse Technologien helfen dabei die Pflanzen zu schützen und ihr Wachstum zu optimieren.

Besonderes Augenmerk wird auf Kreislaufwirtschaft gelegt: Es wird versucht, alle eingesetzten Rohstoffe im System zu behalten und wieder zu verwerten. So wird zum Beispiel die Feuchtigkeit, welche die Pflanzen in die Luft abgeben, aufgesammelt und wieder dem System zugeführt.

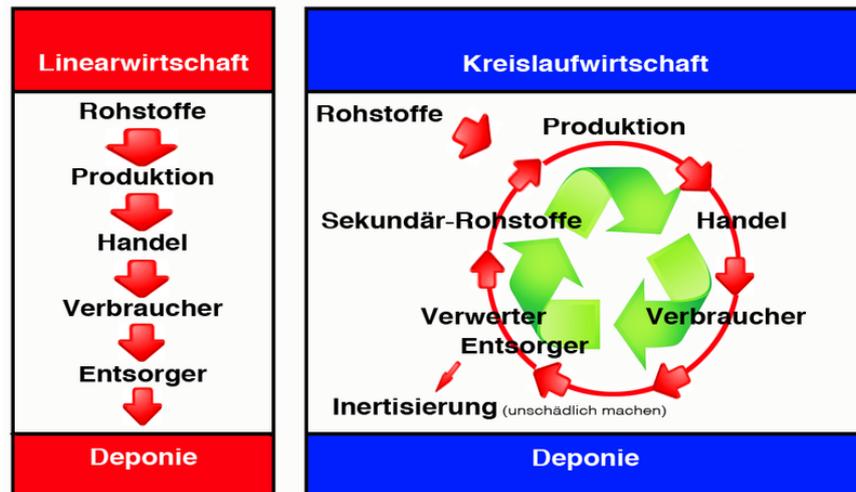
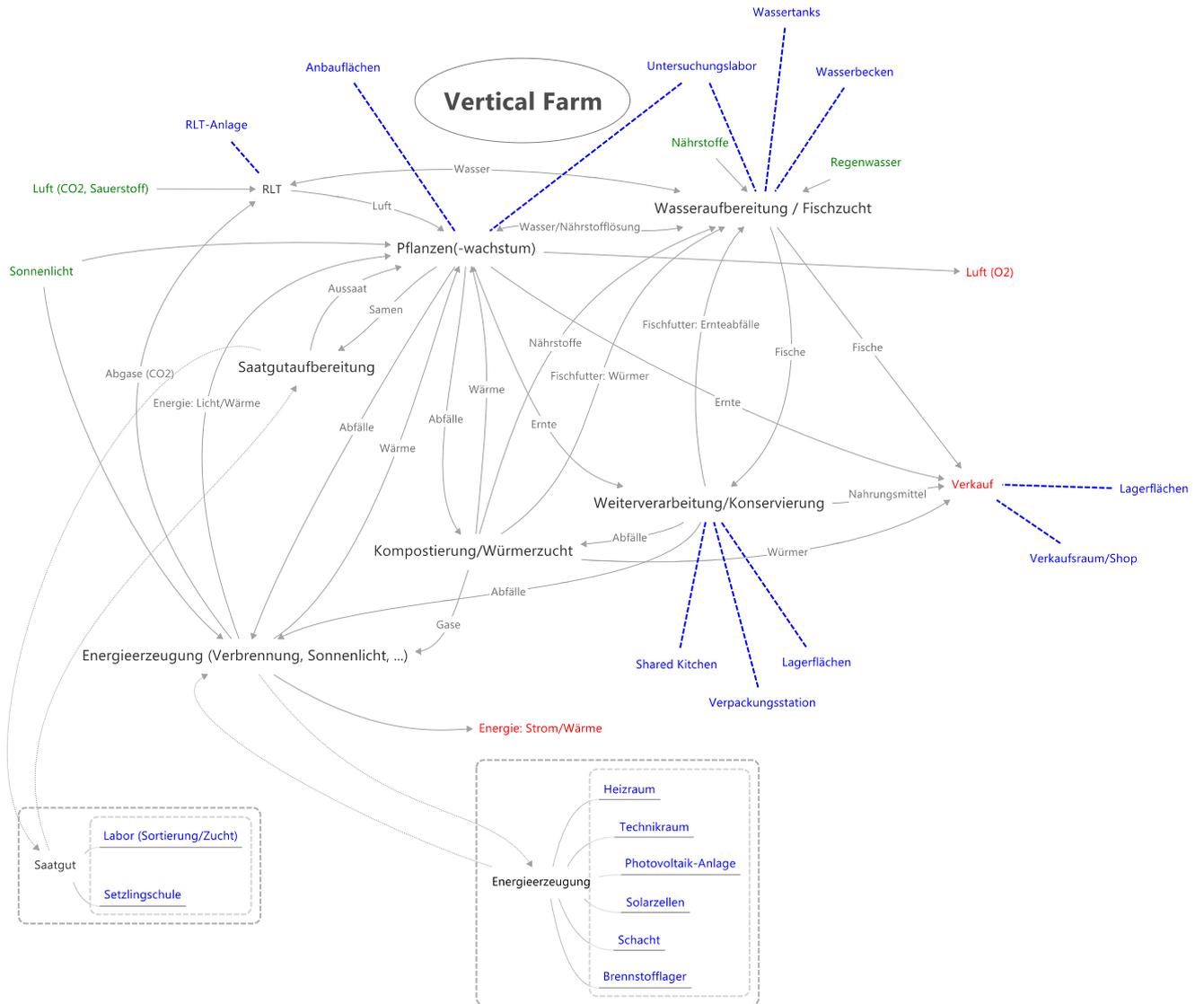


Abb. 14: Vergleich: Linearwirtschaft und Kreislaufwirtschaft



ARTEN VON VERTIKALEN FARMEN

Vertikale Farm im Mischnutzen

Anbauflächen werden in Freiflächen von Hochhäusern integriert. In Atrien und an der Fassade von Bürogebäuden sowie an Wohnhäusern können sie einem gemeinschaftlichen sowie privaten Nutzen dienen. Sinnvoll wäre eine Vertikale Farm an den der Sonne zugewandten Ost-, Süd- und Westfassaden des Gebäudes.

Für das Gebäude und seine Benutzer kann diese Form der Vertikalen Farm zu einem verbesserten Raumklima führen. Die Möglichkeit einer organischen Beschattung ist ebenfalls gegeben. Durch die Integration in andere Nutzungsbereiche werden die Herstellungskosten für die Vertikale Farm deutlich reduziert.

Für einen kommerziellen Nutzen ist diese Form der Vertikalen Farm eher ungeeignet: Durch die Integration

in von Menschen genutzten Räumen kann das Klima nicht perfekt auf die jeweiligen Nutzpflanzen angepasst werden. Für den Schutz der Pflanzen ist ein höherer Pflegebedarf von Nöten, da die Pflanzen nicht mehr vor Schädlingen und Keimen geschützt sind. Dadurch kann es zu einer Verringerung der Ernte kommen.

Unser Wettbewerb sieht einen Mischnutzen mit Büros und Wohnungen nicht vor. Die Farm in die Fassade des botanischen Gartens zu integrieren wäre möglich, jedoch mit Einbußen für die natürliche Belichtung des botanischen Gartens. In einer räumlichen Durchmischung mit dem botanischen Garten wäre keine optimale Belichtung für die Nutzpflanzen gewährleistet, auch die Pflege der Pflanzen wäre aufwendiger. Ernteerträge können stark variieren.



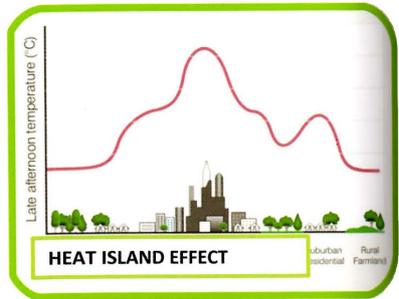
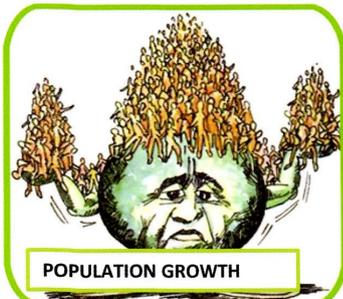
Abb. 15: Farming im Büro

Despommier's Vertikale Farm⁷

In seinem Buch 'The Vertical Farm – Feeding the World in the 21st Century' beschreibt Dickson Despommier die Notwendigkeit der Implementierung einer Vertikalen Landwirtschaft in das städtische Gefüge.

Er zeigt die derzeitige Entwicklung der Landwirtschaft mit all ihren Folgen und Nebenwirkungen für die Umwelt und den Menschen auf und erklärt die demographischen Veränderungen der Menschheit. Er beschreibt deren Zusammenhänge und die Einflüsse auf den Menschen und seine Gesundheit. Er beschäftigt sich auch mit den volkswirtschaftlichen und sozialen Folgen, welche die Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten genommen hat. Mit der Vertikalen Landwirtschaft versucht Despommier ein Gegenkonzept zu den derzeitigen Entwicklungen und Methoden darzustellen.

Für Despommier sind Vertikale Farmen eigenständige Strukturen. Im Gegensatz zu anderen Konzepten, welche den Anbau von Nutzpflanzen an der Fassade von Bürogebäuden und Wohnhäusern vorsehen, implementiert Despommier eigenständige mehrgeschossige Farmen in die städtische Landschaft. Diese Gebäude dienen rein dem Zweck des Anbaus, der Züchtung und der Verwertung von Nahrungsmitteln. Es entsteht ein geschlossenes System, welches unter regulierten Bedingungen auf mehreren Ebenen, saisonunabhängig, Pflanzen, Pilze und Tiere erzeugt. Verschiedene bestehende Methoden und Technologien unterstützen seine Theorien und ermöglichen die Chance auf eine Umsetzbarkeit. Seine Idee klingt radikal, Despommier gelingt es aber, die Voraussetzungen für die Entstehung einer Vertikalen Landwirtschaft schlüssig darzustellen.



Courtesy Oliver Foster / O Design (www.odesign.com.au)
Abb. 16: Krisensituationen der Ernährungssicherheit

“The idea of growing crops in tall buildings might sound strange. But farming indoors is not a new concept.”

Despommier 2011, S4

Eine Vielzahl von Pflanzen - Erdbeeren, Tomaten, Kräuter und Gewürze, auch Pilze – wachsen seit etlichen Jahren in Gewächshäusern heran. Diese Gewächshäuser sind von äußeren Umwelteinflüssen weit weniger abhängig als herkömmlich angebaute Pflanzen. Ernteauffälle werden eliminiert. In dieser kontrollierten Umgebung können Pflanzen ihr optimales Wachstum erreichen, dadurch lässt sich eine wesentlich höhere Produktion erreichen, zudem ist der Anbau auch das ganze Jahr

über möglich. Pro Quadratmeter Fläche können wesentlich höhere Erträge erzielt werden. Im Vergleich zum Feldanbau erhöhen sich die Erträge um das 10- bis 20-Fache – bei Erdbeeren bis zum 30-Fachem.

Es ist traurige Realität, dass auch Lebewesen wie Hühner und Fische, auch Schweine und Rinder seit längerem in geschlossenen Räumen gezüchtet werden. Unter gewissen Voraussetzungen könnten auch diese in Vertikale Farmen integriert werden.



Stadt - Land

Die Stadt als Kreislaufsystem, autark in sich funktionierend. Unabhängig und vor allem nicht belastend für seine Umgebung und den Rest der Welt. Für Despommier ist eine Vertikale Landwirtschaft ein wesentlicher Aspekt, um dies zu erreichen.

Eine Stadt, welche ihre Lebensmittel selbst produziert, innerhalb der Stadtgrenzen.

Eine Stadt, die all ihre Abwässer selbst reinigt und in das System zurückführt.

Eine Stadt, die sich selbst von ihren Schadstoffen reinigt.

Eine Stadt, die ihren Müll und ihre Abfälle komplett verwertet und recyceln kann.

Eine Stadt, die genügend Energie für alle Bewohner zur Verfügung stellt.

Despommier geht es bei der Implementierung einer Vertikalen Landwirtschaft mit Hilfe von Hydro-

“So, the real question is, can a city bio-mimic an intact ecosystem with respect to the allocation and use of essential resources and, at the same time, provide a healthy, nurturing, sustainable environment for its inhabitants?”

und Aquakulturen innerhalb der städtischen Struktur vor allem um zwei Punkte: Die Produktion von Nutzpflanzen, um die steigende Anzahl städtischer Bewohner zu ernähren ohne dabei die Umwelt weiter zu belasten, und die Rückwandlung von bestehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen in Naturlandschaften. Dadurch soll eine Diversität an Pflanzen und Tieren erhalten bleiben. Lebensräume für Pflanzen und Tiere entstehen, diese dienen den Menschen zur Erholung.

Despommier 2011, S21



Stadt - Natur

[PROBLEM]

Feeding the World: Another Brazil

Growing food and raising livestock for 6.8 billion people require land equal in size to South America. By 2050 another Brazil's worth of area will be needed, using traditional farming; that much arable land does not exist.

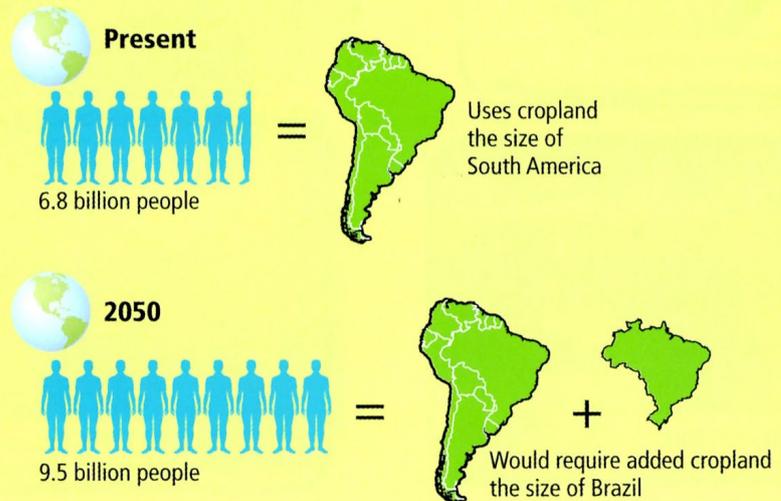


Abb. 17: Bedarf an Agrarfläche bei steigender Bevölkerung

Ca 7 Milliarden Bewohner leben derzeit auf unserem Planeten, Tendenz stark wachsend. Bis 2050 soll die Menschheit um weitere 2,5 Milliarden auf ca. 9,5 Milliarden anwachsen. Um diesem Bevölkerungsanstieg gerecht zu werden, wird mit herkömmlichen Anbaumethoden

Agrarfläche in der Größe von Brasilien benötigt. Nachdem diese Fläche an ungenutztem Agrarland nicht existiert, versucht Despommier diesem Problem mit Vertikalen Farmen entgegen zu wirken. Die Produktion der Lebensmittel wird zu den Konsumenten verlagert.



Abb. 18: VertiCrop System

VORTEILE VON VERTICAL FARMING

Despommier 2011, 146ff

G a n z j ä h r i g e Nahrungsmittelproduktion

Geschlossene Systeme mit kontrollierter Umgebung schaffen eine ganzjährige Produktion von Nahrungsmitteln. Mehrere Erntesaisonen können innerhalb eines Jahres stattfinden. Dies ermöglicht eine ganzjährige Ausnutzung des Gebäudes und garantiert somit eine ganzjährige Versorgung der Bevölkerung.

Keine Ernteausfälle durch Umwelteinflüsse

Durch den Wegfall von Trockenzeit und Überflutungen und eine kontrollierte Bewässerung werden Ernteausfälle vermieden. Dadurch werden die Ernteerträge berechenbarer und können auf die Bedürfnisse der Bevölkerung abgestimmt werden.

Keine Verunreinigung der Böden und der Luft

Geschlossene Wasserkreisläufe verhindern das Eindringen von Schadstoffen in die Böden. Das Erdreich wird nicht mit Düngemitteln und Pestiziden verseucht.

Traktoren und andere Maschinen, die das Agrarland bearbeiten, werden überflüssig und bedürfen somit keiner fossilen Brennstoffe. Die damit einhergehenden Luftverschmutzungen werden verringert.

Rückgewinnung von Naturraum

Die Umwandlung bestehender landwirtschaftlicher Flächen, in den meisten Fällen Monokulturen, zu Naturräumen wird durch die Verlagerung des Anbaus in die Stadtzentren ermöglicht. Die Restaurierung von Ökosystemen kann mit Hilfe natürlicher Sukzession geschehen. Beispiele dafür sind demilitarisierte Zonen wie etwa zwischen Nord- und Südkorea.

Keine Pestizide, Unkrautvernichtungsmittel und Düngemittel

Der Anbau in kontrollierten Systemen schützt die Pflanzen vor Schädlingen. Auf Pestizide und Herbizide kann weitgehend verzichtet werden. Diese Giftstoffe gelangen daher nicht in die Pflanzen und das Erdreich. Somit stellt die Landwirtschaft keine Belastung für die Bevölkerung und die Natur dar.

70 – 95% weniger Wasserverbrauch

Durch den Einsatz von Hydrokulturen und Kreislaufsystemen wird der Wasserverbrauch drastisch reduziert. Versickerndes und verdunstendes Wasser wird aufgefangen und verbleibt im Kreislauf.

Reduzierung von Transportwegen

Die Produktion in der Nähe des Verkaufs und somit in der Nähe der Konsumenten reduziert die Transportwege und damit die Umweltbelastungen.

Mehr Kontrolle über Nahrungsmittelsicherheit

Durch den Wegfall von Umwelteinflüssen mit den dadurch entstehenden Ernteaussfällen, sowie eine ganzjährige Produktion kann eine Nahrungsmittelsicherheit eher gewährleistet werden. Im Falle einer flächendeckenden Implementierung von Vertikalen Farmen ist es möglich, den Bedarf der unmittelbaren Bewohner zu decken. Die Abhängigkeit von Drittstaaten wird reduziert.

Neue Beschäftigungsmöglichkeiten

Vertikale Farmen bieten eine Vielzahl an spezialisierten Arbeitsmöglichkeiten. Neben Arbeitsplätzen in den Vertikalen Farmen (Anbau und Ernte, Kontrolle, Anzucht, Verkauf, Verwaltung, Technik) werden auch im Bereich der Forschung und Entwicklung neue Technologien und damit verbundene Arbeitsplätze entstehen.

Reinigung von Grauwasser

Vertikale Farmen können natürliche Kläranlagen in ihre Kreisläufe integrieren. Sie können Grauwasser in Trinkwasser umwandeln und dieses für angrenzende Gebiete bereitstellen.

Produktion von Tierfutter

Tierfutter kann aus Pflanzenresten gewonnen werden. Auch dem Kompostierungsprozess können Würmer entnommen und zu Tierfutter verarbeitet werden. Tierfutter kann den Eigenbedarf für Aquaponik-Kulturen decken oder verkauft werden.

TYOLOGIE

Despommier 2011, 177ff

Eine einheitliche Typologie für Vertikale Farmen hat sich noch nicht entwickelt. Bis jetzt gibt es erste Versuche, eine Vertikale Landwirtschaft in die Realität umzusetzen. Demnach sind bei der Planung einer Vertikalen Farm folgende Punkte zu beachten:

Einfangen von Sonnenlicht und gleichmäßige Verteilung auf die Nutzpflanzen.

Durch eine optimale und gleichmäßige Verteilung von natürlichem Sonnenlicht kann der Einsatz von künstlichen Lichtquellen reduziert werden. Das Einsparen von Energie ermöglicht es einer Vertikalen Farm konkurrenzfähig zu agieren.

Implementierung von Konzepten zur Energiegewinnung

Eigenständige Energiegewinnung ermöglicht es einer Farm autark zu handeln und Kosten zu reduzieren. Energie kann durch äußere Einflüsse (Geothermie, Wind, Sonnenlicht, etc.) oder durch interne Prozesse (Verbrennen von Abfällen und Gasen, Nutzung von Wärme z.B. bei der Kompostierung) erzeugt werden.

Schaffung einer kontrollierten Umgebung zum Schutz der Pflanzen

Der Schutz der Pflanzen vor Viren, Bakterien, Pilzen und Würmern kann durch die Schaffung von Laborbedingungen ermöglicht werden. Dadurch kann auf Pflanzenschutzmittel verzichtet

werden. Die Nutzpflanzen sind auch vor größeren Tieren, die die Ernte fressen, geschützt. Darüber hinaus ermöglicht das System die Kontrolle vor Temperatur, Sonneneinstrahlung und Luftfeuchtigkeit, um den Pflanzen die perfekten Bedingungen für das Wachstum zu geben.

Maximierung der Anbauflächen

Ziel der Vertikalen Farm ist es die Anbaufläche zu optimieren. Zum einen sollte das Gebäude so strukturiert sein, dass möglichst viel Fläche zum Anbau von Pflanzen bereit steht. Zum anderen sollte die Anbaufläche selbst möglichst optimierte Abstände der einzelnen Pflanzen bieten. Diese variieren sowohl vertikal als auch horizontal für die unterschiedlichen Nutzpflanzen.

Die Vertikale Farm benötigt neben den abgeschlossenen Räumen mit den Anbauflächen eine Reihe weiterer Funktionsräume.

Büroräume für Management

Labore für Wissenschaftliches
Personal zur Qualitätskontrolle
(Nährstoffe, Krankheitsbefall, Ertrag)

Aufenthaltsräume für Mitarbeiter

Kontrollzentrum für die Schaffung
der optimalen Klimabedingungen:

Pflanzenschule zur
Saatgutgewinnung (Selektierung,
Aussaat)

Weiterverarbeitung von Gütern (zB
Shared Kitchen)

Markt

Lagerräume

Restaurant

Abfall- & Recyclingcenter

Erschließungszone

HYDROKULTUREN^{8,9}

8 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen
- Alles über Hydrokultur 2013, Hydrokultur

9 vgl. Wikipedia, 2013, Hydrokultur



Abb. 19: Hydroponic System - NFT

Erst der Einsatz von Hydrokulturen macht einen Anbau in Gebäuden sinnvoll. Durch den Verzicht auf Erde als festen Boden für die Pflanzen lässt sich die Nährlösung gezielter an die Wurzeln der Pflanzen bringen. Die Wurzeln der Pflanzen stecken hierbei entweder in einem leichten, porösen

Medium und nicht in einem festen Substrat bzw. schwimmen in einer Nährlösung. Für das Wachstum der Pflanze verantwortlich zeigt sich eine ausreichende Versorgung mit Wasser, Sauerstoff und Nährstoffen. Zusätzlich muss für eine physikalische Stabilität der Pflanze gesorgt sein.

VORTEILE VON HYDROKULTUREN¹⁰

¹⁰ vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Vorzüge von hydro

Verzicht auf Erde

Durch den Verzicht auf Erde kann auch an Orten angebaut werden, an denen Erdreich nicht zur Verfügung steht. In Hinblick auf die Vertikale Farm lässt sich dadurch enorm an Gewicht einsparen, die Konstruktion kann dadurch leichter werden.

Geringer Wasserverbrauch

Mit der Hilfe von Hydrokulturen ist es möglich, den Verbrauch von Wasser im Vergleich zu herkömmlichen Anbaumethoden stark zu reduzieren. Das Wasser verweilt im System und wird wieder verwendet. Im Vergleich zum herkömmlichen Anbau am Feld lassen sich dadurch zwischen 70% und 95% an Wasser einsparen.

Kontrolle von Nährstoffen

Die Menge und Art der Nährstoffe lässt sich bestimmen und individuell auf jede Pflanze abstimmen. Im System gehen keine Nährstoffe verloren.

Keine Belastung für die Umwelt und die Pflanzen

Ein geschlossenes System ermöglicht, dass keine Belastungen in

die Umwelt gelangen. Auf Pestizide und Herbizide kann weitgehend verzichtet werden. Dadurch wird nicht nur die Umwelt geschützt, der Endverbraucher profitiert auch von pestizidfreien Lebensmitteln.

Stabile und Hohe Erträge

Da die Nährstoffe direkt und dauerhaft an die Wurzeln gelangen und äußere Umwelteinflüsse (Dürre, Überschwemmungen, Jahreszeiten, ...) keine Einflüsse haben, erhöhen sich die Ernteerträge massiv. Es wird der Ertrag pro Ernte erhöht, auch sind mehrere Erntesaisonen in einem Jahr möglich.

Schutz vor Schädlingen und Keimen

Als geschlossenes System bietet Hydroponik mehr Schutz vor Schädlingen und Krankheiten. Die Kontrolle von Pflanzen ist leichter und ein Befall lässt sich schneller entdecken und einfacher entfernen. Durch den Verzicht auf Erde können einzelne kranke Pflanzen problemlos aus dem System entfernt werden, ohne befürchten zu müssen, dass andere Pflanzen befallen werden.

NACHTEILE HYDROKULTUREN¹¹

11 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Nachteile

Hohe Luftfeuchtigkeit

Durch erhöhte Luftfeuchtigkeit im System kann es zu Beeinträchtigungen der Pflanzen kommen. Wurzelfäule sowie Salmonellenwachstum werden gefördert.

Unterschiedliche Systeme für Pflanzenarten

Für verschiedene Pflanzen müssen unterschiedliche Systeme verwendet werden. Die Haltevorrichtungen für die Pflanzen variieren je nach Größe und Wurzelbildung. Da die Nährstoffkomposition auf jede Nutzpflanze angepasst, wird ist eine Durchmischung der Pflanzen nicht sinnvoll.

Wartung des Systems

Aufgrund ihrer teilweise größeren Komplexität im Vergleich zum herkömmlichen Anbau sind Hydroponische System wartungsanfälliger. Ein Systemausfall kann unter Umständen auch zu Ernteaussfällen führen. Mängel im Bewässerungssystem wirken sich wesentlich schneller auf die Pflanze aus und können zu eklatanten Ernteaussfällen führen.

GEO / HYDRO VERGLEICH

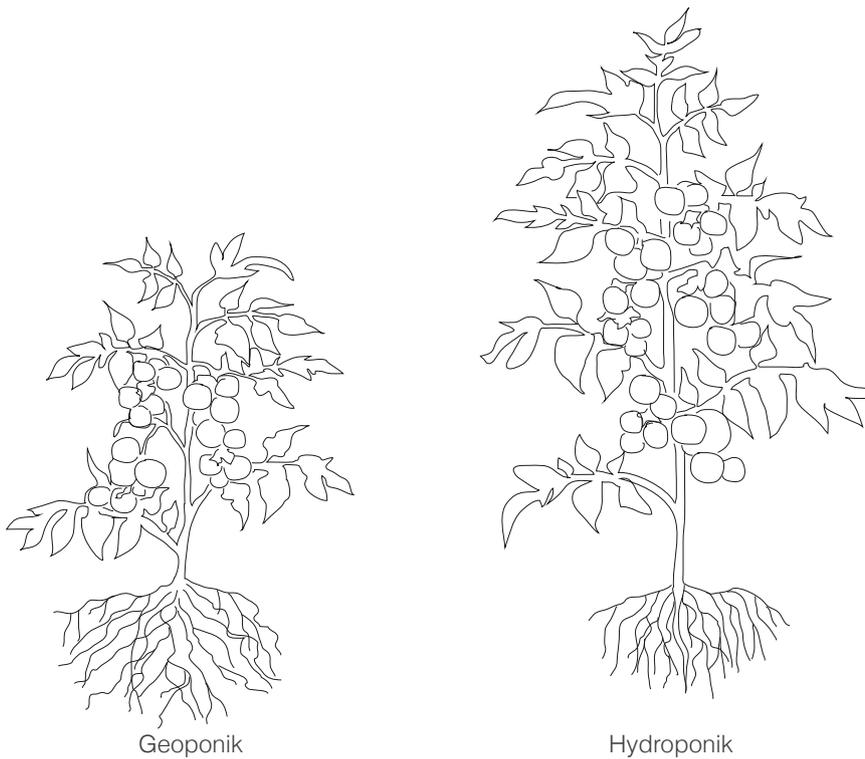


Abb.: Unterschiedliche Entwicklung von Geoponik- und Hydroponik-Pflanzen: Geoponisch gezogene Pflanzen benötigen für die Nährstoffaufnahme ein größeres Wurzelwerk als Pflanzen in Hydrokultur. Die Pflanze in Hydrokultur kann Nährstoffe leicht aufnehmen. Die nicht verwendete Energie kann in Pflanzenwachstum und eine größere Blütenausbildung gesteckt werden. Es ergeben sich wesentlich höhere Erträge.

ARTEN VON HYDROKULTUREN¹²

¹² vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Hydro Substrate

Für den Anbau als Hydrokultur gibt es mehrere Möglichkeiten:

Grundsätzlich unterscheidet man die Materialien, in denen sich die Wurzeln ausbilden, und die Art und Weise, wie Wasser bzw. Nährstoffe an die Wurzeln gelangen.

Die Kultivierung erfolgt durchwegs in **Trägermaterialien**, wobei das Substrat die Wurzeln komplett einschließt oder die Wurzeln durch dieses hindurch ragen.

Verschiedenste Materialien für unterschiedliche Anwendungen stehen zur Verfügung. Zusätzlich ist es auch möglich, die Pflanzen komplett ohne Trägermaterial zu stützen, hierbei wird die Pflanze selbst gehalten, die Wurzeln hängen frei in die Nährstofflösung. Folgende Materialien werden eingesetzt:

Blähton

Gebrannte aufblähte Tonkugeln, pH-neutral, nach Reinigung wiederverwendbar, speichert Wasser



Steinwolle

Geschmolzener Stein wird zu Fasern verarbeitet, weit verbreitet, recyclebar, speichert Wasser,



Perlit

Leichter vulkanischer Stein, Verwendung: lose bzw. in Kunststoffbehältern, schwimmt.



Kokosfasern

Aus der Schale der Kokosnuss, mit Trichoderma-Bakterien behandelt erhöhen sie das Wurzelwachstum und schützen diese, gutes Luft/Wasserverhältnis, organisch, nachhaltig.



Vermiculit

Gebälhtes Mineral, absorbiert Wasser und gibt es langsam an seine Umgebung ab.



Diahydro

Versteinerter Rest der Kieselalgen, enthält Kieselerde (stärkt Zellstruktur und Wachstum der Pflanze), absorbiert Wasser bis zu 150% des Eigengewichts. Scharfe Kanten verhindern das Einnisten von Insekten [Produktinformationen: <http://www.britcropshydroponics.co.uk/Growing-Media/Pebbles-and-Mixers/Diahydro-Growing-Media-40L.html>]

Ziegelsteinscherben

Kleine Ziegelsteinfragmente, Wasser wird in Poren gespeichert.



Styropor-Flocken

Sehr leichte Flocken aus Kunststoff, nicht biologisch abbaubar, Verwendung: in geschlossenen Systemen

Kies

Kleine Kieselsteine, schwer, ständig unter fließendes Wasser zu halten (schnelle Austrocknung möglich)

Sand

Ähnliche Verwendung wie Kies, schwer, geringer Wasserspeicher



Holzfasern

Organisches Substrat – nachwachsender Rohstoff, speichert Wasser,

Weitere Informationen zu Produkten findet man unter:

<http://www.epicgardening.com/hydroponic-growing-media/> und

<http://hydrokultur-info.de/>

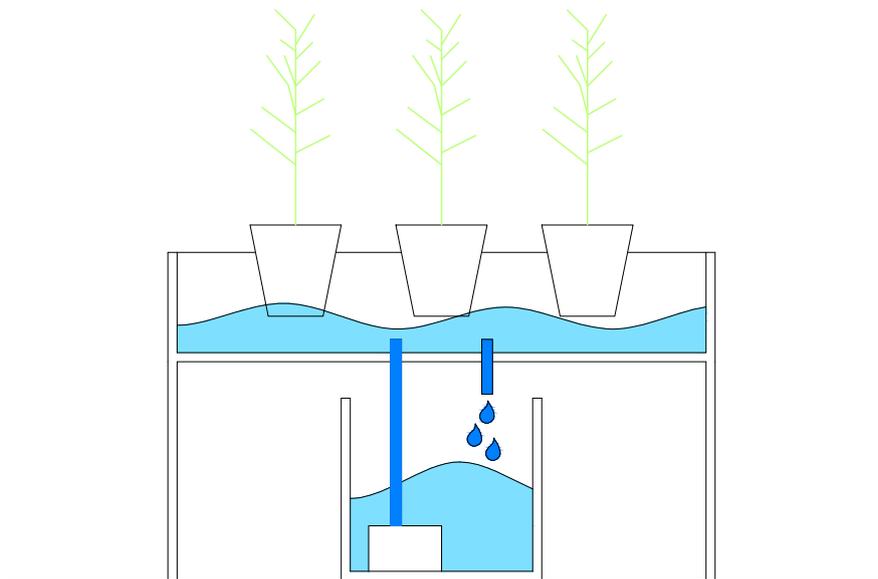
ARTEN DER BEWÄSSERUNG¹³

13 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Methoden

14 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Ebbe und Flut

Für das Wachstum der Pflanzen ist eine kontrollierte Flüssigkeitszufuhr relevant. Über das Wasser können die Nährstoffe reguliert werden und gelangen zu den Wurzeln der Pflanzen. Grundsätzlich wird zwischen Unterflurbewässerung und Oberflächenbewässerung unterschieden.

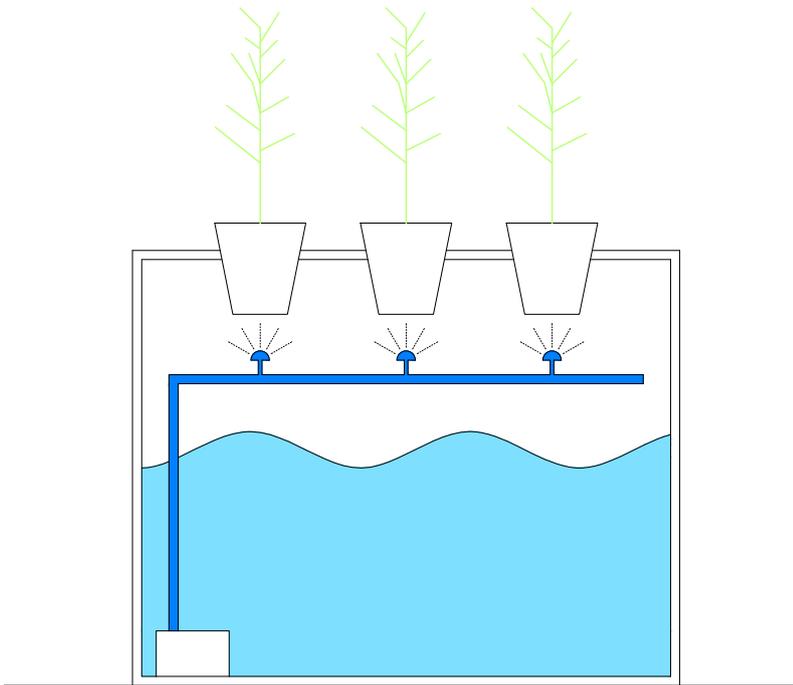
Bei der Unterflurbewässerung gelangt das nährstoffreiche Wasser von unten direkt an die Wurzeln. Überflüssiges Wasser rinnt wieder in ein Auffangbehältnis ab und wird wiederverwendet. Die gängigsten Methoden der Unterflurbewässerung sind:



„Ebbe/Flut“ [E&F] ¹⁴:

Wasser wird in ein Becken unter den Pflanzen gepumpt und der Wurzelbereich wird mit Wasser geflutet. Über das selbe System rinnt das Wasser langsam wieder ab. Das Trägermaterial dient für eine gewisse Zeit als Wasserspeicher. Durch das Abfließen des Wassers kommen die Pflanzen an frische Luft (Sauerstoffzufuhr).

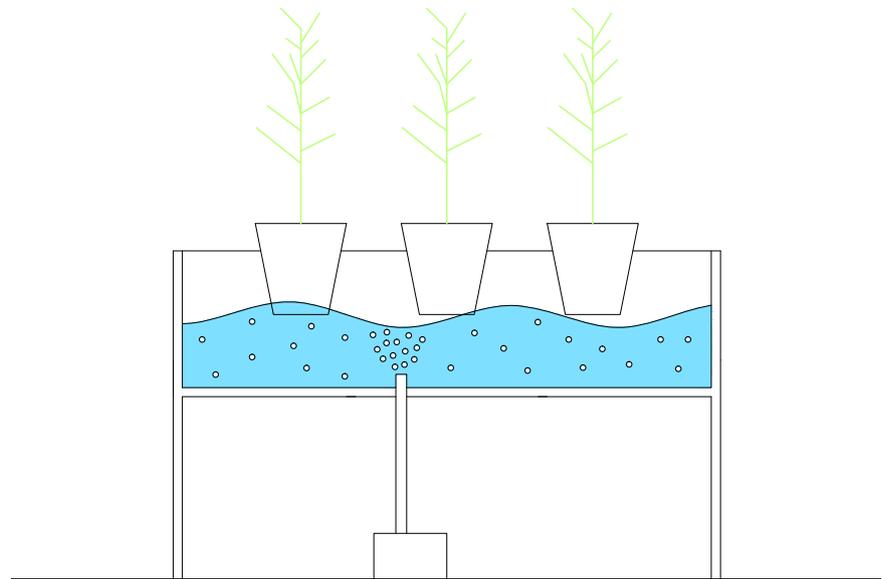
15 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Aeroponik



Aeroponik¹⁵:

Die Wurzeln hängen frei, die Nährstofflösung wird über Drüsen direkt auf die Pflanzen gesprüht. Bei Aeroponiksystemen wird der Wasserverbrauch um weitere 70% gesenkt. (TVF:p108-109)

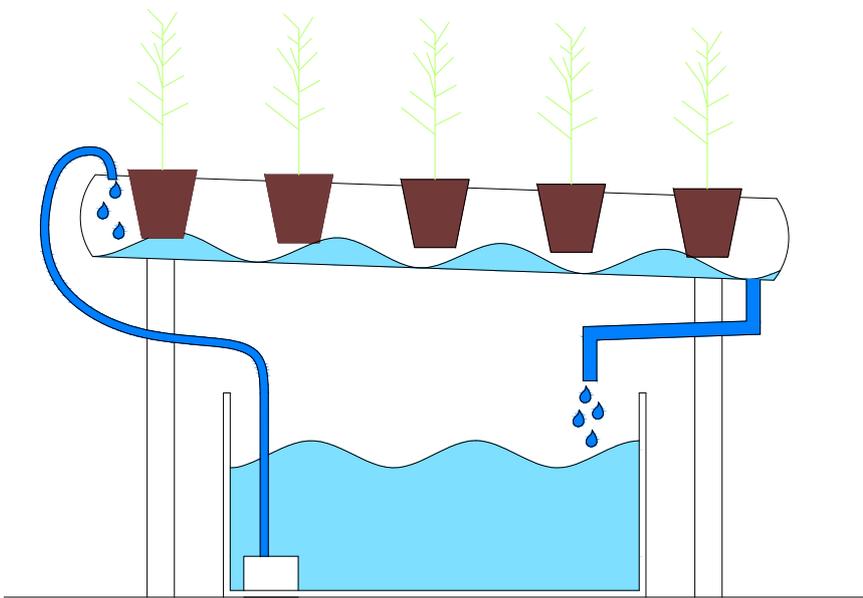
16 vgl. Hydroponics, Aeroponics
und NFT Informationen - Alles über
Hydrokultur 2013, Deep Water Culture



„Deep Water Cultivation“ [DWC] ¹⁶:

Die Pflanzen stecken in schwimmenden Platten, meist aus Styropor, welche auf der Wasseroberfläche schwimmen. Die Wurzeln hängen durch Öffnungen in den Platten hindurch und befinden sich im Wasser.

17 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Durchlauf-Lösungskultur



„Nutrient Film Technique“ [NFT]¹⁷:

In Rohren mit leichter Neigung wird ein dünner Wasserfilm durchgeleitet, welcher die Wurzeln der Pflanzen benetzt. Die Pflanze selbst befindet sich außerhalb der Rohre.

Bei der Oberflächenbewässerung wird die Nährstofflösung über das Trägermaterial an die Wurzeln geleitet. Dies kann auch manuell geschehen, durch regelmäßiges Gießen der Pflanzen.

Bei Tropfsystemen gehen von einer Hauptleitung kleine Schläuche zu jeder Pflanze. Durch Ventile wird die Tropfgeschwindigkeit und somit die Wassermenge geregelt. Das Wasser sickert durch das Trägermaterial zu den Wurzeln. Überschüssiges Wasser wird wieder aufgesammelt und dem System rückgeführt.¹⁸

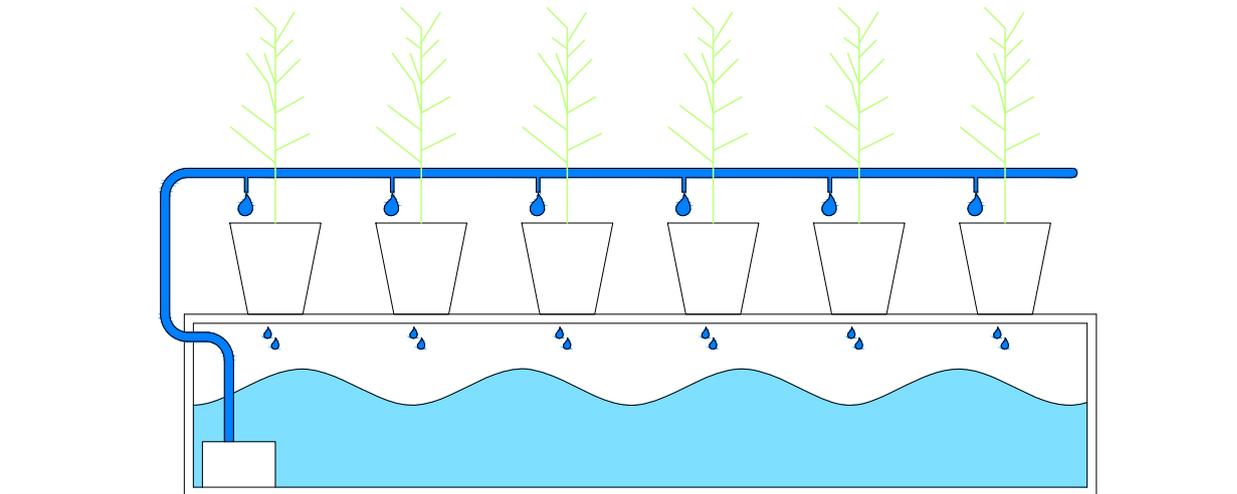




Abb. 27: Tomatenzucht in Hydrokultur mit Tropfsystem

AQUAPONIK^{19,20}

19 vgl. Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur 2013, Aquaponik

20 vgl. Wikipedia, 2014, Aquaponik

Aquaponik bezeichnet das Zusammenspiel von Nutzpflanzen in Hydrokulturen mit der Aufzucht von Fischen in Aquakulturen als geschlossener Kreislauf. Hierbei werden die Ausscheidungen von Fischen mit der Hilfe von Bakterien in Nährstoffe umgewandelt. Die Pflanzen nehmen diese Nährstoffe auf und verringern dadurch die Belastungen im Wasser für die Fische. Das Wasser bleibt im System. Es kann auf zusätzliche Nährstoffe weitgehend verzichtet werden. Durch die Kombination der Hydrokultur mit einer Fischzucht ergeben sich weitere Einnahmemöglichkeiten für den Betrieb. Im Farming-Prozess kommen

einige Nebenprodukte als Fischfutter in Frage. Pflanzenabfälle und tierische Produkte (Fischreste sowie minderwertiger Fisch und Würmer aus der Kompostierung) ermöglichen den Eigenbedarf an Fischfutter zu decken.

Bei der Denitrifikation wird der Fischkot in Pflanzennährstoffe umgewandelt. Dabei werden Bakterien eingesetzt, die die Umwandlung von Ammoniak bzw. Ammonium zu Nitrit und in weiterer Folge die Umwandlung von Nitrit zu Nitrat durchführen. Das Nitrat kann problemlos von den Pflanzen aufgenommen werden und dient dem Pflanzenwachstum.

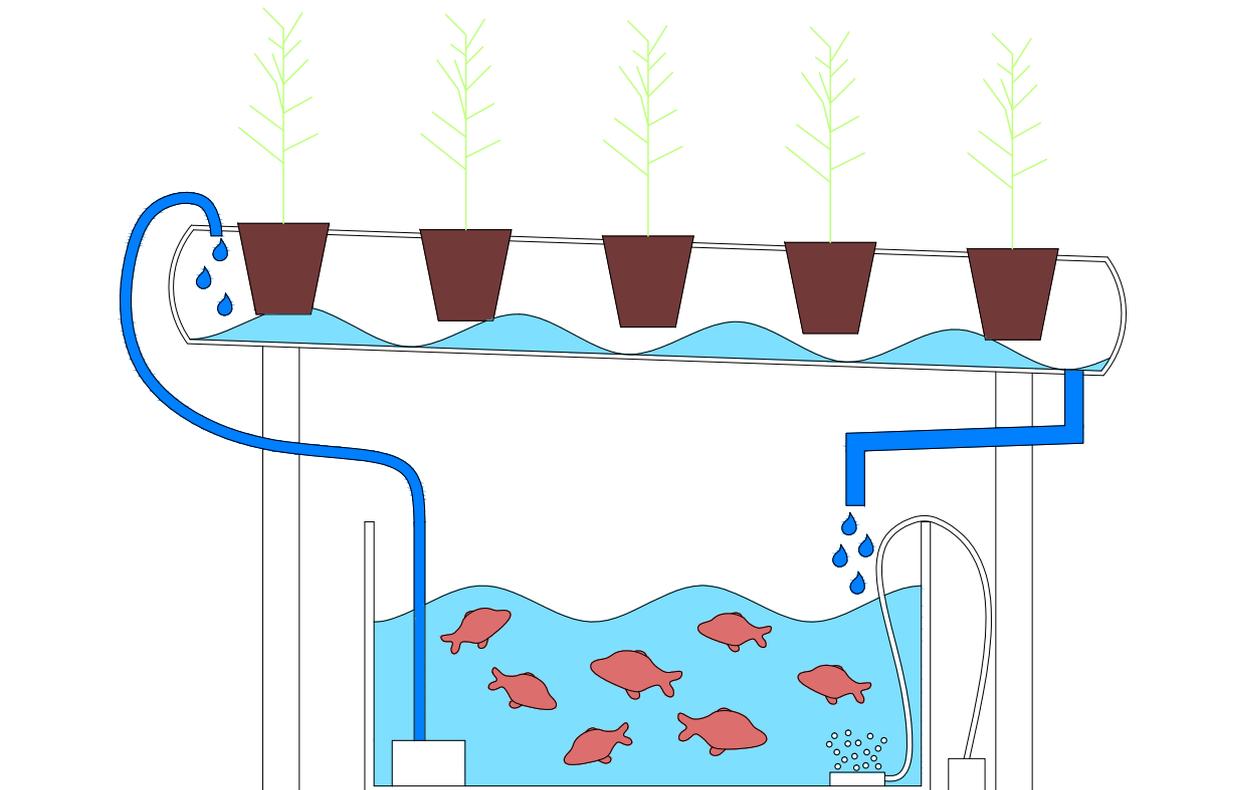


Abb: Aquaponiksystem Schema

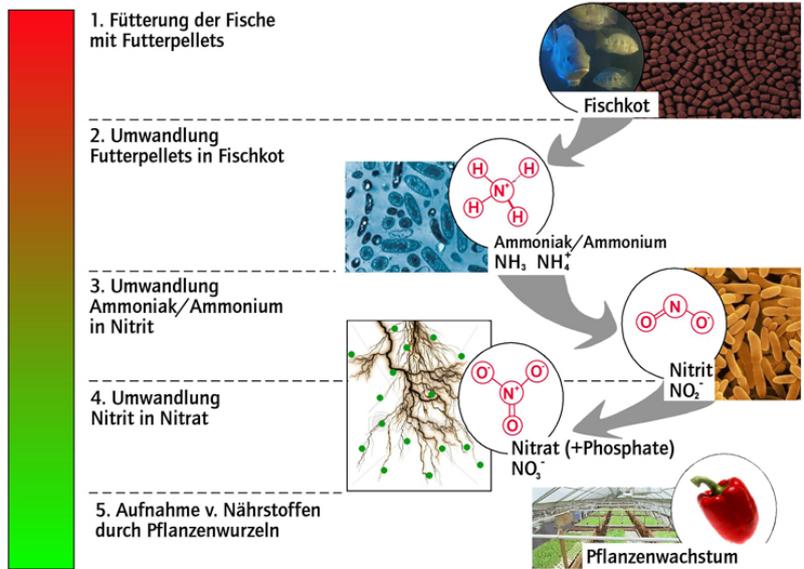


Abb. 28: Denitrifikation - von Fischkot zu Nährstoffen



Abb. 29: Fischzucht in Kombination mit Salatpflanzen.

GEWÄCHSHÄUSER²¹

21 vgl. Wikipedia 2014, Gewächshaus

Durch Gewächshäuser ist es möglich eine kontrollierte Umgebung für die Pflanzen zu simulieren. Temperatur, Belichtung, Luftfeuchtigkeit, Belüftung, Bewässerungsmenge und Nährstoffzugabe können geregelt werden. Zusätzlich werden Krankheitserreger (Bakterien, Viren und Pilze), Unkraut und Schädlinge ferngehalten sowie Umwelteinflüsse, welche in der Felderwirtschaft zu Ernteausfällen führen, eliminiert. Auf Jahreszeiten muss weniger Rücksicht genommen werden und eine Produktion ist über das ganze Jahr über möglich. Dadurch können

regelmäßige Erträge erwirtschaftet werden. Gewächshäuser ermöglichen eine für das Pflanzenwachstum optimale klimatische Kontrolle. Die Pflanzen können schneller wachsen und werden größer.

“Control everything (indoor farming) or control nothing (outdoor farming)”

Despommier 2011, 27

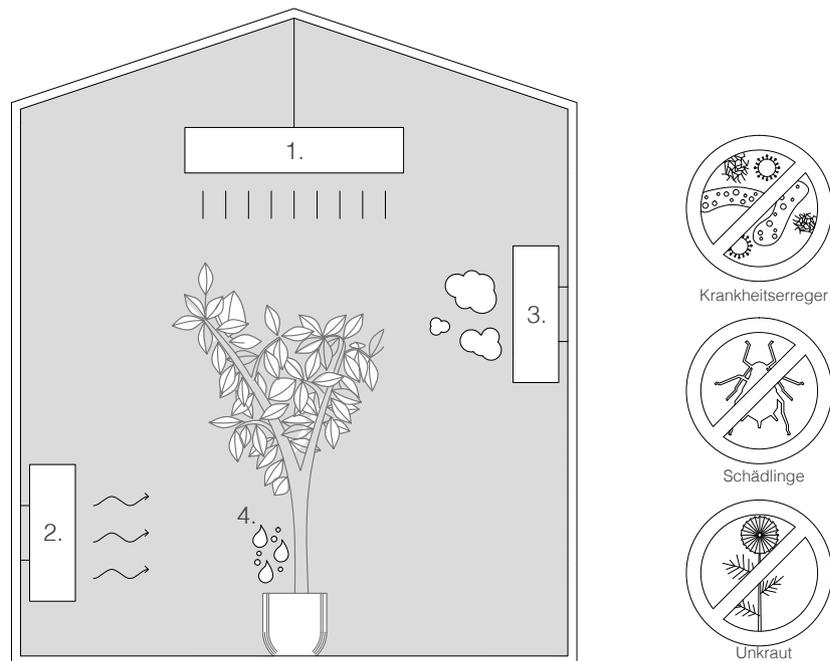


Abb: Diagram - Kontrollierte Gewächshausumgebung
1. Belichtung, 2. Temperatur, 3. Luftfeuchtigkeit, 4. Bewässerung & Nährstoffe



Abb. 30: Gewächshaus

BIOGASANLAGE^{22,23}

22 vgl. Wikipedia 2014, Biogasanlage

23 vgl. Planet Biogastechnik 2014, www.planet-biogas.com/biogas/nutzungspfade/

Für die Energieerzeugung aus Biogas werden Bioabfälle wie Gülle und Pflanzenabfälle sowie Biomüll unter dem Ausschluss von Licht und Sauerstoff fermentiert. In einem großen Tank (Fermenter) entstehen dabei, durch die Mithilfe von Mikroorganismen und Wärme, Gase. Der Gärprozess setzt Methan und Kohlendioxid frei. Das Biogas sammelt sich im Fermenter unter der Decke. Das Biogas kann dann in ein Blockheizkraftwerk geleitet werden. Dieser erzeugt Strom und Wärme. Zusätzlich kann das

Gas aufbereitet werden und dem Erdgasnetz zugeführt werden. Die Gärreste werden zu Dünger weiter verarbeitet bzw. kompostiert. Pro Hektar Anbaufläche kann, zusätzlich zur Ernte, jährlich zwischen 6000 Kubikmeter (Gräser) und 12000 Kubikmeter (Silomeis) Biogas erzeugt werden. Ein Rind erzeugt pro Tag bis zu 1,5 m³ Biogas. 1,5 m³ Biogas entspricht ca. 1. Liter Heizöl.

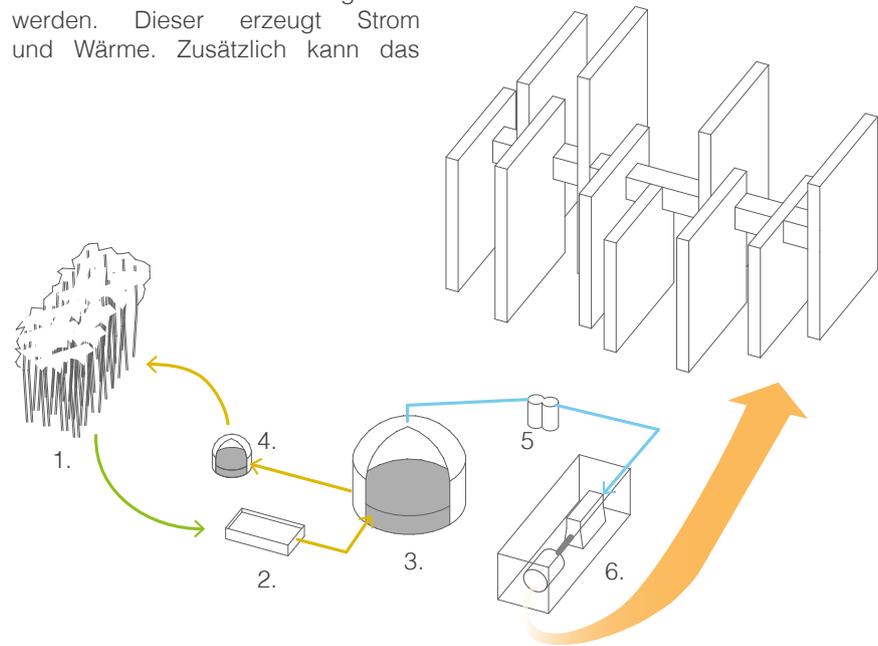


Abb x: Biogas-Anlage - 1. Anbaufläche, 2. Vorgrube, 3. Fermenter, 4. Gärrestelager, 5. Gasaufbereitung, 6. BHKW



Abb. 31: Biogasanlage

BESTEHENDE FARMEN

Homepage: Caliber Biotherapeutics
2014, www.caliberbio.com

vgl. J. Mitchel 2013, in BioNews
Texas, Caliber Biotherapeutics Grows
2.2 Million Plants in Pinkhouse

Vertical Farming ist eine sehr junge Disziplin der Landwirtschaft. Deshalb gibt es erst wenige Unternehmen, die Vertical Farming einsetzen. Diverse Technologien wie zB Hydroponische Systeme existieren schon länger und finden sowohl in Gewächshäusern, in großen Anlagen, als auch für private

Zwecke, hauptsächlich die Zucht von Marijuana, Verwendung.

Wir möchten hier genauer auf einige bestehende Betriebe eingehen, die Vertical Farming erfolgreich praktizieren.



Abb. 32 & 33: Caliber Biotherapeutics



Caliber Biotherapeutics, aus Texas produziert Pflanzen um daraus Wirkstoffe für Impfstoffe und Medikamente zu gewinnen. Hierfür werden in Hochregalen auf einer Fläche von etwa 13.000m² 2,2

Millionen Pflanzen unter Einfluss von Roten und Blauen LEDs gezüchtet. Durch die kontrollierte Umgebung wird das Pflanzenwachstum optimiert und die Wirkstoffe in den Pflanzen können sich optimal entwickeln.



Homepage: Skygreens 2014,
www.skygreens.appsfly.com

Abb. 34: Sky Greens

'Sky Greens' ist eine Prototyp Farm in Singapur, die in A-förmigen Rahmen Salate produziert. Die Konstruktion besteht aus 22 Regalen und ist 6 Meter hoch. Sie ermöglicht eine fünfmal größere Ernte als herkömmlicher Ackerbau. Die Regale drehen sich dreimal um den gesamten Turm, so dass alle Pflanzen gleichmäßig Sonne erhalten. Dies geschieht

über ein Rad, welches mit Wasser in Rotation versetzt wird. Die Anlage verbraucht sehr wenig Energie (1kw/h). Der Prototyp besteht aus insgesamt 19 Türmen, die das ganze Jahr über Erträge liefern. Neben den Erträgen aus der Ernte betreibt Sky Greens auch die Entwicklung neuer Technologien, so wird die Konstruktion auch zum Verkauf angeboten.

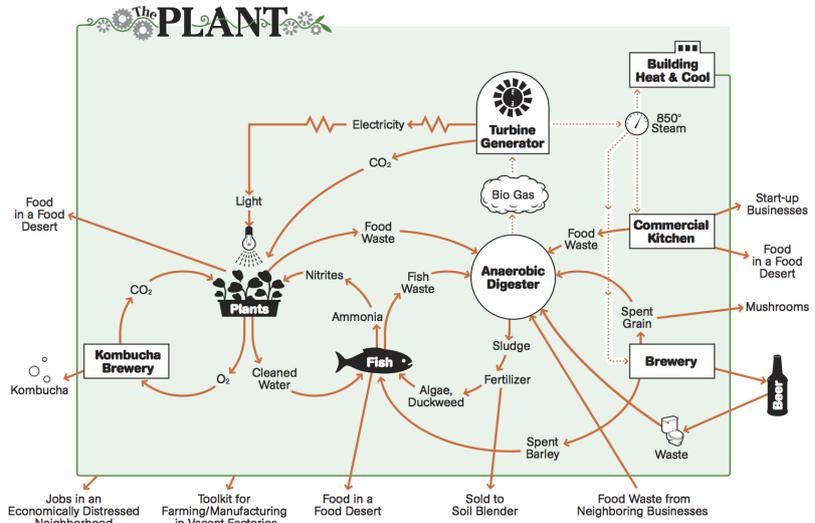


Abb. 35: The Plant - Diagram

'The Plant' ist ein in Chicago ansässiges Unternehmen, welches in einem leerstehenden Fabriksgebäude eine Verticale Farm integriert hat. The Plant baut nicht nur selbst an, sondern vermietet Freiflächen auch an andere Firmen, die in Symbiose mit der Vertical Farm agieren. Die Farm selbst bietet Räumlichkeiten

wie eine gemeinsame Küche zur Weiterverarbeitung, zum Backen, und zum Brauen von Getränken, an. Auch werden Kurse zum Erlernen von Vertical Farming angeboten. Strom und Wärme wird größtenteils selbst aus Biogasen erzeugt. Die Wärme wird in Prozessen der Brauerei und der Küche verwendet und dient auch dem Heiz- und Kühlsystem des ganzen Gebäudes. Der Strom wird hauptsächlich in der Beleuchtung für die Farm gebraucht..

Bei den Partnerbetrieben handelt es sich um Unternehmen, die Produkte für die Farm herstellen (Nature's Little Recyclers erzeugt aus biologischen Abfällen mit der Hilfe von Würmern Düngemittel und Nährböden, die Würmer dienen darüber hinaus als Fischfutter für die Aquazucht) oder selbst Hydrokulturen züchten (Greens and Gills züchten Kräuter und Buntbarsche) bzw. aus den Pflanzen Nahrungsmittel wie z.B. Brot und Bier herstellen ('Peerless Bread and Jam' erzeugt Brot und Marmeladen, Arize produziert Kombucha).



Abb. 36: The Plant - Innen

'FarmedHere' produziert auf etwa 8300 Quadratmeter Salate und Kräuter. Sie ist somit eine der bisher größeren Vertikalen Farmen. In Regalsystemen werden die Pflanzen unter Kunstlicht gezüchtet. Bis zu 5 Ebenen haben die Regale. Die Pflanzen schwimmen mit Styroporplatten auf der Wasseroberfläche (Deep Water Cultivation). Im Kreislauf befindet sich auch eine Fischzucht. Die Becken dafür befinden sich gleich neben den Pflanzen. Dadurch gelangen Nährstoffe ins System. Die Pflanzen benötigen keine Pflanzenschutzmittel und werden ökologisch angebaut.

Homepage: Farmed Here, 2014
www.farmedhere.com

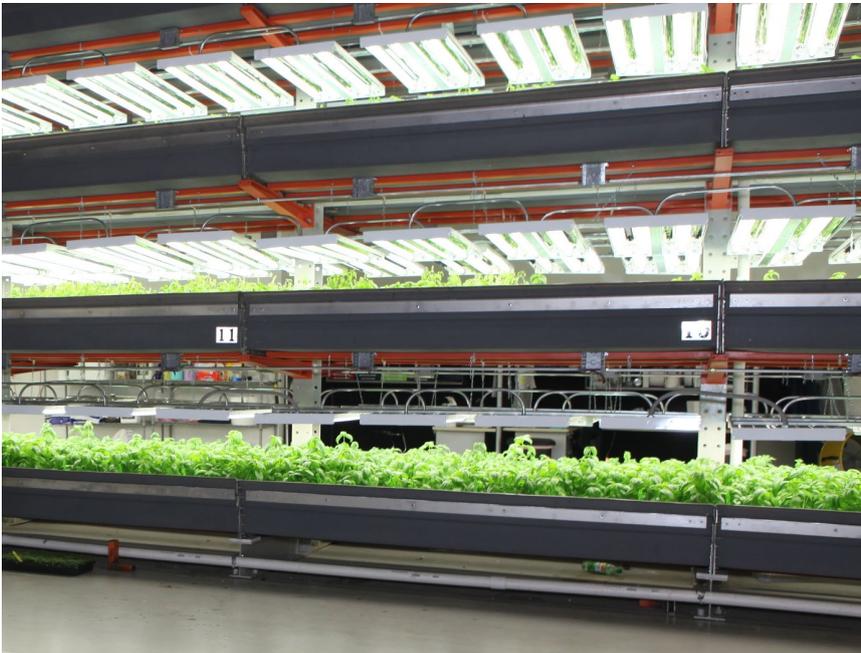


Abb. 37: Farmed Here

vgl. Real Live Vertical Farm Built In South Korea, Churning Out Lettuce 2014, www.treehugger.com/green-food/real-live-vertical-farm-built-in-south-korea-churning-out-lettuce.html

Die Nationale Akademie für Agrarwissenschaft in Suwon, Südkorea, hat einen Prototyp einer Vertikalen Farm entwickelt. Auf 450m² werden unterschiedliche Methoden für den Anbau von Pflanzen getestet. Diese Farm dient eher wissenschaftlichen Zwecken als dem Verkauf von Nahrungsmitteln. Hierfür werden Pflanzen auf drei Stockwerken unter sterilen Laborbedingungen gezüchtet und kontrolliert. Es wird versucht voll-automatisierte Anlagen zu konzipieren.



Abb. 38: Vertical Farm Prototyp Suwon



Abb. 39: Gewächshaus mit Salatanbau als Hydroponiksystem

2.4 Vorentwürfe

Die ersten Entwurfsideen

VORENTWÜRFE

Formfindung

Da das Nutzungskonzept als Schwerpunkt den Anbau von Pflanzen vorsieht, war von Anfang an klar, dass herkömmliche Analysevorgänge nicht ausreichen werden. Belichtung und Orientierung spielen eine der Kernrollen bei der Formfindung.

Wie entwirft man ein Gebäude, das perfekte Bedingungen für Pflanzenzucht schafft? Welche geometrischen Formen eignen sich am besten für natürliche Belichtung? Herkömmliche architektonische Parameter bzgl. der Raumhöhe oder Fensterparapete reichen in diesem Fall nicht aus. Büro und Wohnen sind die beliebtesten Hochbau-Nutzungen. Rechnet man da im Durchschnitt mit einer Rohbaulichte von 3 Metern, so bietet die Raumhöhe je nach Luxus in der Regel zwischen min. 2,40m - 5m (Budget abhängig).

Betrachtet man die Situation im Detail und nimmt zu diesem Zweck die minimal zulässige Raumhöhe von 2,40m für Aufenthaltsräume (lt. OIB Steiermark) für einen Raum von 2,40 x 10 x 10, würde das eine Grundfläche von 100m² und ein Volumen von 240m³ ergeben. Die 100m² sind eine angenehme Größe für einen Gemüsegarten und die 2,40m Höhe sicherlich ausreichend. Eine Nutzungsänderung von Wohnen auf Pflanzenzucht ist somit grundsätzlich räumlich möglich. Um den entstehenden Problemen der Belichtung entgegenzuwirken sind neue Formen der Geschossdecken gefragt. Eine rechteckige

Geschossdecke hat je nach Dimension zur Mitte hin schlechtere Belichtungswerte. Durch eine größere Raumhöhe kann dem entgegenwirkt werden.

Erste Versuche mit Modellen ergab eine Verbesserung der Lichtverhältnisse durch eine spiralförmige Deckenkonstruktion. Diese in Kombination mit einer Auflösung in einzelne Plattformen kleinerer Dimensionierung ergab eine deutlich bessere Rundumbelichtung. Trotz der spiralförmigen Plattformen und der innenliegenden Erschließungszone ist diese Form nicht optimal für einen Pflanzenanbau. Der Sonnenverlauf führt dazu, dass der Schattenwurf immer einen großen Teil des Gebäudes verdeckt. Die Zwischenräume zwischen den Plattformen lassen zwar Licht hindurch, jedoch ist die Überlagerung trotz allem ein Lichtblocker (ähnlich wie ein Wald).

Terrassenförmige Plattformen helfen durch ihren Anstieg auch in innere Bereiche Licht zu bekommen. Lässt man die Plattformen sich vom Zentrum aus sowohl nach oben wie auch nach unten öffnen, ähnlich einem Winkel (Abb.2), so optimiert man zwar die natürliche Belichtung geschossweise, jedoch baut sich durch das auskragende "Vordach" wieder selbst eine Beschattung. Die logische Konsequenz daraus ist die Fusion beider vorherigen Ansätze. Eine winkelförmig geöffnete Terrassenförmige Plattform, die

zusätzlich dank versetzter Ringe auch nach oben und unten porös ist. Abgesehen von der Frage, wie das sinnvoll konstruiert werden könnte, besteht auch hier das Problem, dass das Gebäude schlussendlich nur

zu einem Teil im Verlauf des Tages genügend direktes Sonnenlicht bekommt. Es gibt immer zwei Drittel Schattenanteil. Egal ob es sich um ein rundes oder eckiges Hochhaus handelt, die Sonne wird nur die Hälfte

VORENTWÜRFE



Abb. oben: Plattform Prototyp

Abb. unten v.l.n.r.: Terrassen Prototyp, Ringformen Prototyp



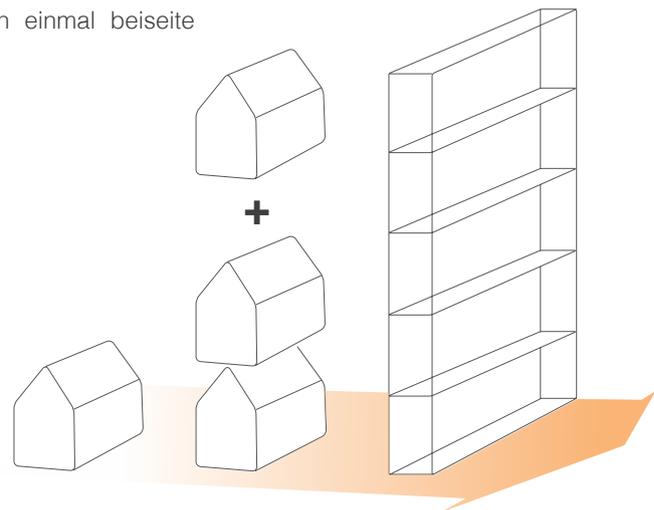
VORENTWÜRFE

belichten. Und auch wenn man die Terrassen, Ringe oder Plattformen zueinander versetzt, entsteht immer der "Wald-Effekt", sodass sie trotzdem irgendwann blickdicht werden und somit selbst beschatten. Die einzige Möglichkeit, die man hat, um eine klassische Hochhaustypologie rundum natürlich zu belichten ist, dem Gebäude einen Drehimpuls zu geben. Ob dies technisch möglich ist, sei hier einmal ausser Frage gestellt. Bringen würde eine derartige Maßnahme leider bis auf den Nachweis der Belichtung auch nicht viel. Da der Entwurf ja für Pflanzen und nicht für Menschen konzipiert sein soll, darf sich die Position des Bodens nicht verändern. Bei jedem Positionswechsel der Pflanze muss sie alle Energie in den Wachstum stecken, um sich wieder nachzudrehen (betrifft die meisten Nutzpflanzen). Die Qualität der Früchte, sofern es überhaupt soweit kommen würde, leidet darunter.

Was ist also die Lösung?

Was wäre, wenn man die bekannten Hochhaustypologien einmal beiseite

lässt? Zum Anbau werden zur Zeit Gewächshäuser benutzt. Diese sind zwar immer eingeschossig und flächendeckend, aber was wäre wenn man sie übereinander stapelt? Natürlich wären wir da wieder bei dem Problem, dass das darüberliegende Gewächshaus dem darunterliegenden das Licht wegnimmt. Aber angenommen das Gewächshaus wäre ein langer Gang mit seitlicher Verglasung. Dann würde von beiden Seiten soviel Licht hindurchkommen, dass der Schattenwurf der schmalen Decke darüber kaum mehr einen Einfluss hätte. Ganz im Gegenteil, das schmale "Flachdach" würde von oben wie eine Jalousie funktionieren und genau die stärkste Mittagshitze wegfildern. Somit hätten die Pflanzen eine Art "Halbschatten", der perfekt für das Wachstum geeignet ist, aber dennoch ca. 7-8h Sonnenlicht. Also optimale Bedingungen...



3.1 Wettbewerb Einreichung

Ausgangspunkt der Diplomarbeit war der Wettbewerb von Superskyscrapers bzg. eines Entwurfs für eine vertikale Farm und einen botanischen Garten.



ABGABEPLAKAT



STACK UP!

...CREATING VERTICAL GREENHOUSES USING STATE OF ART TECHNOLOGY IN CULTIVATION

The building attempts to create similar conditions for plants like a greenhouse. In order to reach perfect natural lighting it was necessary to split up the construction into separately used compounds which are connected by a horizontal botanic garden. Narrow buildings consisting of panels are set slightly shifted giving the impression of a vertical array of various greenhouses.

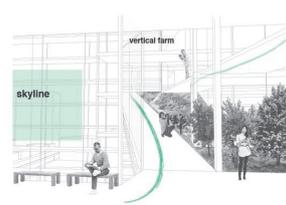
The clear width (5m width and 6 m height) provides excellent natural lighting from east to west.

The material used for the fascades are PTFE cushions which disperse the light into various wavelengths and allow the necessary UVA and UVB radiation in. In each of these light-structure compounds one species of plant-producing (no plants) are grown in hydro cultures.

The array of narrow buildings is meant to resemble botanical books in a library. The various compounds represent the books in a crystalline form. The botanic garden goes like a bookworm vertically through the various compounds and connects them. Apart from its original purpose the botanic garden has an important static and infrastructural function.



nicely integrated into the skyline of seoul

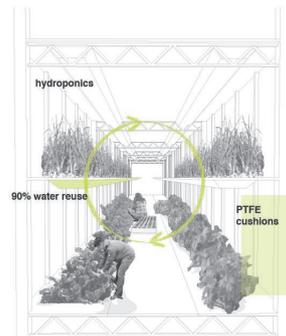


BOTANICAL GARDEN

PANORAMIC VIEW

inner view from the botanical garden

The botanical garden located in the center of the whole building compound gives the visitors a combination of open and lower walking paths, as well as resting zones. Between all the trees you still have a perfect view of Seoul's skyline and the harvesting and growing process of the plants.



CULTIVATION

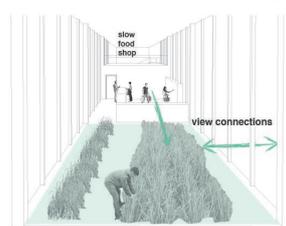
forming an aisle creating a new glasshouse structure, by simply stacking one on another.

5m

With a clear height of 6m and a width of 5m the vertical farm buildings have perfect conditions for natural illumination.

HYDROPONICS
Hydroponics as cultivation method

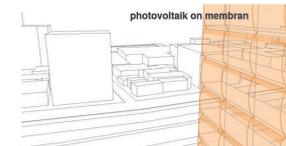
- + no soil is needed
- the water stays in the system and can be reused
- lower nutrition requirements
- No nutrition pollution
- flowers are easier to get rid of (no soil)
- easier of harvesting
- No pesticide damage
- healthier grow



SLOW FOOD SHOP

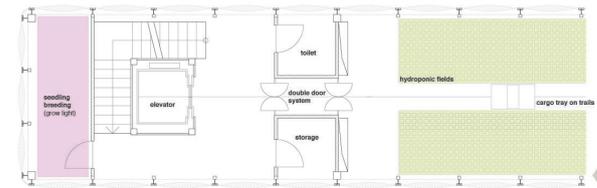
inner view ground floor

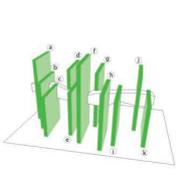
The ground floor of the farming-buildings works like a showroom for the grown vegetables. Every building features different ones. While being able to observe the cultivation process as a show, visitors also can buy seeds, fruits or plants. Trained personal will provide information / tips regarding the cultivation of specific plants.



SOLAR / PV

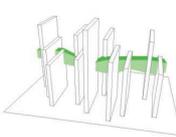
PTFE - cushions are used instead of glass
Flexible photovoltaic panels are integrated into the upper part of every PTFE membrane producing alternative energy which can be used for the grow light necessary for the seedling trees.





LAYER

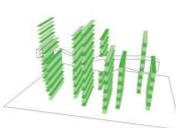
- tomato
- garlic, onion
- cauliflower, red cabbage
- cucumber, zucchini
- strawberry, mushrooms
- chili, pepper
- potato, sweet potato
- soybeans, bean sprouts
- leeks, greening, asstid
- spinach, chives
- herbs: ginger, leeks...



botanical garden
a concrete structure which connects all vertical farming buildings.

There are 6 different zones:

- polar
- cold mid latitude
- tropical
- moderate continental

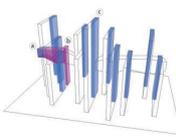


vegetable field:

- four height fans
- 2 axes panels for growing
- vertical farming

perfect orientation for maximum sunlight

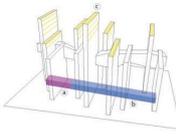
works like stacked greenhouses



1. cafe, restaurant
2. woodies, entrance
3. infrastructure

The restaurant and the info-center to the botanical garden both have the same entrance on the ground level.

The vertical farming buildings all have five levels.



1. biomass generator
2. storages
3. horizontal infrastructure
4. photovoltaic panels

Alternative Energy PV-cells in the upper third of the higher buildings.

Biomass generator in the basement using all the organic waste from the building. Can also be used with organic waste from neighboring quarters.



SITE DIAGRAM

The site is located next to the Cheonggyecheon Stream which guarantees that we get Sun in the early morning and also during Sunset.

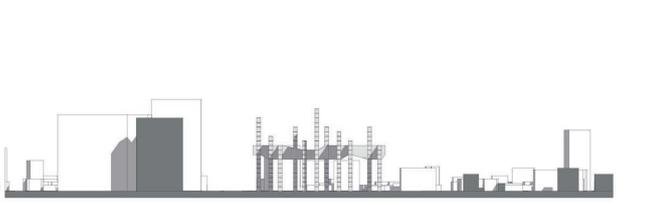
The Stream also provides an west-east axis that allows our structure to be seen from a long view.

This is also a main recreational area for Seoul. The city skyline is changing from east to west.

The site is on the boundary between high rise office buildings in the west and low rise residential areas in the east of the site.

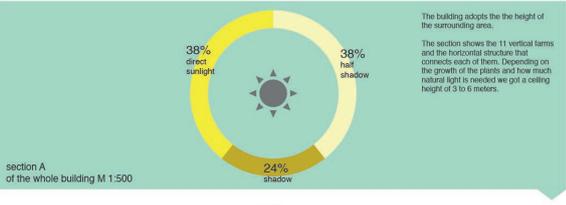
M 1:2000

100000867



The vertical farm consists of 11 vertical slices with a height of 50m and a width of 5m each. The height varies between 60 and 100 meters. The slices are situated parallel to each other and are tilted in north-south direction, so more light can reach the surface.

section B
of one verticalfarm tower M 1:500

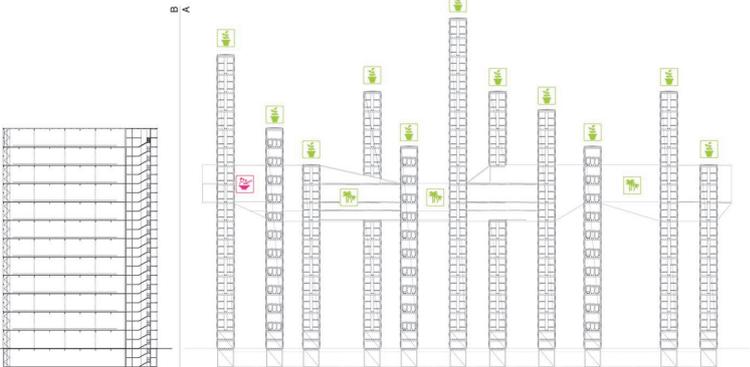


During festivals like New Year or the Seoul lantern festival, where lanterns are shipped on boats along the river the botanical garden building could be illuminated to be some kind of a lightshow itself.

floor plan of one verticalfarm tower M 1:100

The Farm is connected with a single elongated structure at a height between 42 and 60 meters. The botanical garden and a restaurant are located in this part of the building.

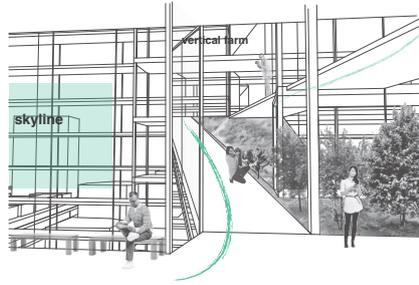
With our structure we only cover 33000m² of the site, which is about 14% of the whole area. However, we create more than twice the sites space within the building itself just for crop farming (50200m²). The staircase and the nursery are situated in the northern end of every slice. A double door system connects the staircase with the greenhouse. Storage / restaurants are also located on this side of the building.



SCHAUBILDER



SYSTEME



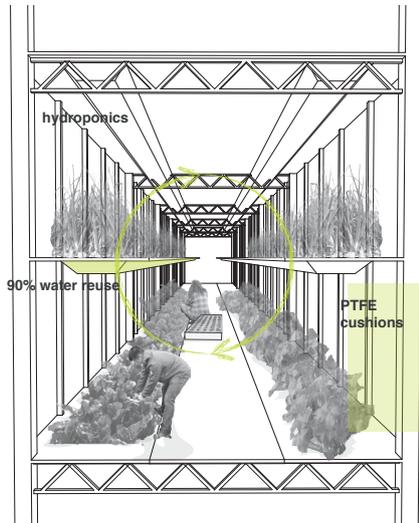
BOTANICAL GARDEN



PANORAMIC VIEW

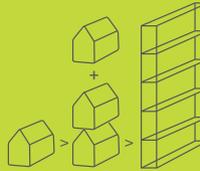
inner view from the botanical garden

The botanical garden located in the center of the whole building compound gives the visitors a combination of upper and lower walking paths, as well as resting zones. Between all the trees you still have a perfect view of Seoul's skyline and the harvesting and growing process of the plants.



CULTIVATION

forging an idea
creating a new glasshouse structure, by simply stacking one on another



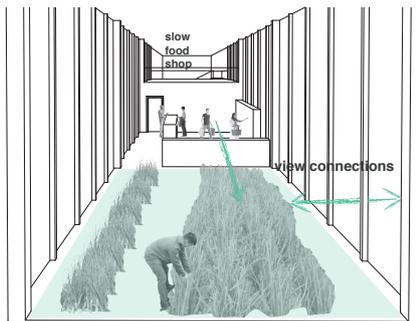
With a clear height of 6m and a width of 5m the vertical farm buildings have perfect conditions for natural illumination.



HYDROPONICS

Hydroponics as cultivation method

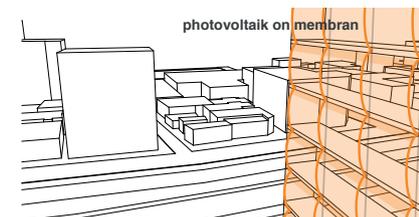
- + no soil is needed
- the water stays in the system and can be reused
- lower nutrition requirements
- No nutrition pollution
- diseases are easier to get rid of (no soil)
- ease of harvesting
- No pesticide damage
- healthier grow



SLOW FOOD SHOP

inner view ground floor

The ground floor of the farming-buildings works like a showroom for the grown vegetables. Every building features different ones. While being able to observe the cultivation process as a show, visitors also can buy seeds, fruits or plants. Trained personal will provide information / tips regarding the cultivation of specific plants.



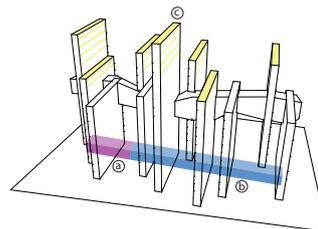
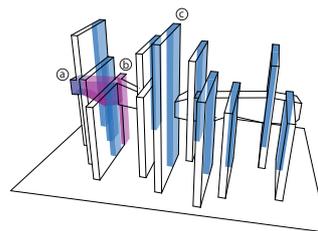
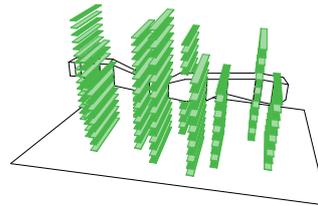
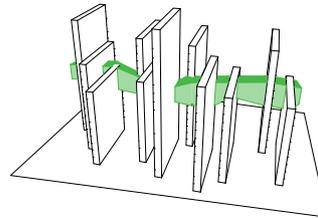
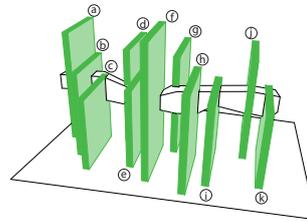
SOLAR / PV

PTFE - cushions are used instead of glass
Flexible photovoltaik panels are integrated into the upper part of every PTFE membrane producing alternative energy which can be used for the grow light necessary for the seedling breed.

RAUMNUTZUNGS-KONZEPT

Der erste Entwurf. Die vertikalen "Farmgebäudescheiben" werden von einem schlangenförmigen botanischen Garten durchdrungen, als ob sich ein Bücherwurm durch einen Stapel Bücher fressen würde.

Obwohl sich bis zum finalen Entwurf doch noch einige Konzepte auch in der Form geändert haben, blieb der Hauptaspekt von Scheiben mit Anbauflächen und einem horizontalen botanischen Garten, der alle vereint, der gleiche.



LAYER

- Ⓐ tomato
- Ⓑ garlic, onion
- Ⓒ chinese-, red-cabbage
- Ⓓ cucumber, zucchini
- Ⓔ shirataki-, mushrooms
- Ⓕ chili, pepper
- Ⓖ potato, sweet potato
- Ⓗ soybeans, bean sprouts
- Ⓘ leeks, ginseng, salad
- Ⓚ spinach, chard
- Ⓛ herbs: ginger, lentils...

botanical garden a crystalline structure which connects all vertical farming buildings.

There are 6 different zones:

- polar
- mild mid-latitude
- cold mid-latitude
- tropical
- dry
- moderate continental

vegetable fields:

- floor height 6m
- 2 extra panels for growing
- vertical farming

perfect orientation for maximum sunlight

works like stacked greenhouses

- Ⓐ café, restaurant
- Ⓑ reception, entrance
- Ⓒ infrastructure

The restaurant and the info-center to the botanical garden both have the same entrance on the ground level.

The vertical farming buildings all have their own entrance and infrastructure for individuality and safety

- Ⓐ biomass generator
- Ⓑ storagerooms, horizontale infrastructure
- Ⓒ photovoltaic panels

Alternative Energy: PV-cells in the upper third of the higher buildings.

Biomass generator in the basement using all the organic waste from the building. Can also be feed with organic waste from neighboring quarters

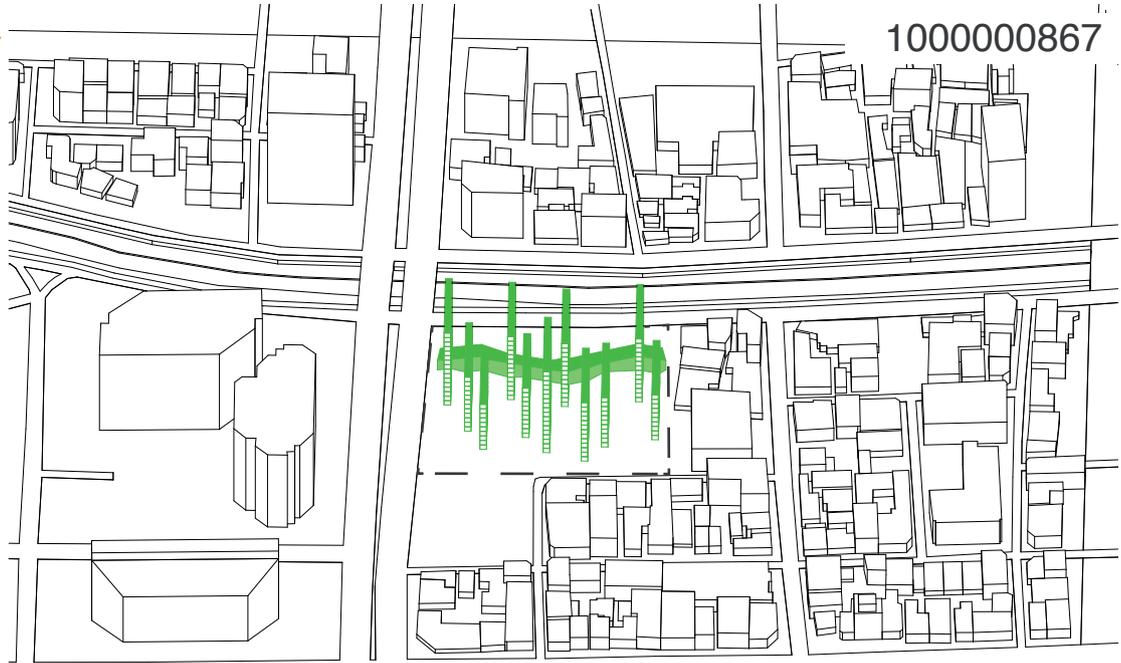


ORTSANALYSE

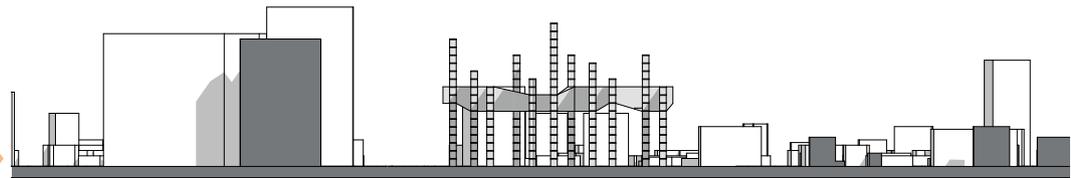
SITE DIAGRAM

The Site is located next to the Cheonggyecheon Stream which guarantees that we get Sun in the early morning and also during Sunset. The Stream also provides an west-east axis that allows our structure to be seen from a long view. This is also a main recreational area for Seoul. The city skyline is shrinking from east to west. The site is on the threshold between high rise office buildings in the west and low rise residential areas in the east of the site.

M 1:2000



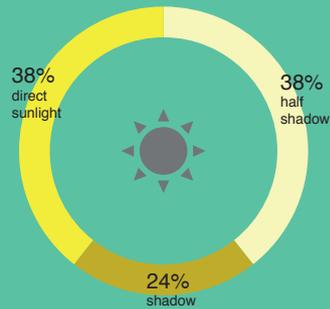
view from south
M 1:2000



The vertical farm consists of 11 vertical slices with a length of 50m and a width of 5m each. The height varies between 60 and 108 meters. The slices are situated parallel to each other and are shifted in north-south direction, so more light can reach the surface.

section B
of one verticalfarm tower M 1:500

section A
of the whole building M 1:500



The building adopts the the height of the surrounding area.

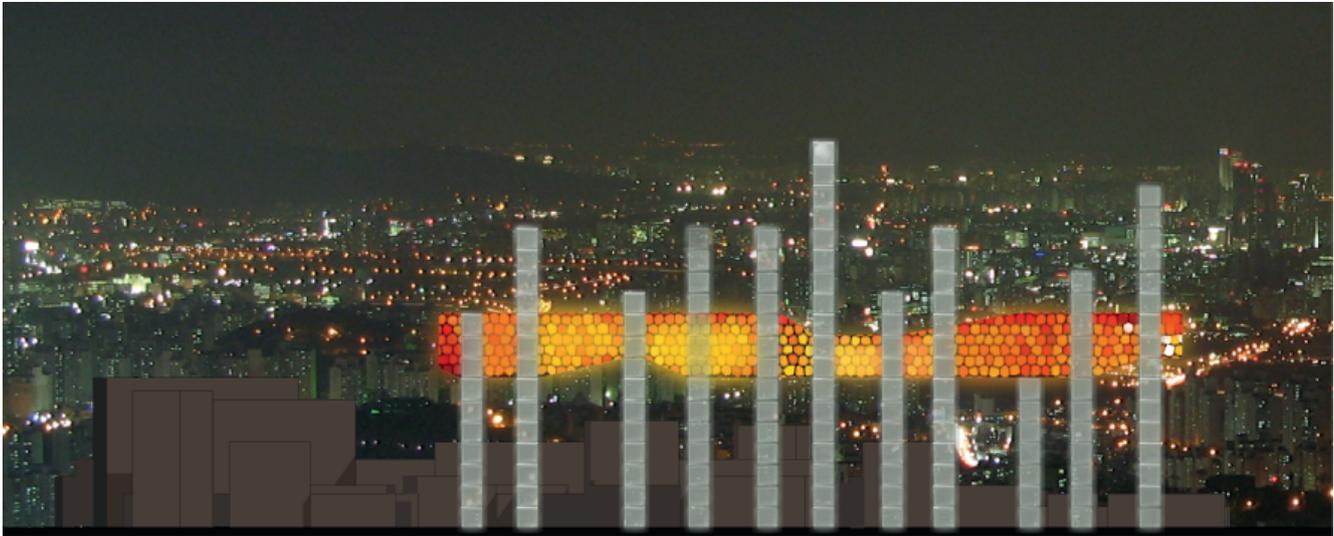
The section shows the 11 vertical farms and the horizontal structure that connects each of them. Depending on the growth of the plants and how much natural light is needed we got a ceiling height of 3 to 6 meters.

SONDERFUNKTIONEN

Lichtfassade

Zu Ehren des Laternenfestivals in Seoul war eine beispielbare Lichtfassade angedacht. Während des Festivals ist es üblich dass mehrere Boote voll Laternen durch den anliegenden

Fluss treiben. Unser Konzept beruht sich hierbei auf farbigen LED-Leuchten in der Fassadekonstruktion, die die ETFE-Folien anstrahlen.



During festivals like new year or the seoul lantern festival, where lanterns are shipped on boats along the river the botanical garden building could be illuminated to be some kind of a lightshow itself

ERGEBNIS

Leider schafften wir es bei dem Wettbewerb nicht unter die ersten 3, womit ein genaueres Feedback seitens der Jury ausblieb, was aber bei mehr als 800 Teilnehmern nicht verwunderlich sein dürfte.

4.1 Bambus

Arten
Die Pflanze
Behandlung
Eigenschaften

Bambus, eine Tribus von Süßgräsern aus der Unterfamilie der Bambusgewächse (Bambusoideae) mit zahlreichen Arten.

BAMBUS²⁴

²⁴ Minke Gernot, *Building with Bamboo, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser 2012

Der Begriff "Bambus" wurde 1753 von Carl von Linné eingeführt. Bambus zählt zu den schnellwachsenden Pflanzen der Welt. Es handelt sich hierbei um eine Gattung der Süßgräser ähnlich dem Reis oder Zuckerrohr. Die Besonderheit von Bambus liegt darin, dass er im Gegensatz zu anderen Gräsern enorme Dimensionen annimmt (mehr als 20m Höhe) und seine Halme sich mit zunehmendem Alter verhärten, wobei sie so fest wie Holz werden, aber wesentlich flexibler und leichter (Hohlform) bleiben.

Der natürliche Lebensraum von Bambus liegt weltweit im Bereich der Breitengrade 51° Nord bis 47° Süd, ausgenommen in Europa, wo er nicht heimisch ist.

Die Bambusarten ziehen sich von tropischen Regionen mit 90% Luftfeuchtigkeit, wie die *Guadua angustifolia* aus Chocó, Kolumbien, bis hin zu semi-ariden Zonen in Indien (Sorte: *Dendrocalamus strictus*). Die besten Wuchsbedingungen jedoch befinden sich vorwiegend in sehr

luftfeuchten Regionen (80% und mehr), meist in der Nähe von Wasser. Ein paar Ausnahmesorten können es jedoch auch mit sehr trockenem Klima oder 4000m Seehöhe aufnehmen. Chinesische und japanische Bambussorten sind sogar frostfest. Von den 1200 bekannten Bambusarten liegt die Verteilung bei etwas 750 im asiatischen und 450 im amerikanischen Raum.

Es gibt ungefähr 37 Millionen Hektar Bambuswälder. Davon befinden sich 6 Millionen in China, 9 Millionen in Indien, ca. 10 Millionen in 10 lateinamerikanischen Ländern und der Rest verstreut in Südost-Asien (Lobovikov et al., 2007)

Seit der Antike wird Bambus als Konstruktionsmaterial in Asien und Südamerika benutzt.

Die meist genutzten Arten sind *Bambusa*, *Chusquea*, *Dendrocalamus* und *Guadua*. Sie gehören zur Gruppe der *Phyllostachys* und bevorzugen gemäßigttes Klima.

Bambusa gehört zur Gattung Subtribus Bambuseae. Davon gibt es 139 Arten, die alle nicht frostbeständig sind. Sie zeichnen sich durch ihre Zweigbildung in jedem Knoten aus.²⁵

BAMBUSA

25 "Bambusa - Wikipedia." 2006, 1 Mar. 2014
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Bambusa>>



Abb. 40

Bambusa balcoa - Indien

12 - 20m
Ø 8 - 15cm
Halmwand Stärke von 3cm

Bambusa disimulator - Süd-China

12m
Ø 6cm
feine und sehr harte Internodien

Bambusa edilis - China

20m
Ø 16cm

Bambusa polymorpha -

China, Bengal, Burma
27m
Ø 15cm

Bambusa stenostachya - China

22m
Ø 15cm

Bambusa vulgaris - Asien, Amerika

18m
Ø 10cm
hoher Stärkegehalt

Bambusa bambos (L.) Voss -

Südost Asien
30m
Ø 15 - 18cm
dicke Halmwand

Bambusa nepalensis - Indien

20m
Ø 10cm

Bambusa oldhami Munro

("Grüner Bambus") - Taiwan
6 - 12m
Ø 3 - 12 cm

Bambusa vulgaris,

Schrader ex Wendland - Süd-China
6 - 15m
Ø 5 - 10cm

Bambusa vulgaris, Schrader ex

Wendland, var. striata - Südost-Asien
6- 15m
Ø 5 - 10cm
Mutation des Bambusa vulagris, gelb-
golden mit grünen Streifen

CHUSQUEA

²⁶ "Chusquea - Wikipedia, the free encyclopedia."
2005. 1 Mar. 2014 <<http://en.wikipedia.org/wiki/Chusquea>>

Chusquea ist eine immergrüne Bambusgattung mit 150 Arten. Die meisten Unterarten sind im Hochland von Mittel- und Südamerika heimisch.

Wird auch als "südamerikanischer Bergbambus" bezeichnet. Untypisch für einen Bambus hat er feste Stiele anstelle der hohlen.²⁶



Abb. 41

Chusquea culeou - Chile

6m

Ø 4cm

wächst in der südlichsten Zone, hat einen sehr starken Stamm

Chusquea culeou Desvaux -

Zentralamerika, Südamerika

4 - 6m

Ø 2 - 4cm

fester Halm

Chusquea quila Kunth - Chile

bis 20m (Kletterpflanze)

2cm

biegsam, für Möbel geeignet

Dendrocalamus ist eine tropische Bambusgattung mit 29 Arten. Er wird oft als Riesenbambus bezeichnet. Seine Wuchshöhe ist zwischen 25-40 Meter mit einem Halmdurchmesser

von bis zu 35 cm. Er kann bis zu 70cm pro Tag wachsen. Seine Nodien haben einen Abstand von 30 bis 45 cm. Er zählt zu den größten Arten.²⁷

DENDROCALAMUS

²⁷ "Dendrocalamus giganteus – Wikipedia." 2007. 20 Jan. 2014 <http://de.wikipedia.org/wiki/Dendrocalamus_giganteus>



Abb. 42

Dendrocalamus balcoa -

Südost-Asien, Indien

20m

Ø 20cm

Dendrocalamus giganteus

Indien, Burma, Sri Lanka, Thailand

> 30m

Ø > 30cm

wächst 20cm im Tag, zählt zu den größten

Dendrocalamus asper - Südamerika

25m

Ø 20cm

weniger spröde als der Giganteus

Dendrocalamus latiflorus - Taiwan,

Süd-China

20m

Ø 20cm

70cm-Kammern, 2,5cm stark

GIGANTOCHLOA

28 "Gigantochloa - Wikipedia, the free encyclopedia."
2005. 20 Jan. 2014 <<http://en.wikipedia.org/wiki/Gigantochloa>>

Der Gigantochloa ist eine tropische
Bambusgattung, ähnlich der Gattung
Bambusa.²⁸



Abb. 43

Gigantochloa apus -

Malaysien, Indonesien

16m

Ø 10cm

Gigantochloa atrovioacea -

Malaysien, Indonesien

13m

Ø 8cm

schwarzer Stamm

Gigantochloa levis - Philippinen

16m

Ø 10 - 15cm

Guadua ist eine der wichtigste Bambusgattungen in Mittel- und Südamerika. Sie hat 34 Arten und wird vorwiegend für den Bau verwendet.

Die Halme können einen mehr als 20cm dicken Durchmesser haben.²⁹

GUADUA

29 "Guadua – Wikipedia." 2004. 20 Jan. 2014 <<http://de.wikipedia.org/wiki/Guadua>>



Abb. 44

Guadua angustifolia Kunth -

Kolumbien, Ecuador

15 - 30m

Ø 9 - 12 / 21cm

Guadua aculeata - Mexico, Panama

25m

Ø 12cm

Guadua chacoensis -

Nord-Argentinien, Bolivien

20m

8 - 12cm

Guadua paniculata Munro - Bolivien

10m

Ø 3cm

obere Teil des Stammes ist geschlossen, der untere hat kleine Öffnungen

Guadua superba Huber - Bolivien

20m

Ø 9 - 12cm

spröde

PHYLLOSTACHYS

30 "Phyllostachys – Wikipedia." 2006. 20 Jan. 2014
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Phyllostachys>>

Der Phyllostachys zählt zur Bambusgattung der Bambussa. Diese Gattung liefert Arten die vor allem ihre Verwendung in der Zierde, aber auch als Sprossen zum Verzehr finden.³⁰



Abb. 45

Phyllostachys aurea - China, Japan

5m

Ø 2cm

Phyllostachys bambusoides - Japan

22m

Ø 14cm

Phyllostachys nigra, var. henonis -

China, Japan, USA

16m

Ø 9cm

Phyllostachys pubescens -

China, Japan, USA

21m

Ø 17cm

Phyllostachys vivax - China

21m

Ø 12cm

Die Pflanze

Bambus wächst aus sogenannten Rhizomen³¹, einem Netz aus Wurzeln. Die Spitzen des Rhizoms biegen sich nach oben und bilden neue Stämme. Manche Rhizome, wie das des Caespitose-Bambus, bilden sogar ein dreidimensionales Wurzelnetz mit einer Dicke von bis zu 2m. Die andere Variante sind linear wachsende Rhizome beziehungsweise eine Kombination beider. Die Besonderheit der Bambusrhizome ist, dass sie bereits die Knoten des späteren Stammes komprimiert im Sprössling enthalten. Somit müssen während des Wachstums nur mehr die Zwischenstücke (Internodien) wachsen. Die Knoten dehnen sich mit. Auch die leicht konische Form des späteren Stammes bleibt erhalten, da der Trieb unter dem tiefstliegenden Knoten zuerst wächst.

Der Durchmesser der Bambusstämme nimmt mit jeder Generation zu (artenabhängig).

Bei einem Wachstum von 21cm pro Tag erreicht eine Bambuspflanze im Durchschnitt schon nach einem Monat 80% ihrer maximalen Höhe. Für die restlichen 20% braucht sie weitere 5 Monate. Die Fortpflanzung liegt bei ca. 1200-1350 Stöcken pro Hektar pro Jahr. Nach vier bis fünf Jahren beginnen die Stämme zu verholzen und trocken dann schlussendlich aus. Die verholzten Stämme haben die besten statischen Eigenschaften für den Bau. Während des Wachstums nehmen die Triebe bis zu 80% Feuchtigkeit auf, während

sie nach dem Aushärten nur mehr 20% beinhalten. Daher sind Bambussorten, die in trockeneren Gegenden wachsen, besser für den Bau geeignet als Arten aus feuchten Regionen.

Biomasse

Aufgrund seines schnellen Wachstums eignet sich Bambus perfekt für die Biomasseproduktion. Laut Cruz



Abb. 46: Ein Bambus-Rhizom mit einem frischen Trieb von der Gattung des *Phyllostachys bambusoides*

Ríos (2009) fällt auf einer *Guadua angustifolia*-Plantage Biomasse im Umfang von 594,2 Tonnen pro Hektar in sieben Jahren an.

Über die Hohlräume im Stamm kann eine Bambuspflanze Wasser für Trockenperioden speichern. Ein Hektar *Guadua angustifolia* kann demnach 30000 Liter Wasser speichern (Sabogal, 1979). Zusätzlich wird die Umgebungsluft über die Wasserverdunstung durch die Bambusblätter gekühlt.

Das schnelle Wachstum der Pflanze macht sie auch zu einem geeigneten CO₂-Fresser.

Auch der Energieaufwand für die Produktion von Bambus beträgt mit 300 MJ/m³ gerade einmal die Hälfte von Holz mit 600 MJ/m³ (lt. Janssen, 1981).

BAMBUS

31 "Rhizom – Wikipedia." 2003. 20 Nov. 2013 <<http://de.wikipedia.org/wiki/Rhizom>>

“594,2 Tonnen Biomasse per Hektar in sieben Jahren”

NUTZUNG

Anwendung

Der Stamm der Bambuspflanze eignet sich je nach Art und Alter für unterschiedliche Verwendungszwecke, vom Bauwesen bis hin zum Möbeldesign. Zusätzlich kann der Stamm in drei Nutzungssegmente unterteilt werden.

Die Zweige und Blätter werden für kleine Konstruktionen bzw. geflochtene Körbe oder Zäune benutzt.

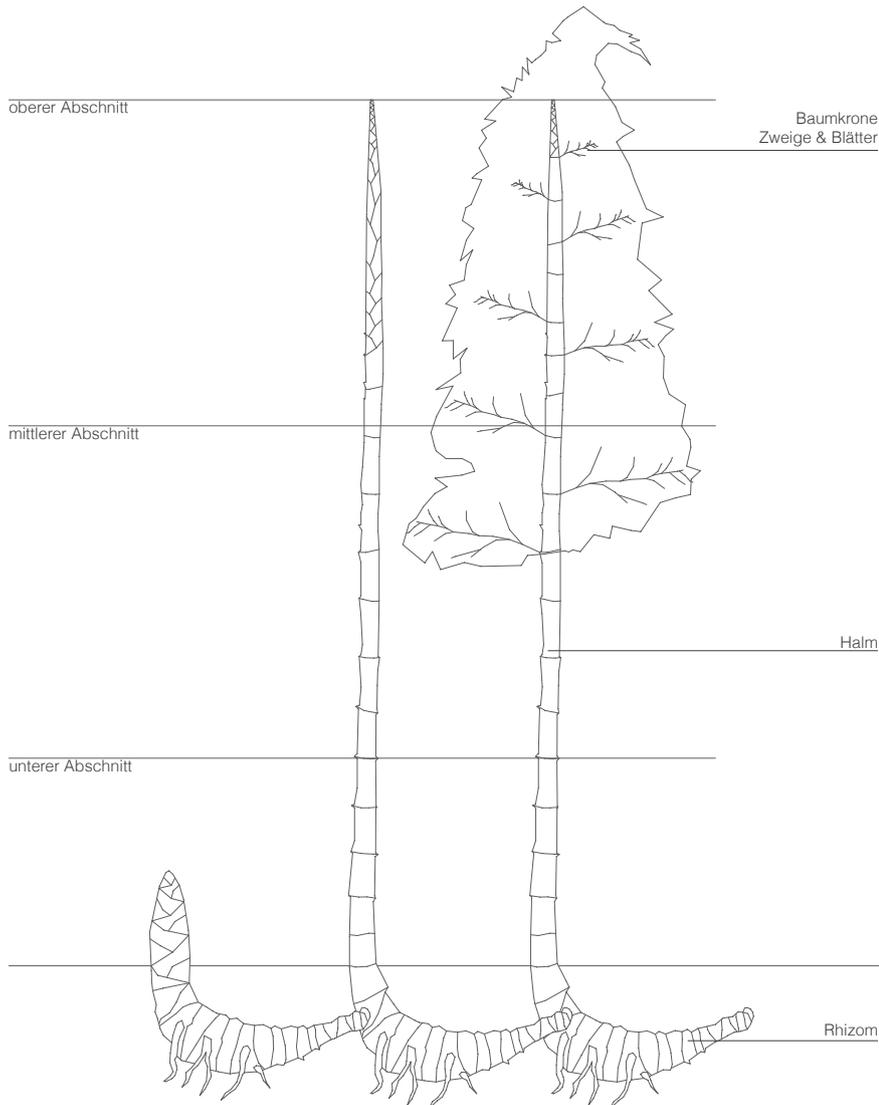
Der obere Teil des Bambus, die Spitze, kann als organischer Dünger benutzt werden.

2 Meter unter der Spitze befindet sich der dünnste und biegsamste Teil des Halms. Dieser eignet sich für den Bau von Dächern für Hütten.

Der mittlere Teil des Bambusstamms eignet sich dank seiner guten physikalischen Eigenschaften für den Bau von Hütten, Häusern, Gerüsten.

Der untere Teil des Stammes hat den größten Durchmesser und eignet sich daher sehr gut für druckbelastende Einsatzorte (Stützen).

Das Rhizom kann für handwerkliche Arbeiten verwendet werden (Spielzeug, Möbel,...).



Bearbeitung

Bambus enthält sehr viel Stärke, die Insekten anlockt. Zusätzliche Feuchtigkeit in den Stämmen kann ohne Trocknung ein Nährboden für Schimmel sein. Um diesen Risiken entgegen zu wirken, bedarf es einer richtigen Vorbehandlung.

Trocknung

Eine der meist benutzten Techniken besteht darin, die geschnittenen Bambusstämme gleich vor Ort für mindestens 4 Wochen trocknen zu lassen.

Eine andere Möglichkeit: die Stämme aufstellen und lufttrocknen lassen. Per Glashauseffekt lässt sich der Trocknungsprozess zusätzlich beschleunigen.

Weiters hat es sich bewährt, durch entkernte Stäbe per Kompressor heiße Luft durchzublasen. Diese kann entweder elektrisch oder per Alternativenergie erzeugt werden.

Die industrielle Mikrowellentrocknung funktioniert, indem hochfrequente elektromagnetische Wellen auf die Bambusstämme gerichtet werden. Dadurch beginnt das eingeschlossene Wasser zu verdampfen und der Stamm trocknet von innen her aus.

Diese Methode ist zwar sehr effektiv, aber auch energieaufwändig. Zusätzlich wird das entsprechende Equipment benötigt.

Hitzetrocknung

Bei der Hitzetrocknung werden die Stäbe horizontal in sicherem Abstand über glühenden Kohlen gelagert. Die

Trocknung erfolgt zwar sehr schnell, jedoch besteht die Gefahr, dass die Stäbe springen.

Erdbehandlung

In Bangla Desh wird eine einfache, wirksame Methode der Bambusbehandlung angewandt. Die Stämme werden hier mehrere Wochen in tonhaltigen Schlamm gelegt, wodurch ihnen die Stärke entzogen wird.

Rauchbehandlung

Eine schnellere Methode ist die des Räucherns. Die Bambusstäbe werden über einem Niedertemperaturöfen für 12 Stunden geräuchert. Durch das Verbrennen von nassem Holz entsteht eine sehr große Qualmbildung, welche für das Räuchern der Bambusstäbe notwendig ist.

Es ist auch möglich, Bambus an der Oberfläche mit Stahlwolle zu reinigen. Aufgrund der gesundheitsschädlichen Nebenwirkungen von Stahlwolle und der Gefahr, dass die Fasern der Stämme verletzt werden, ist diese Methode nicht empfehlenswert.

Eine weitere Oberflächenbehandlung ist der so genannte Kalkschutz. Hierbei werden die Bambusstäbe mit einem Kalkanstrich benetzt. Der Kalk wirkt dank seinem niedrigen PH-Wert als Pilz- und Insektenschutz. Um die Haltbarkeit des Anstriches gegen Witterungen zu erhöhen, kann man zusätzlich danach eine Bitumenemulsion auftragen.

BEHANDLUNG



Abb. 47: Eine "Regal-Konstruktion" für Pflanzentröge aus Bambusstäben.



Abb. 48: Ein Baugerüst aus Bambusstäben.

BEHANDLUNG

Konservierung

Um Bambusstämme witterungs - beständig zu machen, gibt es unterschiedliche Techniken.

So hat es sich bewährt, den Bambus vertikal in eine Tonne oder ein Behältnis zu stellen und per Bohrungen die obersten Stöcke zu perforieren. Danach wird eine Konservierungsflüssigkeit eingefüllt, die langsam durch den ganzen Stamm sickert. Die Flüssigkeit kann aufgefangen und wiederverwertet werden. Sprünge und Risse im Stock müssen mit Wachs oder anderweitig gestopft werden. Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Äste und Blätter die Giftstoffe der Konservierungsflüssigkeit aufnehmen und, wenn nicht vor dem Prozess abgetrennt, an die Umwelt abgeben.

Es ist auch möglich, die Stämme als Ganzes in einem Konservierungsbecken zu baden. Hierfür werden am besten alle Knotenwände (Diaphragmen) zwischen den Kammern durchbohrt. Anschließend werden die Stäbe mehrere Tage in das Becken gelegt. Als Konservierungsmittel eignen sich diverse Produkte auf Kupfersulfat-, Natriumdichromat- oder Zinkchloridbasis. Zusätzlich dürfen die eingelagerten Stämme nicht zu trocken sind, da sie sonst die Salzlösung nicht vollständig aufnehmen.

Die kostenintensivere, aber schnellere Anwendung dieser Technik ergibt sich dadurch, dass das Konservierungsmittel per Druckluft durch die Stäbe geblasen wird.

Um den geschnittenen Bambusstäben eine einheitliche Farbe zu geben, ist das Ausbleichen durch Sonnenlagerung sehr beliebt. Per Bienenwachs- oder Holzölsalbung kann dann die gebleichte und ausgetrocknete Oberfläche versiegelt werden.

Feuerschutz

Um Bambus eine bessere Brandhemmung zu geben, werden die fertigen Stämme mit einer Imprägnierlösung aus 100 Einheiten Wasser, 3E Ammoniumphosphat, 3E Borsäure, 1E Kupfersulfat, 5E Zinkchlorid, 3E Natriumchlorid und einer kleinen Menge Salzsäure bestrichen.

Lagerung

Da Bambus ein hygroskopisches und poröses Material ist, sollte der Kontakt mit Wasser in flüssiger wie auch gasförmiger Form vermieden werden. In seiner aufgequollenen Form verliert Bambus seine mechanischen Eigenschaften. Daher muss Bambus in einer trockenen und gut belüfteten Umgebung gelagert werden.



Abbildung 49 oben : Die Halme werden aufgelegt und vorsortiert auf Risse bzw. Schäden an den Halmen.

Abbildung 50 unten: Die Bambusstäbe werden in Schräglage, aufgestellt luftgetrocknet.



BEHANDLUNG



Abb. 51: Bambusstäbe werden in einem Konservierungsbecken gebadet.



Abb. 52: Die kostenintensivere Schnellkonservierung der Stäbe. Per Druckluft wird das Konservierungsmittel durchgeblasen



Abb. 53: beschleunigte Lufttrocknung



Abb. 66: Bambusknoten

DEFINITION^{35,36}

35 "tefel pages - All-States Inc." 2009, 9 Mar. 2014
<<http://www.cable-ties.com/catalog/pdfs/tefel.pdf>>

36 "Neues Bauen mit ETFE-Folien, Teil 1 und 2
(G.Schmid; AB ... - Dyana." 2010, 10 Mar. 2014
<http://dyana.de/fileadmin/dyana/Downloads/NeuesBauenETFE_1.pdf>

ETFE- Folien beziehungsweise die Glasfaser verstärkten PTFE- Glasgewebe sind Membranen, die zwar schon seit ca. 40 Jahre in der Architektur Anwendung finden, jedoch erst jetzt dank dem Kissensystem wirklich interessant werden.

Aufgrund des leichten Gewichts und der guten Lichtdurchlässigkeit eignen sich ETFE Membranen perfekt für Dach- oder Fassadenkonstruktionen. Die Lichtdurchlässigkeit unterscheidet sich nach Materialwahl: PVC-beschichtetes Polyestergewebe ist die günstigste Variante.

PTEFE ist, wie schon erwähnt, eine knickbeständige ETFE- Variante. Bei erhöhter Transluzenz besteht sogar die Rückprojektionsfähigkeit. Der wirkliche Konkurrent für Glas ist jedoch die ETFE- Folie, die als Einzige wirklich "durchsichtig" ist.

Das Material

ETFE ist die Kurzform für Ethylen - Tetrafluorethylen, einem fluorierten Copolymer, bestehend aus den Monomeren Tetrafluorethylen und Ethylen. Die Eigenschaften dieses Kunststoffs sind sein geringes Gewicht



Abb. 54: ETFE Fassade

DEFINITION

und die hohe Licht- bzw. Ultraviolett-Durchlässigkeit. Eine 25 µm dicke ETFE-Folie lässt bereits 91,5% Licht der Wellenlänge von 200nm durch. Fensterglas ist in diesem Bereich noch undurchlässig. In der Architektur üblichen Folienstärken von 50-250 µm haben immer noch eine 90-prozentige Lichtdurchlässigkeit im sichtbaren Wellenbereich von 400-700nm.

Aufgrund der hohen Durchlässigkeit auch im unteren Wellenbereich sowie von UV A & B eignen sich ETFE-Folien sehr gut als Dachhaut für Hallenbäder wie Gewächshäuser.

Thermisches Verhalten mehrlagiger ETFE-Kissen

Bei den sogenannten ETFE-Kissen handelt es sich um zwei oder mehr verschweißte Folien mit einer Stützluftfüllung. Da Membranen im Gegensatz zu Glas auf Zug beansprucht werden müssen, um statisch wirksam zu werden, wirkt die Stützluft in diesem Fall tragend (nicht im Sinne der Bautechnik).

Der Stützluftpolster muss ständig mit einem kontrollierten Druck und sauber und trocken vorhanden sein. Beim Eintritt von Feuchtigkeit kann es zu innenliegender Kondensatbildung kommen, was die Lichtdurchlässigkeit erheblich beeinflusst. Wie auch andere Kunststoffmembranen bietet auch ETFE einen sehr hohen Dampfdiffusionswiderstand (sd). Somit findet nur eine vernachlässigbare Feuchtekommunikation durch die Hülle statt.

Produkt	Sd-Wert (m)	Durchtritt vom Wasserdampf laut DIN 53 122 bei 85% Luftfeuchtedifferenz und 23°C in g pro m ² und Tag
Alu-Folie ab 0,05mm	>1500	praktisch dampfdicht
Beton 25cm	37	1g
PTFE	34	1g
ETFE 200 µm	20	2g
Holzspanplatte 20mm	2	19g
Gipskartonplatte 20mm	0,2	praktisch diffusionsoffen
Diffusionsoffene Unterspinnbahn	0,02	2000g

Tabelle:
Vergleich von Sd-Werten und Wasserdampfdurchtritt

Wenn man ein Kissen nur einmal mit feuchter Stützluft füllen würde, dann gäbe es von Dezember bis März Tau- und Kondensatbildung. Wenn man es jedoch mit trockener Luft und einem Luftwechsel von 4% (=4% des Gesamtvolumens pro Stunde) versorgt, wäre es ganzjährig kondensatfrei.

Laut Faustformel sollte es reichen, mit einem einfachen Luftaustausch pro Tag kondensatfrei zu bleiben. Geregelt wird das Ganze durch Drosselschalldämpfer am Rand oder tiefsten Punkt. Bei größeren Kissenflächen kann eine energiesparende Luftrückführung verwendet werden. Da die Stützluft somit ständig zirkuliert, muss man sie dann nur noch nachtrocknen. Berechnungen der Firma Elnic, Rosenheim, zufolge sind die Mehrkosten für ein Zirkulationssystem

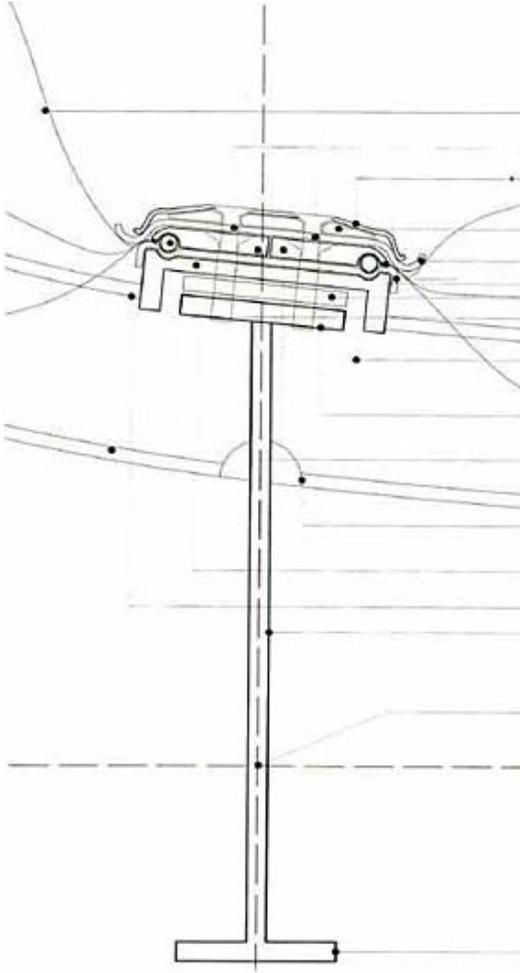


Abb. 55: ETFE-Folien Detail

DOUBLE LEAF FACADE

Double skin facade composed of a glass curtain wall and an ETFE leaf acting as a thermal buffer to protect against weather conditions. Ventilation is achieved by breaking the outer cavity into clusters of buffered zones creating a segmented system accustomed to programmatic floors.

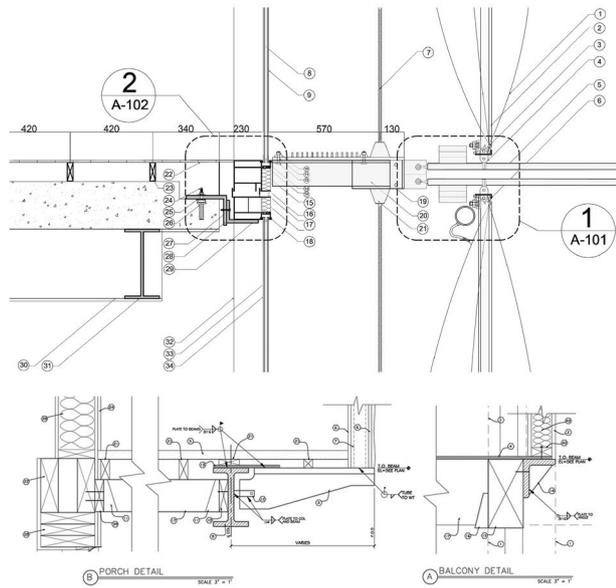


Abb. 56: ETFE-Fassadendetail

bereits nach 2 Jahren wieder ausgeglichen.

Die Randprofile von ETFE-Kissen basieren auf dem Prinzip des Formschlusses. Der kederverstärkte Folienrand wird mit Kunststoff- bzw. Aluminium-Formteilen umfasst und dann auf der Unterkonstruktion verankert (Siehe Abbildung auf der nächsten Seite).

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Randprofilen: mehrteilige und einteilige. Die mehrteiligen lassen eine zeitversetzte Montage der Kissen zu und bestehen aus einem Tragprofil und zwei Kedernutprofilen mit Dichtung und Deckel. Das einteilige Randprofil lässt hingegen nur das Befestigen eines Kissens zu.

Im Hinblick auf Raum-innenliegende Kondensatbildung schneidet das ETFE-Kissen nicht schlechter ab als Isolierglas, einzig und allein die Randprofile brauchen kompliziertere Lösungen, da sie eine Kältebrücke sein können. Beziehungsweise ist der Dämmwert bei Kissen zum Rand hin aufgrund der Krümmung schlechter als an der stärksten Stelle. Um eine innenliegende Kondensatbildung in einem Schwimmbad oder Tropenhaus zu verhindern, bedarf es wie auch beim Isolierglas einer Oberflächenbelüftung.

BAUPHYSIK

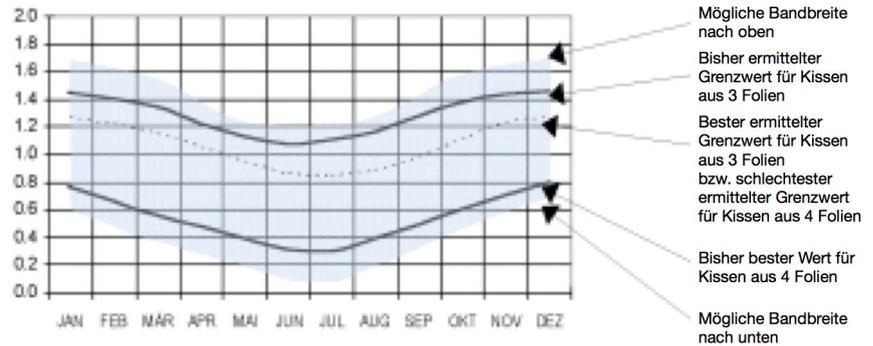


Abb. 57: Simulationsergebnisse und Prognosen zu U_{eff} -Werten von Folienkissen.
Quelle: IB Buchner, Bochum

Bauphysik

Grundsätzlich kann der U-Wert von ETFE-Kissen wie folgt zusammengefasst werden:

1 Kammerkissen (2 Folien) = 3,0 W/m²K

2 Kammerkissen (3 Folien) = 2,0 W/m²K

3 Kammerkissen (4 Folien) = 1,5 W/m²K

Jedoch muss man, wie schon erwähnt, berücksichtigen, dass dieser Wert gegen den Rand hin aufgrund der Krümmung sich deutlich verschlechtert. Zudem eignet sich der U-Wert nicht sonderlich gut für ETFE-Kissen, da die Strahlungsgewinnung nicht berücksichtigt wird. Besser geeignet ist die Simulation von Buchner und Dr. Mahler.

EIGENSCHAFTEN

Abbildung rechts oben:
Eden Project, Bodelva, Cornwall
(2003)

http://www.tensinet.com/project_files/4403/CIMG1673-2.jpg

Abbildung rechts unten:
PTW Architects - Beijing National
Aquatics Center, "Water Cube" (2007)

http://www.stylepark.com/db-images/cms/vector_foiltec/img/p299933_2200_1515-1.jpg

Brandschutz

ETFE- Folien sind laut DIN 4102 als B1 schwer entflammbar und nicht brennend abtropfend eingestuft. Ein sehr praktisches Verhalten von ETFE-Folien wurde bei experimentellen Versuchen festgestellt. Im Falle eines Brandes und der dadurch entstehenden Hitzeentwicklung zieht sich die Folie zusammen, sodass die Nähte aufgehen und somit dem erstickenden Rauchgas einen Weg nach draußen bieten.

Extremsituationen

Weder eine Zigarette noch ein explodierender Feuerwerkskörper können eine 200 µm dicke Folie zum Schmelzen bringen.

Eine ETFE-Folie eignet sich nicht als Diebstahlschutz, da sie zwar unter großem Kraftaufwand mit einem scharfen Messer aufgeschnitten werden kann.

Laut der Schweizer EMPA (Eidgenössischen-Materialprüfungsanstalt) erfüllen ETFE-Folien die SIA 280 und sind demnach hagelsicher. Wobei es bei

schwerem Hagel doch schon vereinzelt Schäden nachgewiesen wurden.

Statik

ETFE- Folien werden mit einer an ihre Tragfähigkeit angepassten Vorspannung eingebaut und sind daher weniger reißgefährdet als andere Membranen.

Aufgrund der glatten und gekrümmten Spannung sind die Folien nicht begehbar.

Die Haltbarkeit wird auf eine, für Kunststoffe lange Zeit von 25-50 Jahren ohne Brüchigkeit oder andere Alterserscheinungen angegeben.

Kosten

Ab der Oberkante der Unterkonstruktion kostet ein montiertes 2 Kammern ETFE- Kissen ab 500m² 250-350 €/m². Im Preis inkludiert sind jedoch Kissen, Randprofile, Stützluftversorgung, Steuerung und die Luftleitungen.



Abb. 58: Eden Project, Cornwall

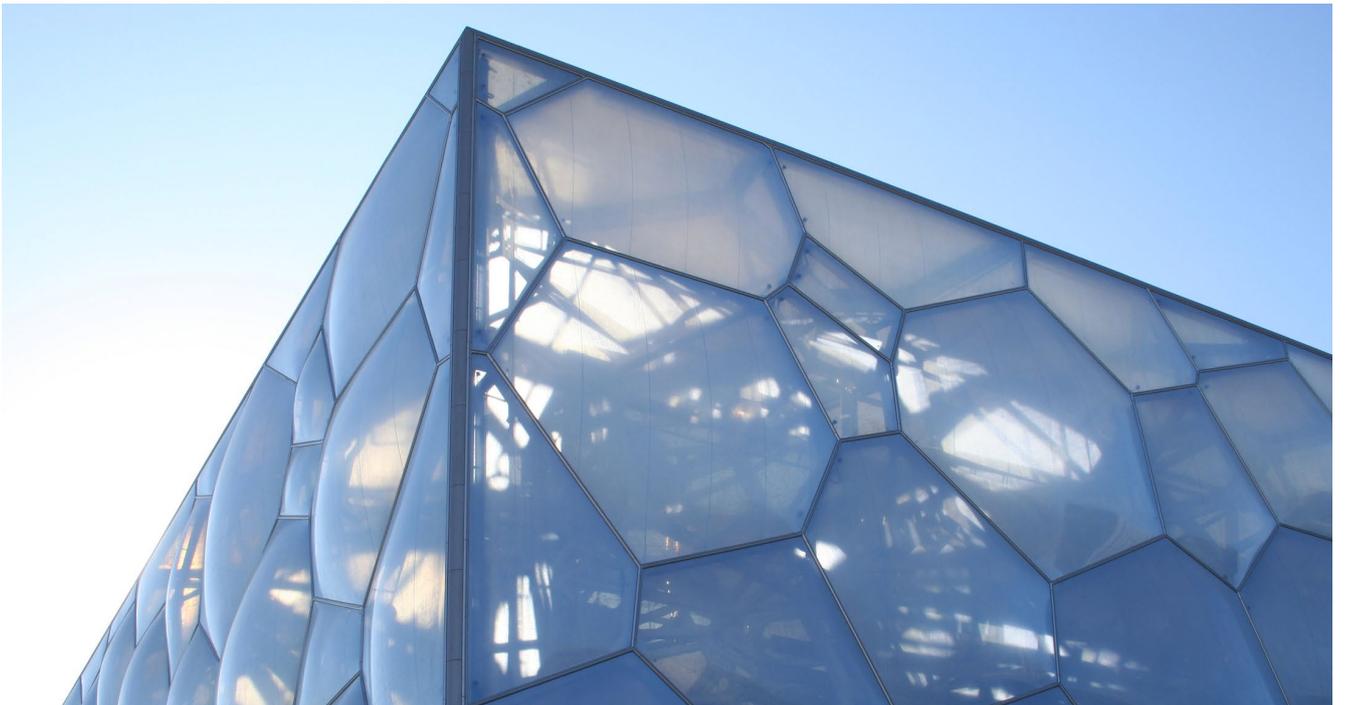


Abb. 59: Water Cube, Peijing

Ultrahochfester Beton (UHPC, UHFB) zeichnet sich im Vergleich zu herkömmlichem Beton durch eine erhöhte Druckfestigkeit aus. Je nach Zusammensetzung des UHPC ist eine Druckfestigkeit von bis zu 250 N/mm² möglich. Um höhere Festigkeitskennwerte zu erreichen, wird die Körnung der Zuschlagsstoffe auf eine Größe unter 1mm reduziert. Zusatzstoffe wie Quarzsand mit geringeren Korngrößen als Zement verringern die Lufteinschlüsse im Zement. UHPC ist faserbewehrt: Es kommen Microfasern aus PVA zum Einsatz. Die Fasern haben eine Zugfestigkeit von 1000 N/mm² und einen maximalen Durchmesser von 0,3mm. Auf herkömmliche Bewehrung

kann verzichtet werden. Eine Vorspannung ist möglich und bei auf Zug beanspruchten Trägern durchaus üblich. Zusätzlich können dem Beton Farbpigmente beigegeben werden. UHPC eignet sich hervorragend für vorgefertigte Elemente. Mit diesem Material können unterschiedlichste Formen entwickelt werden. Eine serienmäßige Herstellung der Elemente garantiert die Einhaltung der Materialkennwerte. UHPC weist eine verbesserte Dauerhaftigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Betonarten auf. Aufgrund der höheren Dichte gelangen Schadstoffe wie Sulfate nicht in den Beton und können das Material so nicht schädigen.

Ultra-Hochfester Beton³⁷

37 vgl. NPCA White Paper - Ultra High Performance Concrete - Guide to manufacturing architectural precast UHPC elements, 2013

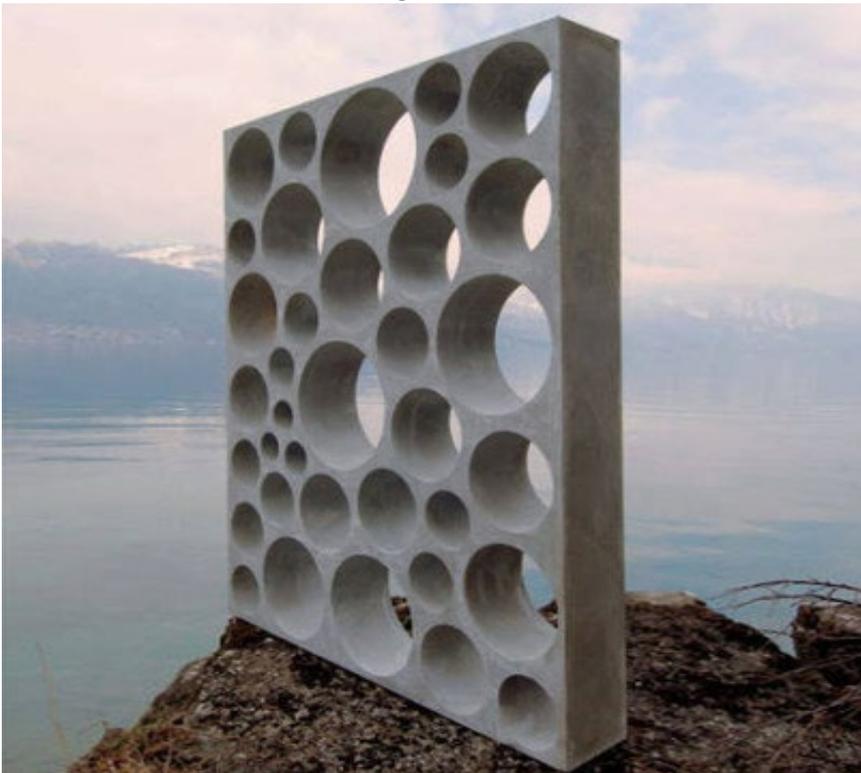


Abb. 60: Perforiertes Betonelement aus UHPC

5.1 Belichtungsstudie

Sonnenrose
Tagesverlauf
3D Modell
Raumbelichtung
Lichtbedarf

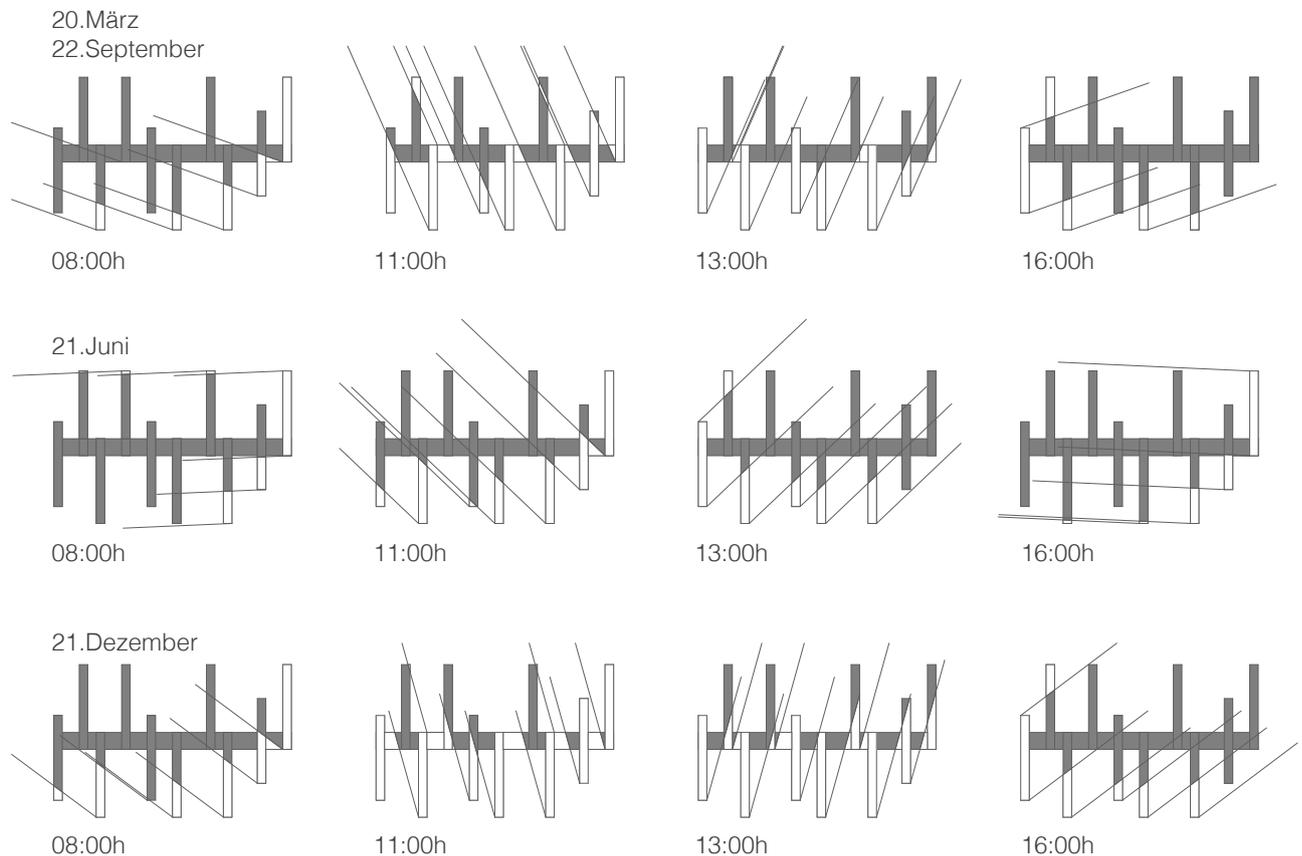
Orientierung und Gebäudeform sind ausschlaggebend für die Belichtung der einzelnen Gebäudekörper und Innenräume.

SONNENROSE

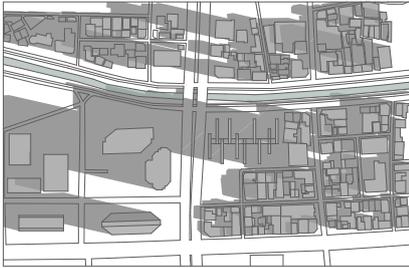
Um maximale natürliche Belichtung der Geschosse zu bekommen, Bedarf es einer Lichtstudie sowohl in der Situierung und Orientierung der Gebäudescheiben in der Lage wie auch in der Höhe. Eine einfache Sonnenanalyse anhand einer Sonnenrose (Abb.) zeigt die Auswirkungen der beiden Extrema der Belichtung (zugleich Sonnenwende): des Sommerstands der Sonne am 21. Juni und des Stands am 21. Dezember. Zu berücksichtigen ist hier, dass diese Graphiken nur den möglichen Lichteinfall der

Orientierung darstellen, die Sonne aber im Falle des 21. Dezember mit einem Einfallswinkel von 10° - 30° kommt, am 21. Juni jedoch steiler, also mit 45° - 75° . Man erkennt rasch, dass die Gebäudekörper im Norden am schlechtesten direkt belichtet werden. Das liegt jedoch daran, dass sie hier nur in der Ebene betrachtet werden und die Höhe der Gebäude so keinen Einfluss hat.

Durch unterschiedliche Höhen der Gebäudescheiben kann auch der Belichtungsbereich der nördlichen Geschosse aufgewertet werden.



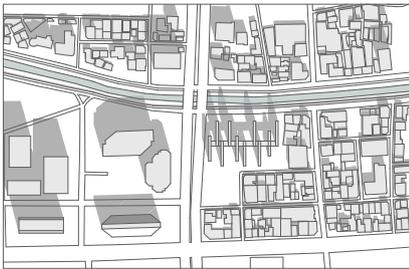
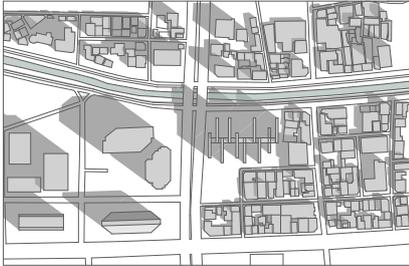
TAGESVERLAUF



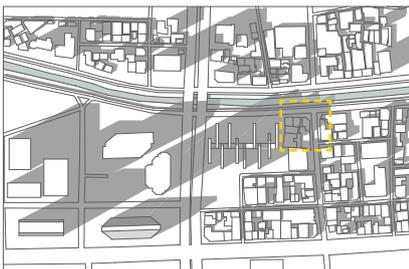
Eine Besonnungsstudie über einen Tag zeigt in 5 markanten “frames” den Schattenwurf der Umgebungsbauten und des Entwurfsgebäudes.

Hier sieht man deutlich, dass auf Grund des Flussbeetes im Norden die Schlagschatten unseres Entwurfes nicht bis zur Randbebauung reichen.

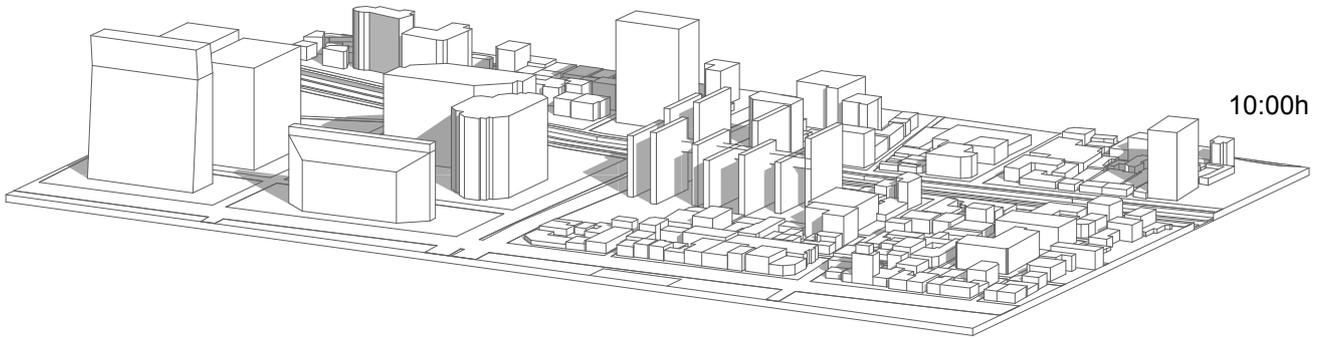
Lediglich im letzten Bild ist erkennbar, dass der Schattenwurf wie eine verlängerte Achse den nord-östlichen Teil des angrenzenden Wohnviertels trifft (ca. 17 Uhr).



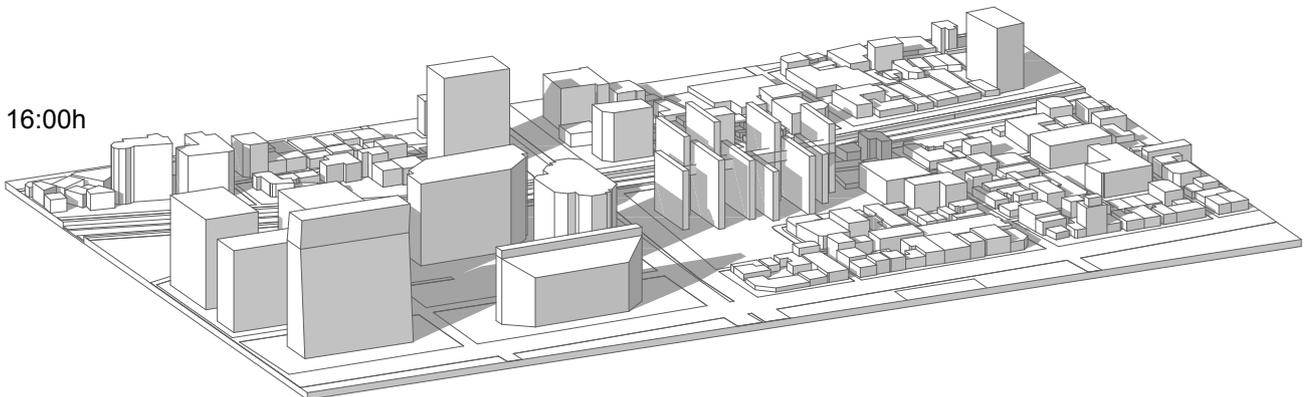
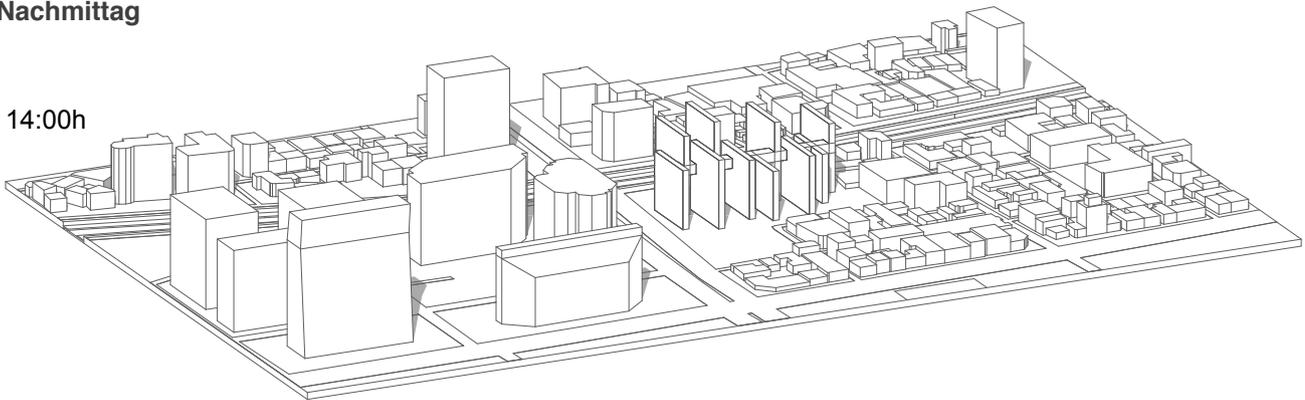
Die Orientierung der vertikalen Farm innerhalb des Bauplatzes ist so gewählt, dass die Gebäudescheiben im Süden, die am besten natürlich belichtet sind, nicht von den Schlagschatten der hohen Bebauung im Süden getroffen werden.



Vormittag



Nachmittag



3D MODELL

Die Abbildung links zeigt den Schattenwurf am Vormittag wie auch am Nachmittag.

Um 10:00h kommt das Sonnenlicht flach aus Nord-Ost. Dank der niedrigen Nachbarsbebauung im Osten und dem künstlich angelegten Fluss "Cheonggyecheon" im Norden, kann die Morgensonne direkt die Ostfassaden der nördlichen Gebäudescheiben sowie ca. 1/3 der südlichen Farmen bestrahlen.

Zu Mittag, wenn die Sonne im Zenit steht, schützen die Geschosdecken des Gebäudes die darunterliegenden Bebauungsflächen / Pflanzen vor der zu intensiven UV-Strahlung und Hitzeentwicklung. Indirektes Umgebungslicht wird trotzdem durch die transluzente Fassade durchgelassen.

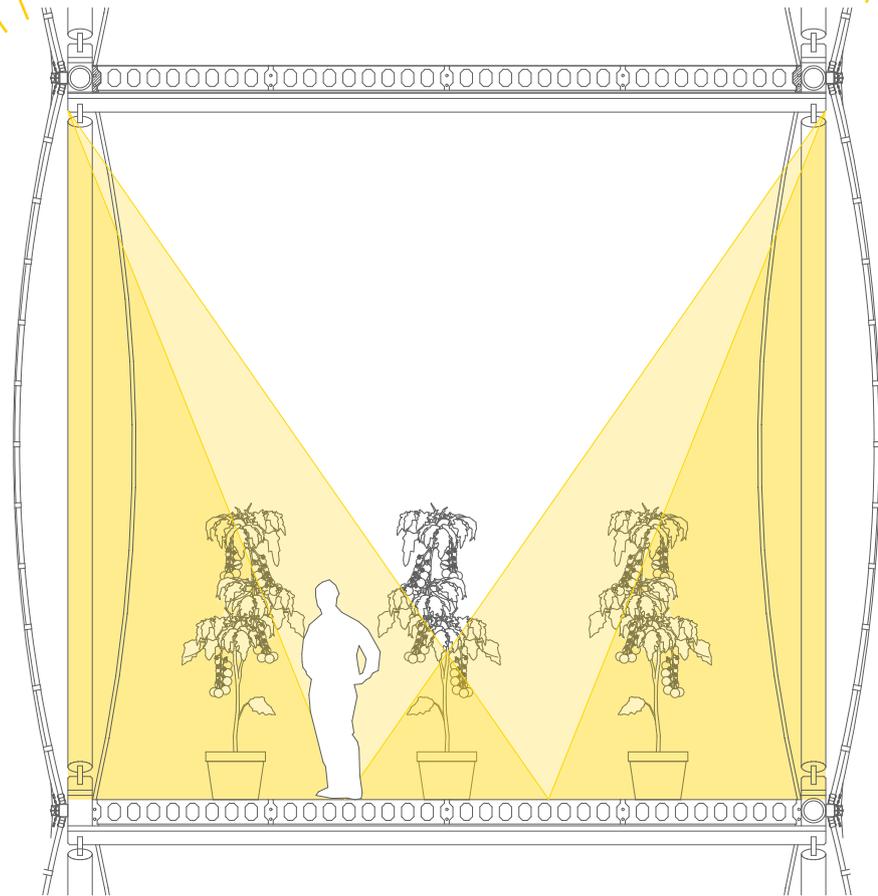
Am Nachmittag dreht sich die Besonnungsseite nach Süd-Westen.

Um ca. 14:00 Uhr sind alle West-Fassaden direkt belichtet.

Erst gegen 16:00h fällt der Schlagschatten der hohen Bebauung im Westen auf unseren westlichsten Gebäudekörper. Alle Farmgebäude sind noch zu gut einem Drittel direkt belichtet.

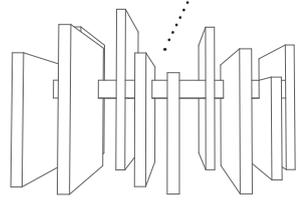
13:00h pm
14:00h pm

10:00h am
11:00h am



6m

6m



**Einfallswinkel
Sommerzeit (21.Jun)**

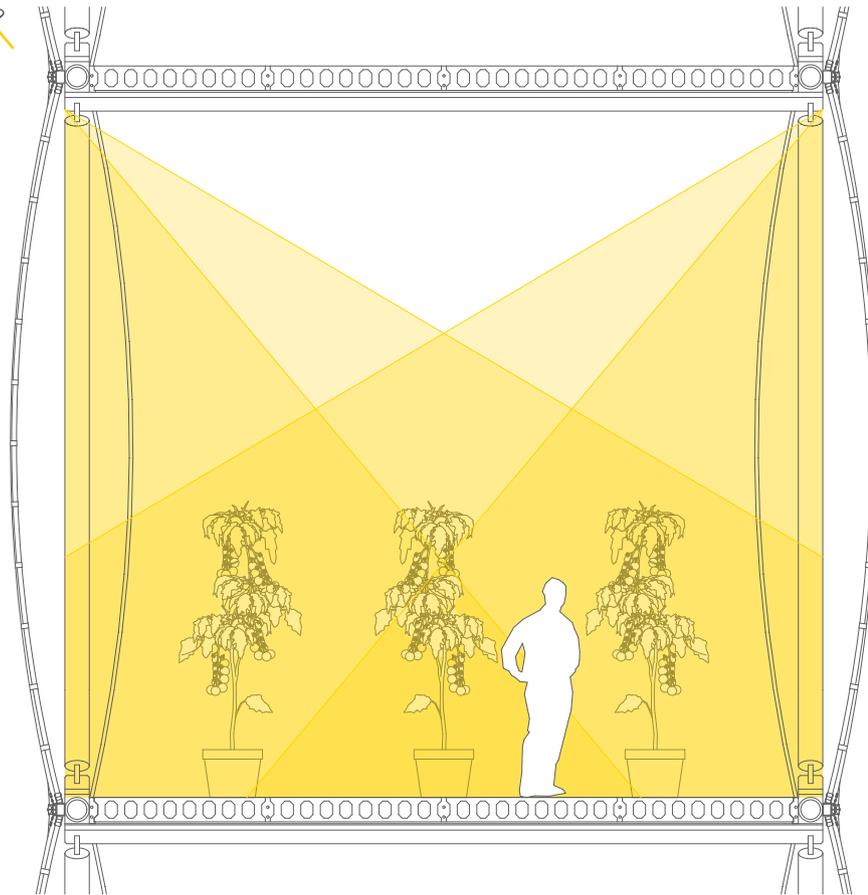
Dank der schlanken Ausführung der Gebäudescheiben mit 6m Geschosshöhe und 6m Breite, können die Einfallswinkel der Sonne optimal genutzt werden. So reicht im Sommer (21. Juni) die intensive Vormittagssonne im Intervall von 10-11 Uhr bis ca. zur Hälfte der Geschossplatte. Die zu intensive Strahlung zu Mittag wird durch Dach und Geschossplatten weggefiltert. Am frühen Nachmittag zwischen 13-14 Uhr spielt sich das gleiche Szenario auf der gegenüberliegenden Seite ab. Zu berücksichtigen ist, dass hier nur die direkte Sonneneinstrahlung aufgeführt wird. Nur wenige Pflanzen mögen intensive Sonnenbestrahlung. Der Entwurf des Raumverhältnisses ist so gewählt, dass jede Pflanze nur in einem kurzen Zeitintervall direktes Sonnenlicht bekommt (vor allem das intensive um die Mittagszeit). Somit kann die Anbaufläche als "Halbschatten" beschrieben werden. Das für das Pflanzenwachstum bessere diffuse Licht wird dank der gekrümmten Folienfassade zusätzlich im ganzen Raum verteilt. Dank einer Licht- und Ultraviolett-Durchlässigkeit der ETFE- Folien von 91,5%³⁸ bei einer Wellenlänge von 200nm wird Sonnenstrahlung schon genutzt, wo herkömmliches Glas noch undurchlässig ist.

RAUMBELICHTUNG

38 "Ethylen-Tetrafluorethylen – Wikipedia." 2014. 27 Feb. 2014 <<http://de.wikipedia.org/wiki/Ethylen-Tetrafluorethylen>>

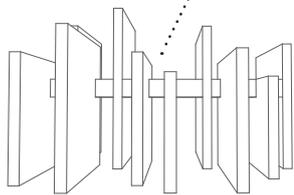
13:00h pm
14:00h pm

11:00h am
10:00h am



6m

6m

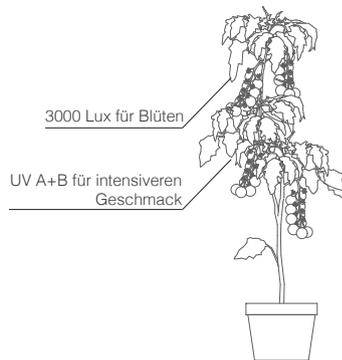


**Einfallswinkel
Winterzeit (21.Dez)**

RAUMBELICHTUNG

Im Winter ist die Sonnenintensität wesentlich schwächer. Daher ist es um so wichtiger, dass das Sonnenlicht möglichst lange und großflächig die Anbaufläche abdeckt. Die Grafik links zeigt den Einfallswinkel der intensivsten Sonnenstrahlung um die Mittagszeit am 21. Dezember. Gut erkennbar ist, dass auch hier die 6m schmale Geschossplatte den Vorteil hat, optimale Bedingungen für den Anbau von Pflanzen zu schaffen. So wird die schwächere Strahlung in längeren Intervallen fast vollständig, sowohl am Vormittag wie auch Nachmittag, aufgefangen. Die Pflanzen haben somit kontinuierlichere Sonnenbestrahlung mit weniger Schattenzeiten. Im Winter kommt vorallem die gewaltige Raumhöhe von 6m zum Nutzen. Der doch flachere Sonneneinfallswinkel kann somit auch Pflanzen in hinteren (gegen Raummitte) Reihen erreichen, ohne vorher von jenen in den vorderen weggefiltert zu werden.

LICHTBEDARF



Raumpflanzen Lichtbedarf

Pflanzen benötigen CO₂ und Sonnenlicht für die Photosynthese. Damit eine Pflanze Blüten bildet, benötigt sie ca. 3000-4000 Lux. Unter freiem Himmel können bis zu 76000 Lux gemessen werden, hinter einem herkömmlichen Glasfenster mit einer Rohbaulichte von 2 Metern nur noch 53000. Einen Meter vom Fenster entfernt sind es nur noch 500 Lux und bei 2 Metern 240 Lux.

Zusätzlich filtert herkömmliches Fensterglas große Teile des für Menschen nicht sichtbaren Lichtspektrums weg.

Das beste Wachstum haben Pflanzen durch die roten (nahe dem Infrarot) und blauen Lichtwellen. Sogar UV-A, B und C-Strahlung ist sehr wichtig, um bei den Pflanzen einerseits die natürliche Resistenz dagegen zu entwickeln, andererseits für die Entwicklung des Geschmacks in der Fruchtreifung.

Durch erhöhte Raumhöhe und eine ETFE-Fassade können die Lux- und Farbspektrumswerte für Innenraumpflanzen verbessert werden.

5.2 finaler Entwurf

Konzept

Lage

System

Gebäudeaufbau

Gebäudetechnik

...der finale Entwurf

KONZEPT

Das Grundkonzept des Entwurfs ist der vertikale Anbau von Gemüse. Unser Ansatz von Anfang an war das bekannte System von "vertikalen Farmen", wo Nutzpflanzen in möglichst großen Mengen innerhalb eines Gebäudes gezüchtet werden, zu durchbrechen. Der "Idealzustand" eines vertical farm - Konzepts ist eine Lagerhalle mit Regalsystemen, hydroponische Nährstoffversorgung und 8-10 Stunden (Pflanzen brauchen auch eine Regenerationsphase) gleichmäßiges künstliches Licht pro Tag. Unser Ansatz war es, möglichst viel Gemüse in einem Hochhaus zu züchten, auf die soweit wie möglich natürlichste und transparente Art und Weise in Gegenden, wo wenig Platz für Agrarbau ist. Der Entwurf beruht daher auf sehr schmalen Gebäudescheiben, die aufgrund ihrer Schmalheit und hohen Geschosshöhe so viel wie

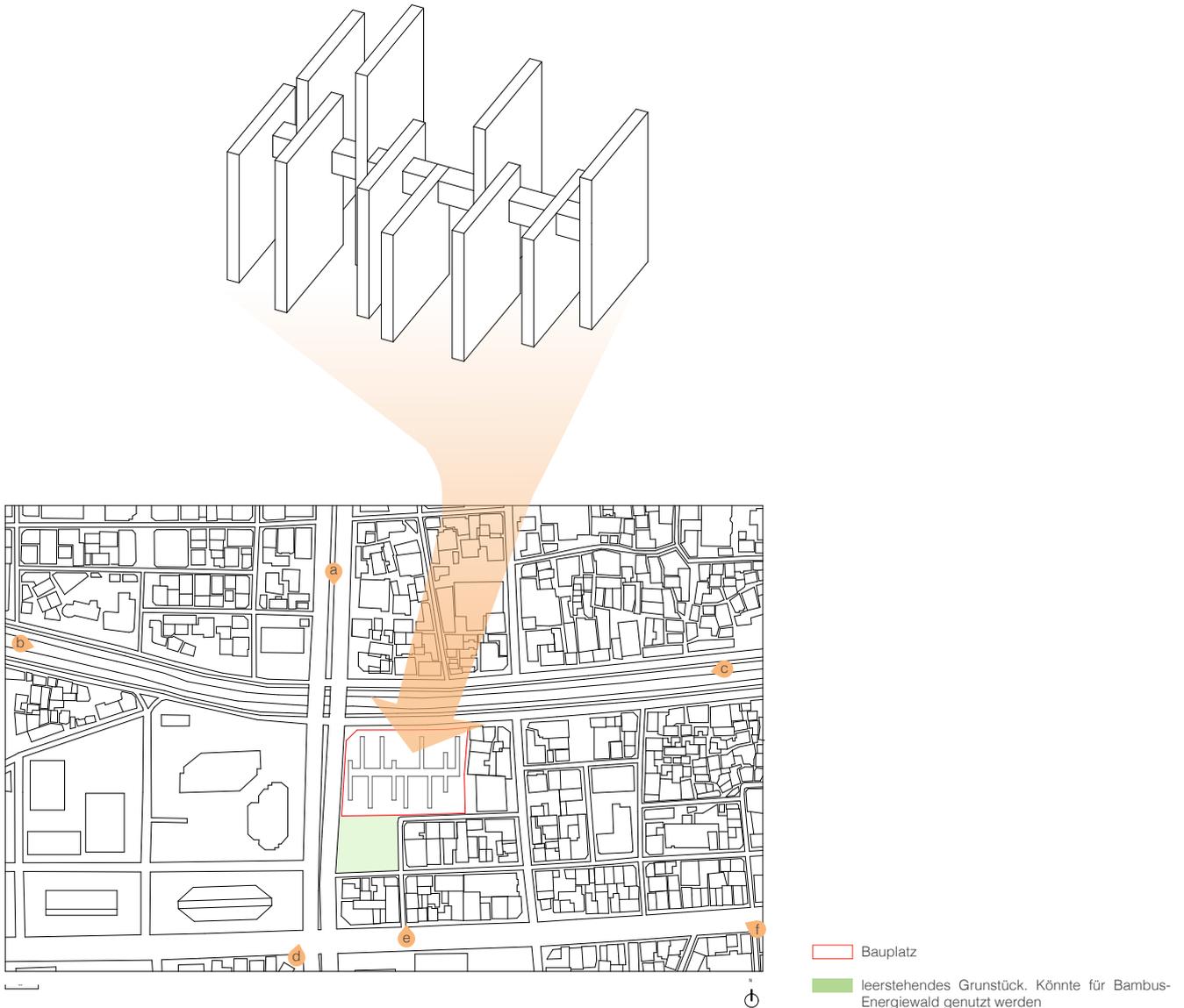
möglich natürliches Sonnenlicht auffangen können. Auch die Wahl von Leichtbaumaterialien und einer speziellen Kunststofffassade anstelle von Glas sind Maßnahmen, um die maximale Breite des Lichtspektrums in die Innenräume zu bringen. Obwohl es beispielsweise nicht nachgewiesen ist, gibt es bei Feldversuchen einen leichten erkennbaren Unterschied im Geschmack von in der Sonne gereiften Früchten gegenüber denen unter künstlichem Licht.

Um auch eine Transparenz und einen Bezug zu dem Anbauprozess der Nutzpflanzen zu schaffen, entschieden wir uns, einen der Öffentlichkeit zugänglichen Bereich, dem botanischen Garten zu schaffen, welcher horizontal durch alle Anbaugebäude geht. Schlussendlich kauft man sein Gemüse doch am liebsten dort, wo man sieht, wie es angebaut wurde.

Das Planungsgebiet befindet sich im Zentrum von Seoul am Fluss Cheonggyecheon (welcher künstlich angelegt wurde und eigentlich kein

“Fluss” ist). Nach Westen hin befindet sich hohe Bebauung, nach Osten flache.

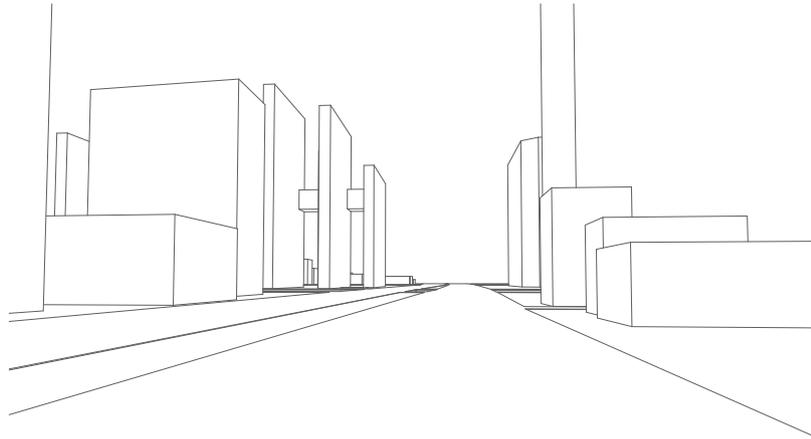
LAGE



LAGE

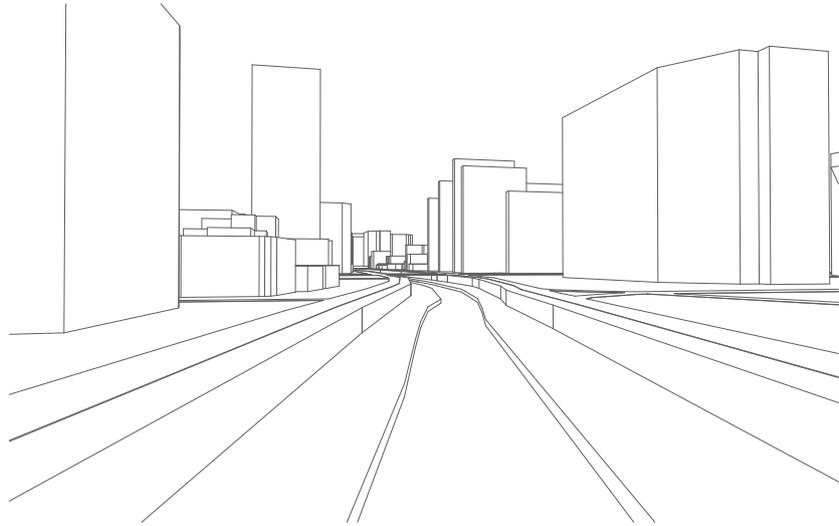
a

Blick aus Norden vom Highway aus. Schlanke Gebäudescheiben bieten mit ihrer Höhe einen Gegenpol zu der hohen Bebauung rechts. Trotz allem wirken die Gebäudescheiben sehr "luftig" und erlauben eine weiterführende Sicht nach vorne (Süden).



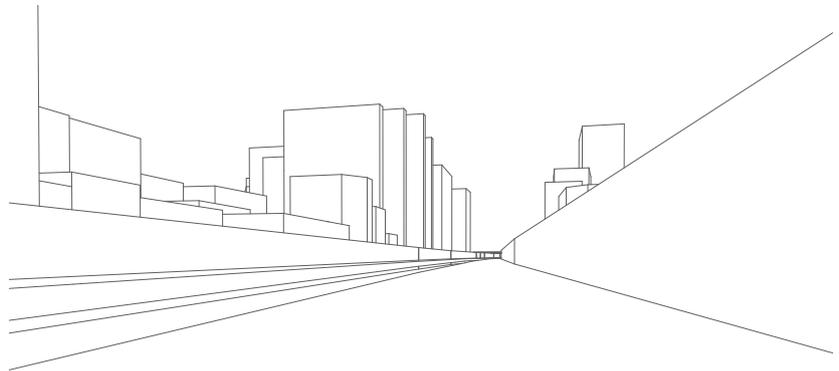
b

Aufgrund der einzelnen Scheiben, die im Abstand zueinander versetzt stehen, wird die Krümmung der Perspektive in der Entfernung verstärkt. Die Bewegung des Flusses nach links wird aufgenommen und in die Bebauung dahinter weitergeleitet.

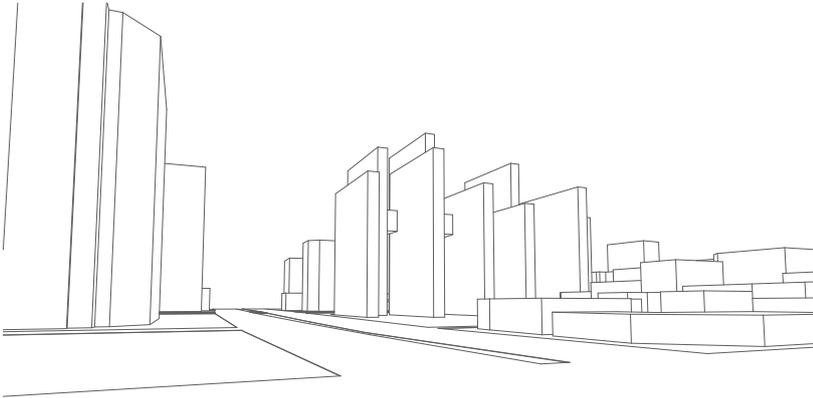


c

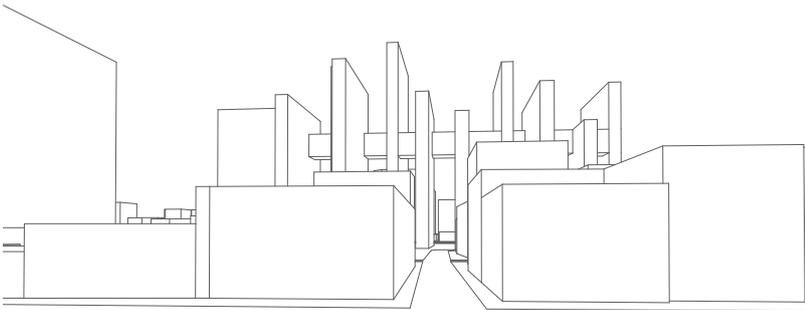
Auch der Blick nach Westen vom Flussbeet aus verzerrt dem Betrachter seine Wahrnehmung von Tiefe.



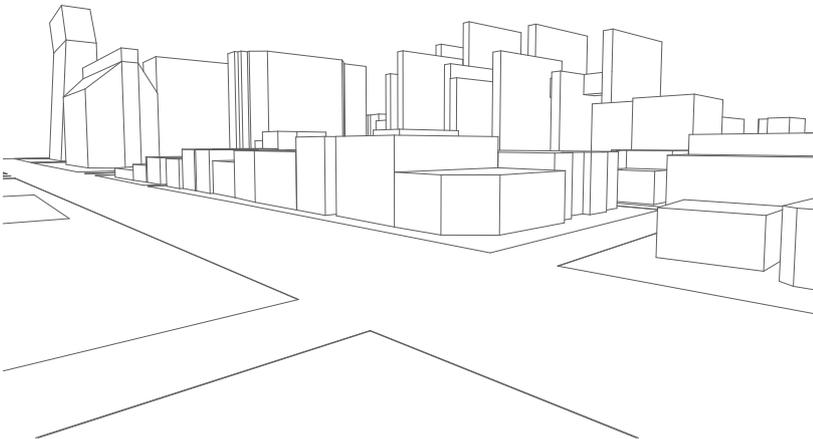
LAGE



d
Der Blick nach Norden zeigt richtig schön den Übergang von Hoch zu Niedrig, ohne dabei schwer und massiv zu wirken.



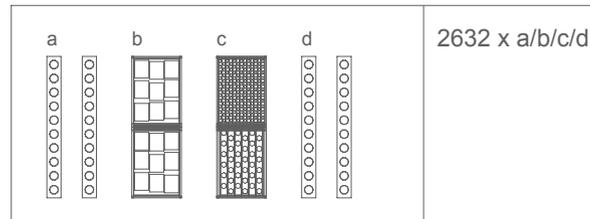
e
Auch bei den Achsen der kleinen Gassen wirkt der Entwurf nicht blockend, sondern die Bauflucht weiterführend.



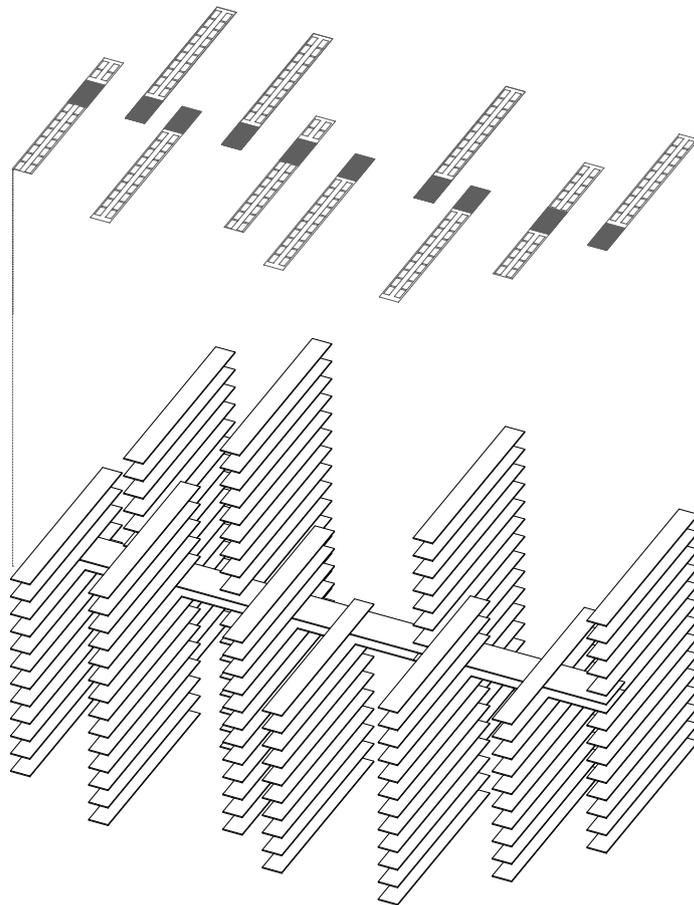
f
Die Skyline des Viertels wird wesentlich homogener durch die verschachtelten Gebäudescheiben.

SYSTEM

Das Gebäude in seine Elemente zerlegt weist 134 Geschosse auf. Diese Anbauflächen können auf 4 verschiedene Arten bespielt werden. Da gäbe es zunächst System (a), die Anpflanzung mit Kokosfasern. Diese werden in Säcken verpackt wie Blumenerde in Baumärkten in den handelsüblichen Größen angeboten (zb. 15 oder 40 oder 60Liter). System (b) beinhaltet ein Wasserbecken, auf dem Styroporplatten mit Löchern und Setzlingen schwimmen. Hierbei handelt es sich um eine einfache Art der Hydroponik. Die Variante (c) ist ein komplizierteres hydroponisches System, in dem Behälter mit Netz-Blumentöpfen in ein Stativ eingehängt sind. Das letzte vorgeschlagene System ist eine herkömmliche Anbauvariante (d), wo Strohballen mit Erde gefüllt werden (zwecks erleichtertem Transport).



= 134 Geschosse



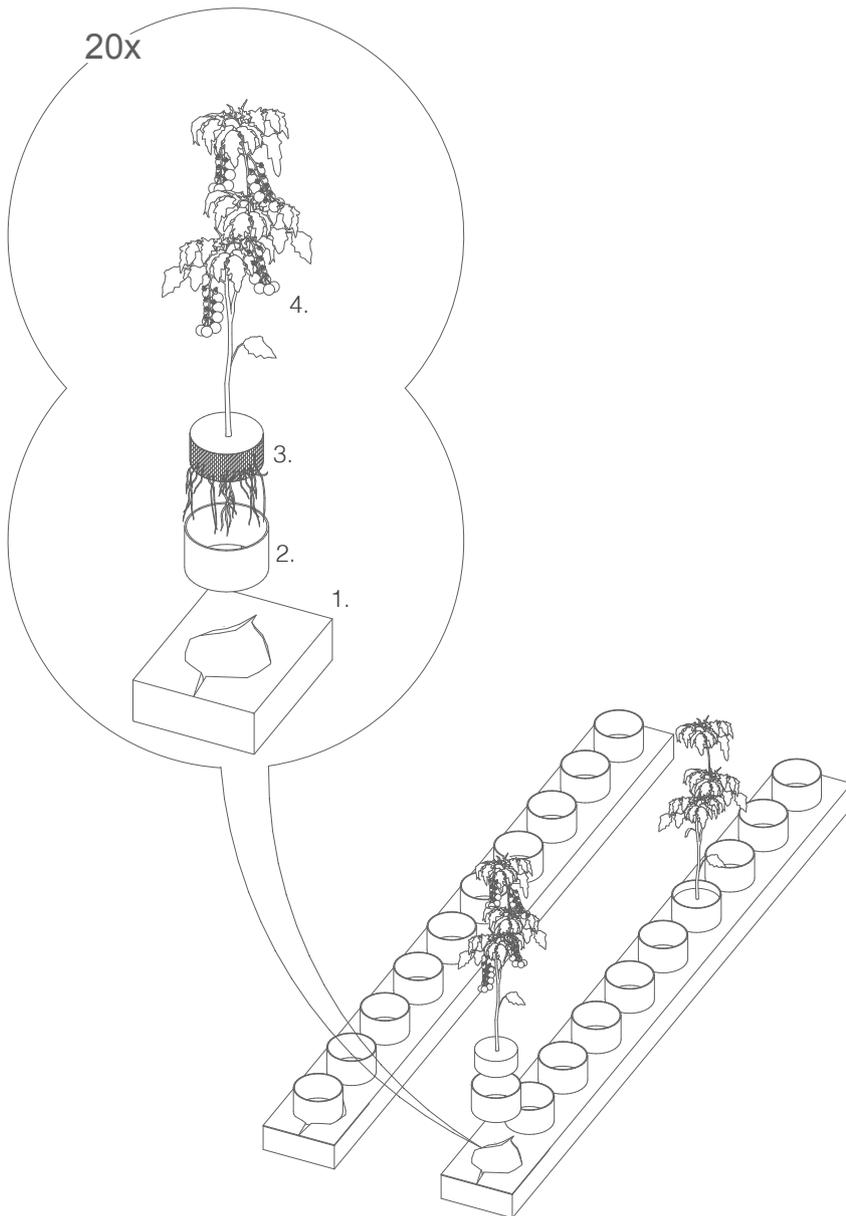
SYSTEM

System (a):

Anbau auf einem Kokosfaserbeet.

1. Sack mit Kokosfaser oder Steinwolle
2. Ein Blumentopf ohne Boden oder ein Rohrstück (d = 20-30cm)
3. Stück Kokosfaser, um Halt zu gewähren
4. Pflanze

Am besten eignet sich dieses System für große Nutzpflanzen (z.B.: Tomatenpflanzen)

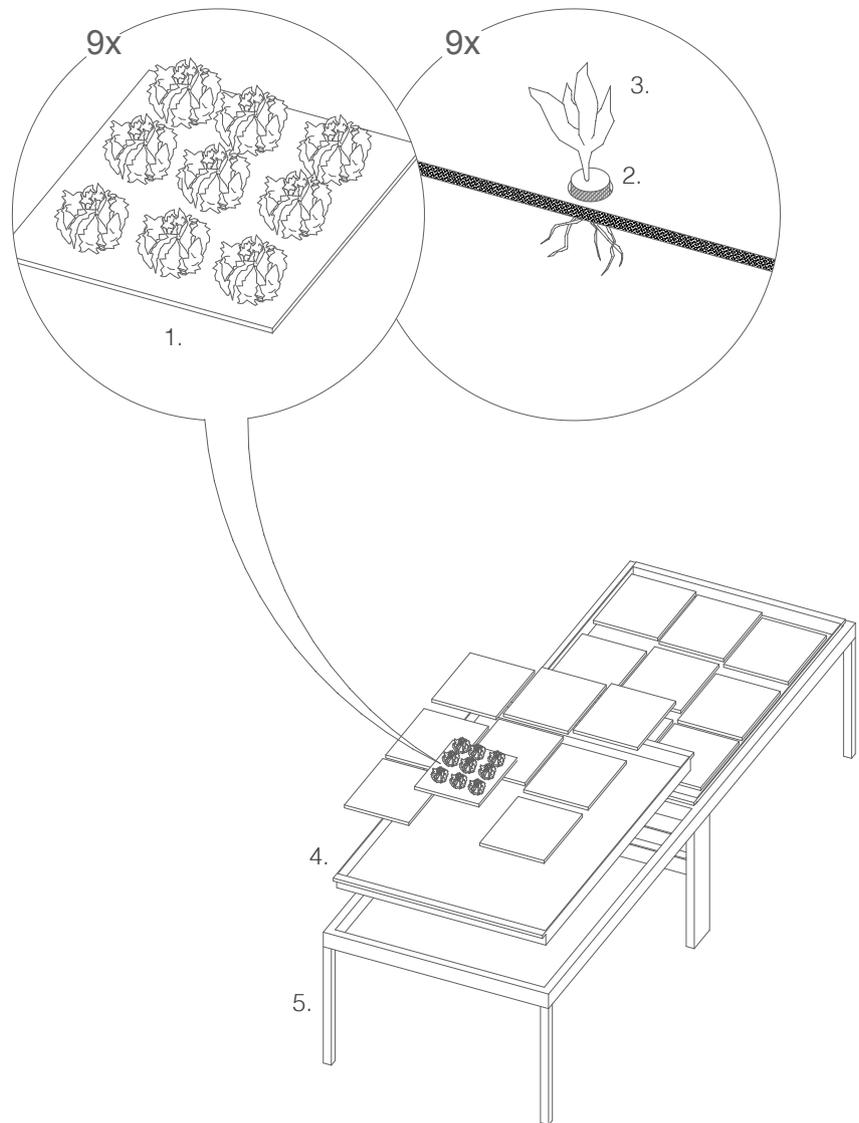


SYSTEM

System (b): Nährstoffbecken

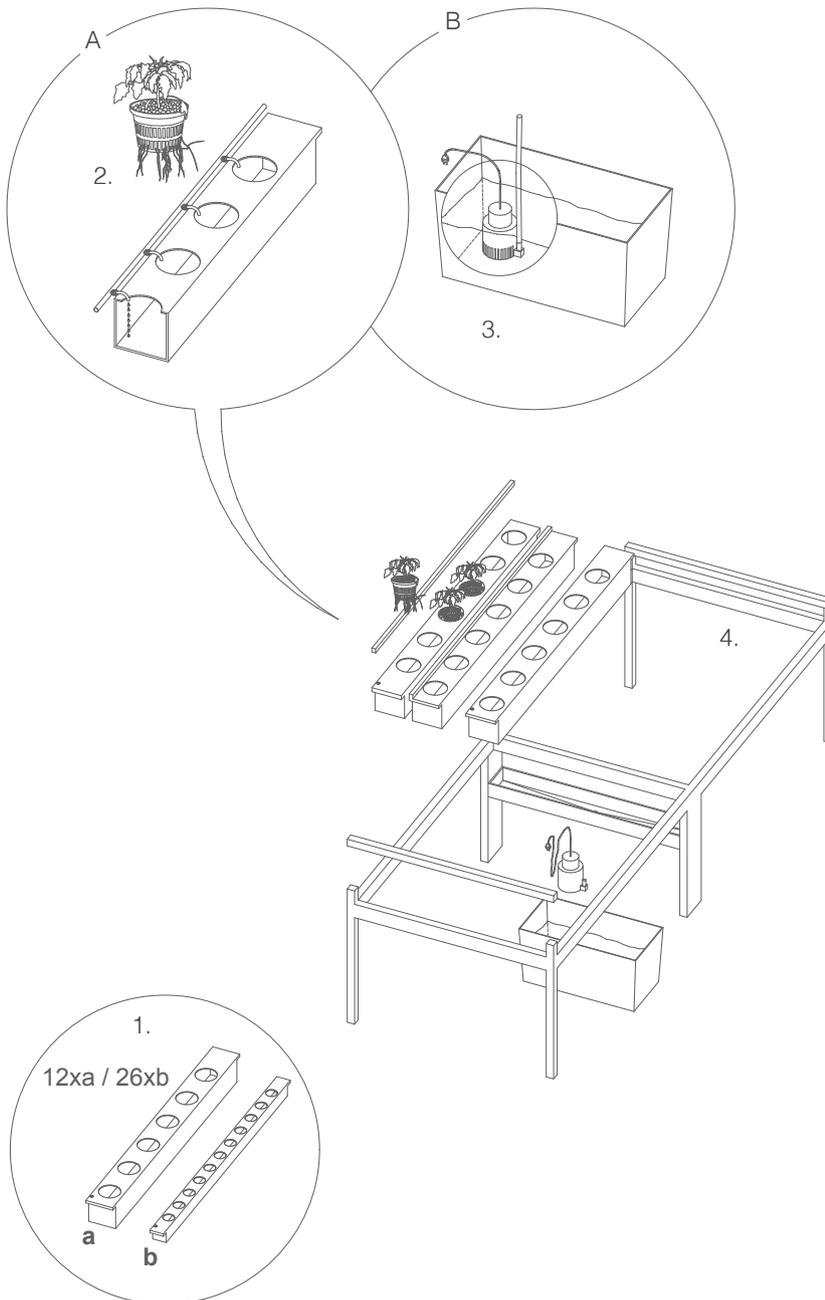
1. schwimmende Styroporplatte (ca. 50x50cm)
2. Loch mit einem Kokosquell-Tab (für die Anzucht)
3. Setzling
4. Wasserbecken mit Nährstoffen (min > 10cm Tiefe)
5. Unterkonstruktion oder Tisch

Dieses System eignet sich zum Beispiel für kleine Pflanzen wie Salat oder Spinat.



SYSTEM

System (c): Hydroponisches System



1. rechteckige Kunststoffrohre (15x15cm bzw. 30x30cm) mit einem Deckel an beiden Enden und Bohrungen entlang einer Seitenfläche.
2. Netzblumentöpfe aus Kunststoff gefüllt mit Kokosfaser oder Blähton, um dem Setzling Halt zu gewähren.
3. Wassertank mit Tauchpumpe
4. Tragkonstruktion z.B.: Tischuntergerüst.

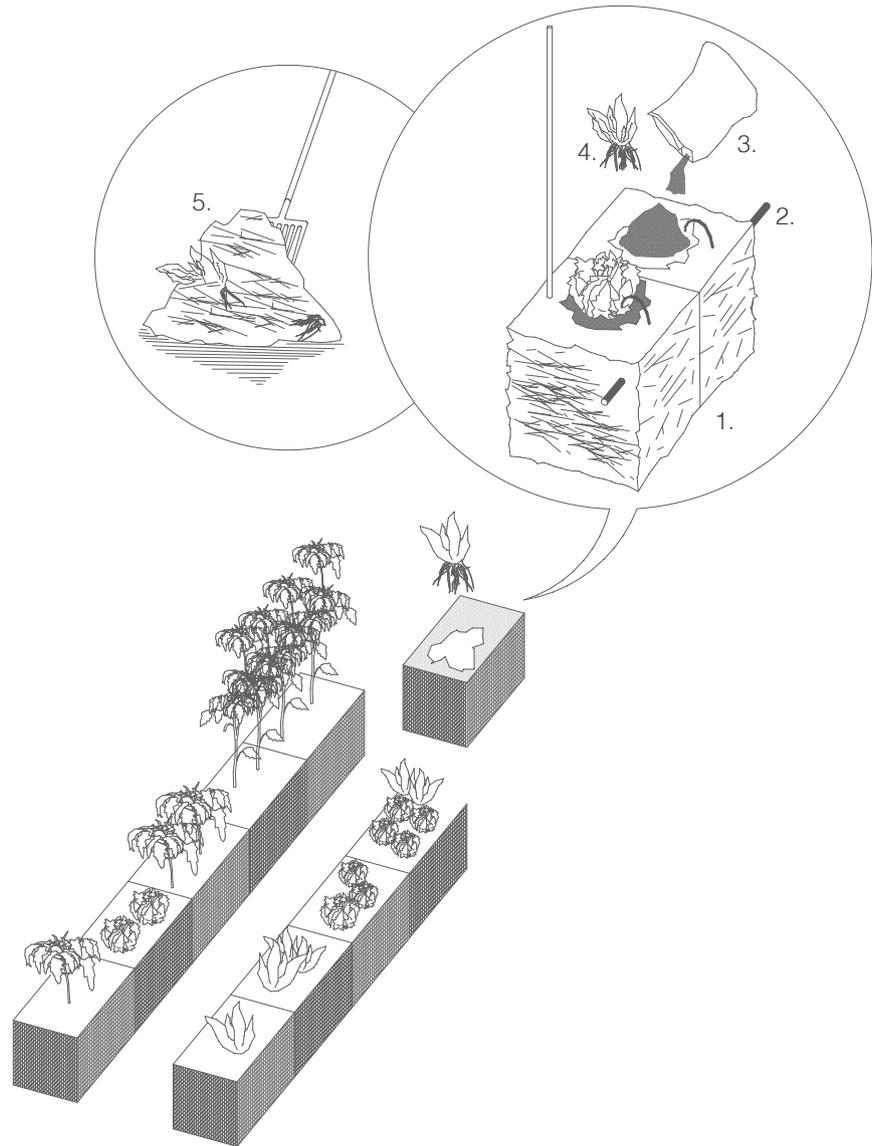
Bei diesem System handelt es sich um eine professionelle "Selfmade"-Anbaustation für ein hydroponisches System. Die Wurzeln der Pflanzen werden mit Wasser besprenkelt.

SYSTEM

System (d): Strohbeet

1. zusammengeschnürter Strohballen
2. Bewässerungssystem
3. Dünger / Nährstoffsubstrat
4. Setzling
5. das Endprodukt nach einer Saison = Humus

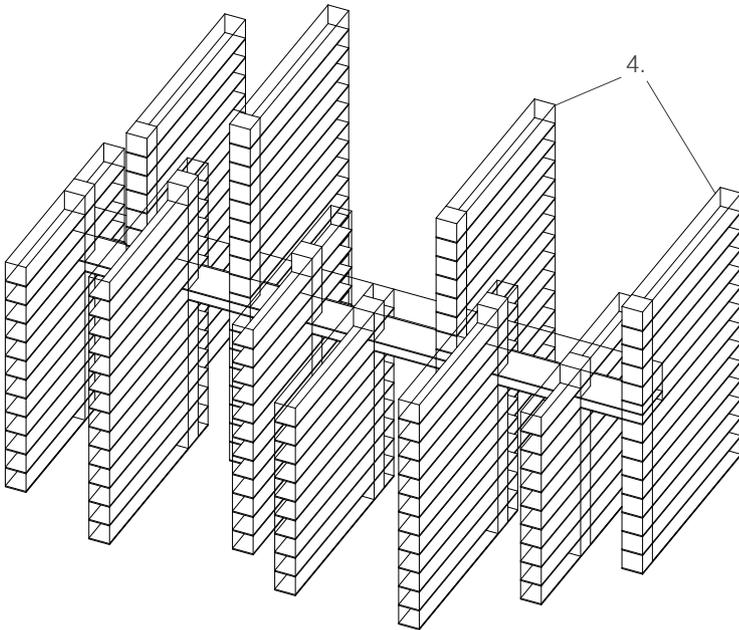
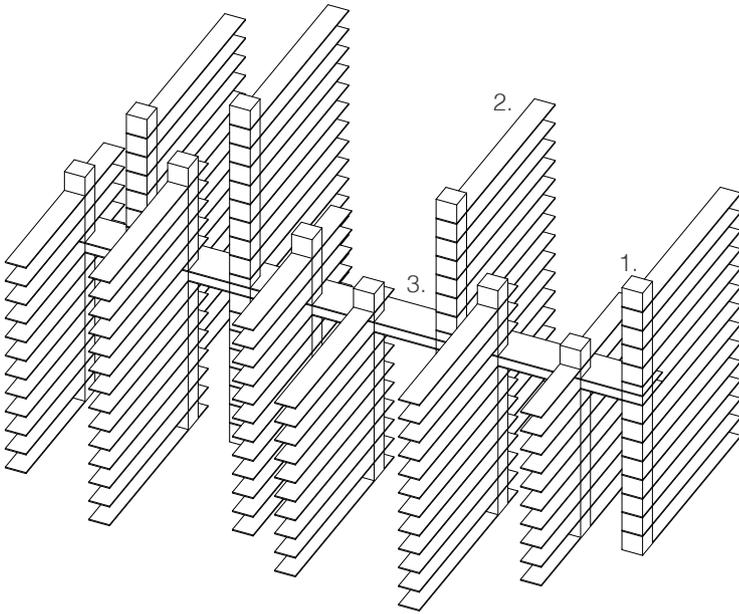
Eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Agraranbaumethode. Entstanden in Amerika, handelt es sich hier auch um eine Art der Hydrokultur. Stroh selbst ist kein Erdesatz. Es ist frei von Nährstoffen (für Pflanzen), aber auch frei von Erregern oder Unkrautsamen. Die Pflanze kann sich mit ihren Wurzeln gut im Stroh "festhalten" und durch die Zugabe von Nährstoffsubstrat und Wasser (auch die Wasserschläuche lassen sich leicht durch den Strohballen stecken) wird des Wachstum ermöglicht. Ein tolles Nebenprodukt dieser Anbaumethode ist, dass nach Ende der Anbausaison das Stroh und der Grünschnitt aufgrund der Bewässerung und biologischer Zersetzung sich perfekt kompostieren lassen (natürlich nach Entfernung der Schnüre und Schläuche).



GEBÄUDEAUFBAU

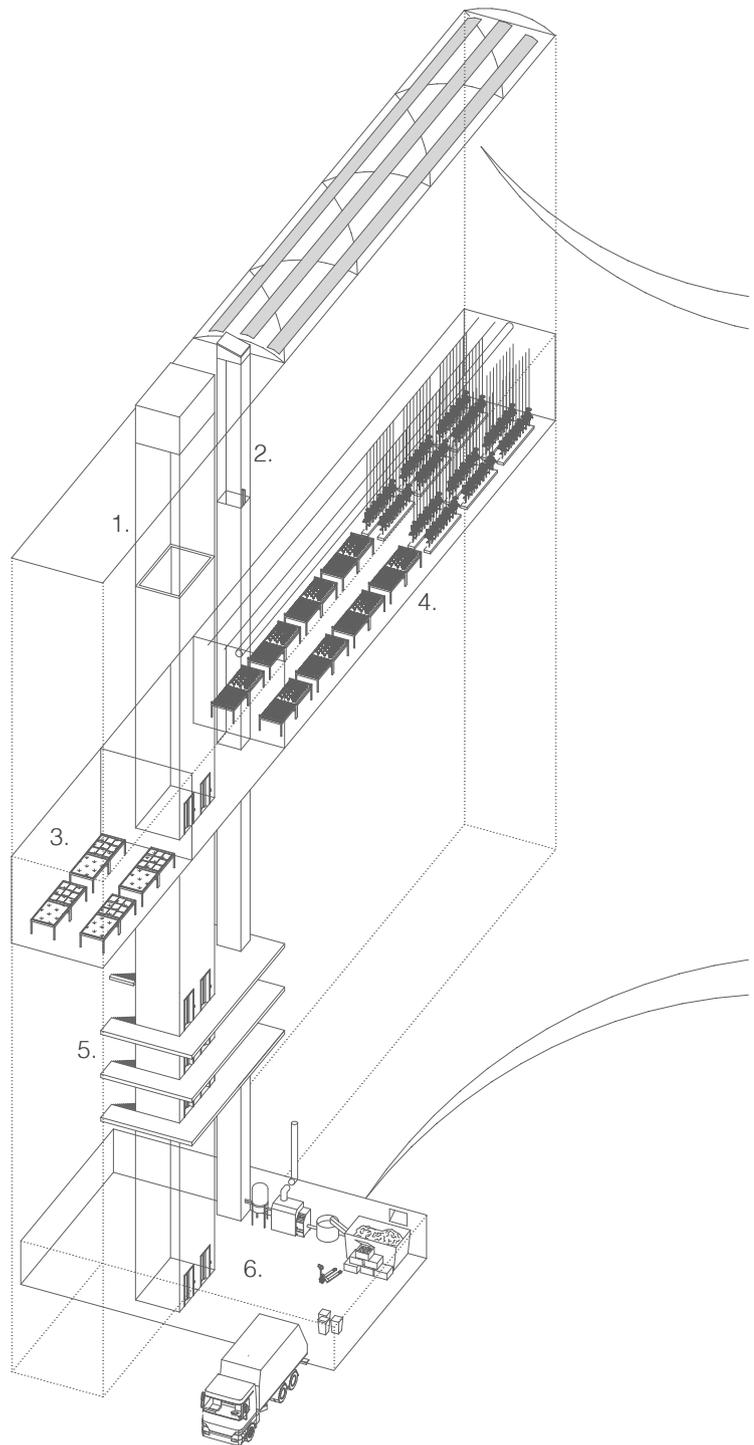
System (d): Strohbeet

1. Erschließungskerne
2. Anbau-Geschossdecken
3. Geschossdecken des botanischen Gartens
4. Gebäudehülle



GEBÄUDETECHNIK

1. Liftschächte
2. Versorgungsschacht
3. Setzlingsanzucht
4. Anbaufeld
5. Treppenhaus
6. Kellergeschoss

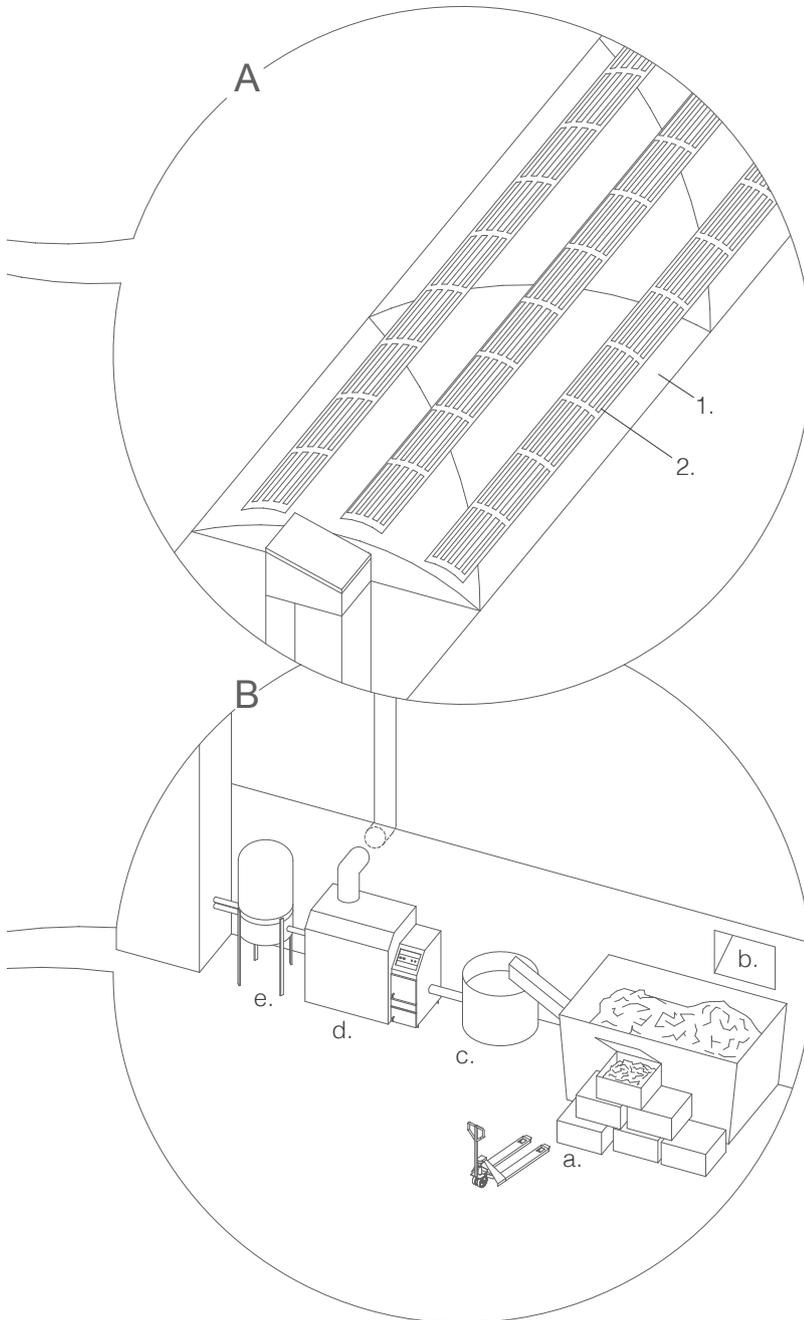


GEBÄUDETECHNIK

Detailausschnitt A:

1. vorgespanntes ETFE-Folien-Dach
2. integrierte PV-Zellen

Die Photovoltaikzellen sind eine Entwicklung von SolarNext AG. Die Technology basiert auf extrem dünnen und flexiblen, amorphen Dünnschicht-PV-Zellen die in das ETFE Laminat eingebettet werden. Um die Langlebigkeit der PV-Zellen zu erhöhen, werden sie mit einem Film aus PTFE-Glasfasergewebe beschichtet. Durch den selbstreinigenden "Lotus-Effekt" des Materials bieten sie auch eine gute Beständigkeit gegen Verschmutzung.



Detailausschnitt B:

- a. getrockneter Grünschnitt der vertical farm
- b. Hackschnitzelzufuhr
- c. Zerkleinerer (Grünschnitt und Hackschnitzel)
- d. Heizanlage
- e. Warmwasserboiler

Die Grünschnittreste vom Anbau werden zusammen mit den Hackschnitzeln aus den Bambusstämmen vom Vorplatz vermengt und in einem Holzvergaser verbrannt.

5.3 Botanischer Garten

Geschichte
Entwurf
Nutzung
System
Technik
Bewegungsablauf

Der Entwurf des Botanischen Gartens ist wie ein horizontaler Dorn, der alle Anbaugebäudescheiben vereint.

BOTANISCHER GARTEN

39 vgl. wikipedia Alpinum, <http://de.wikipedia.org/wiki/Alpinum>, 12.11.2013

40 vgl. wikipedia Tropenhaus, <http://de.wikipedia.org/wiki/Tropenhaus>, 12.11.2013

Definition

Botanik, von griechisch botaniké =
Kraut.

Unter einem botanischen Garten versteht man die Anpflanzung von nach Herkunft und Art sortierten Pflanzen. Der Unterschied zu herkömmlichen Gärten liegt in der meist exotischen Auswahl. Die Bäume und Sträucher dienen der Forschung und Besichtigung. Die bekanntesten drei Sonderformen des botanischen Gartens sind das Arboretum, das Alpinum und die Tropenhäuser.

Unter dem Arboretum (lat. arbor „Baum“) versteht man eine Beschränkung auf Bäume und Sträucher.

Beim Alpinum hingegen handelt es sich um einen Alpen- bzw. Steingarten³⁹.

Das Tropenhaus (auch Troparium / Tropikarium genannt) ist ein Gewächshaus mit künstlichem Ökosystem und Klima für den Anbau von tropischen Pflanzen⁴⁰.

Es gibt, je nach Art, noch zahlreiche Untergruppen.



Abb. 61: "Eden Project" - bei Bodelva in Cornwall, England

Geschichte

Das älteste nachgewiesene Arboretum stammt aus dem Jahr 1492 und befindet sich in Trsteno in der Nähe von Dubrovnik. Im Spätmittelalter gibt es weiter Nachweise von botanischen Gärten, etwa in Pisa um 1544, von Luca Ghini angelegt. Weitere Gärten verdankt man Johannes Baptista Montanus, der um 1545 in Padua und Florenz sowie 1568 in Bologna derartige Anlagen gründete.

In Deutschland wurden botanische Gärten meist als "Hortus Medicus", Kräutergarten, als Teil einer medizinischen Fakultät angelegt. So gibt es hiervon Nachweise aus Leipzig (1580), Jena (1586), Heidelberg (1593), Gießen (1609) und Freiburg (1620). Der erste botanische Garten in Deutschland, der dem heutigen Begriff näherkommt, dürfte der Garten in Kiel sein. Er wurde an der Universität Kiel von Johann Daniel Major 1669 errichtet. Ein weiterer Garten wurde 1772 vom Grafen von Pombal an der Universität Coimbra in Portugal eingerichtet.

Funktionen

Die Funktionen von botanischen Gärten sind vielfältig. Sie dienen der Forschung, dem Erhalt der Artenvielfalt, welche durch den "Index Seminum" dokumentiert wird, aber auch der Entspannung und Erholung.

GESCHICHTE



Abb. 62: Arboretum im Botanischen Garten Montreal



Abb. 63



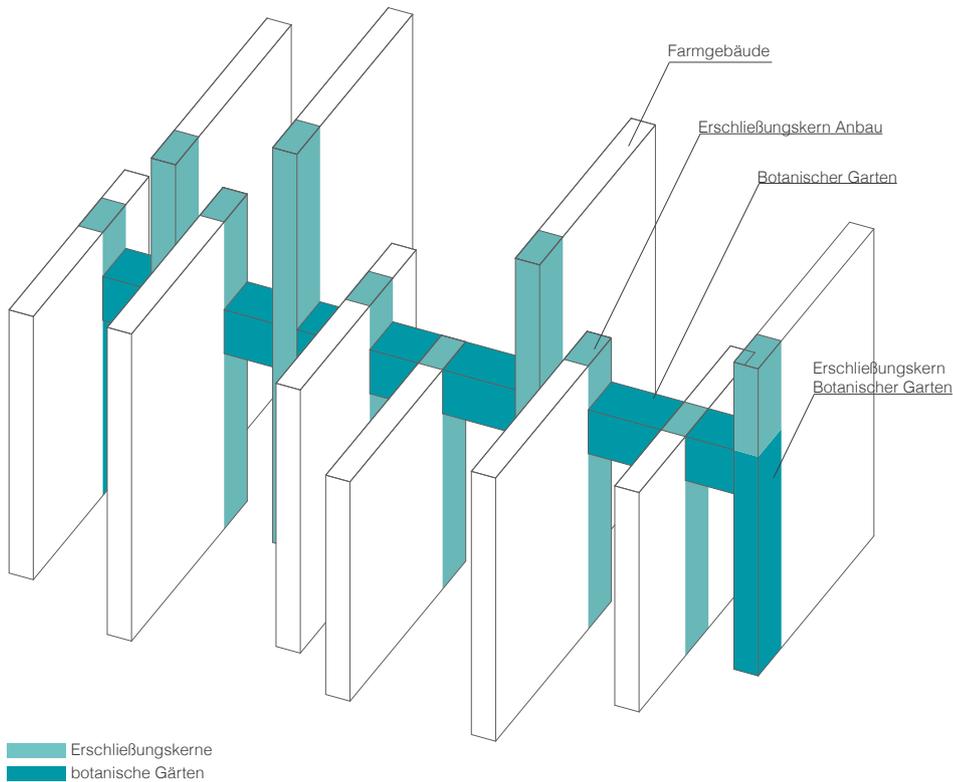
Abb. 64



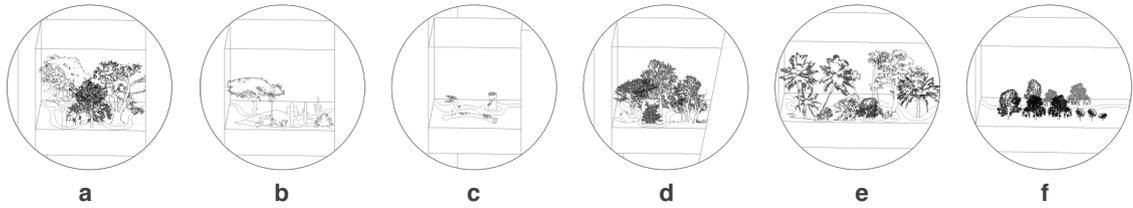
Abb. 65: "Eden Project" - bei Bodelva in Cornwall, England

ENTWURF

Der botanische Garten ist die zentrale horizontale Ebene des Entwurfs. Er ist der Kern, der alle Anbau-Gebäudescheiben vereint, sowohl statisch wie auch von der Erschließung her. So gehen alle Lifte und Treppenhäuser immer durch den Gebäudekörper des botanischen Gartens und gliedern ihn dadurch.

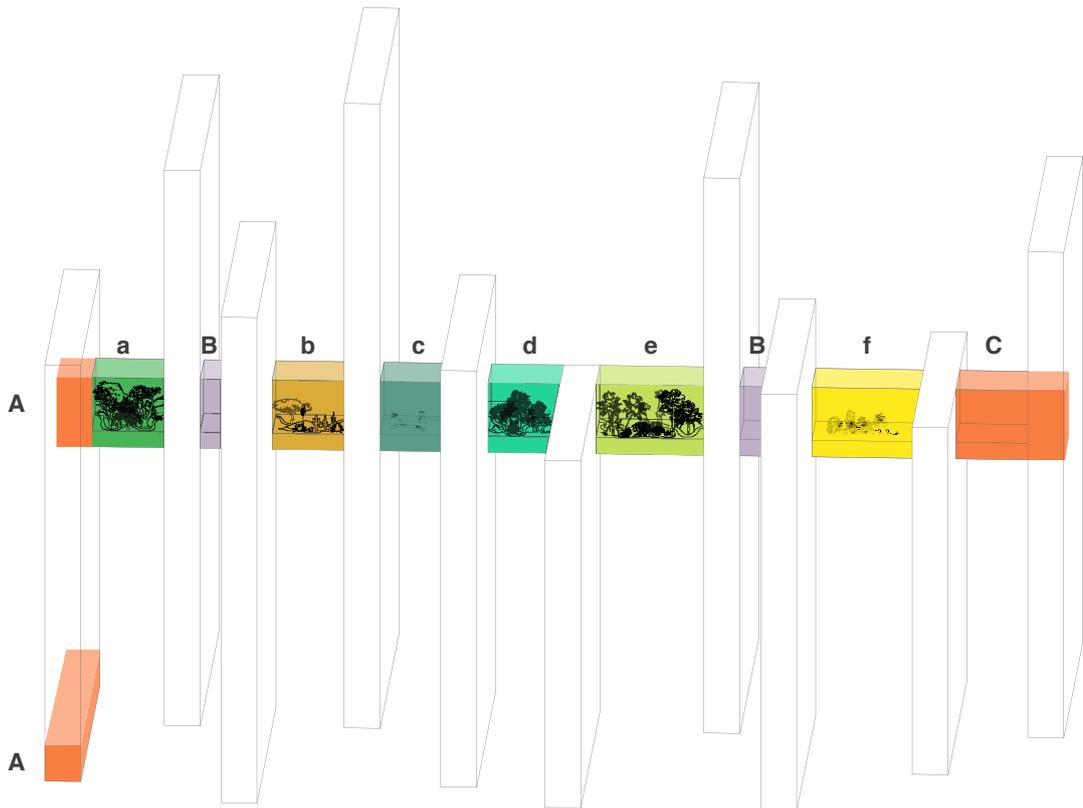


NUTZUNG



A: Zugang / Foyer
 B: Sanitäranlagen
 C: Ausgang / Shop

a: Temperierhaus
 b: Sukkulentehaus
 c: Pilzzucht
 d: KaltHaus
 e: Tropenhaus
 f: Orangerie

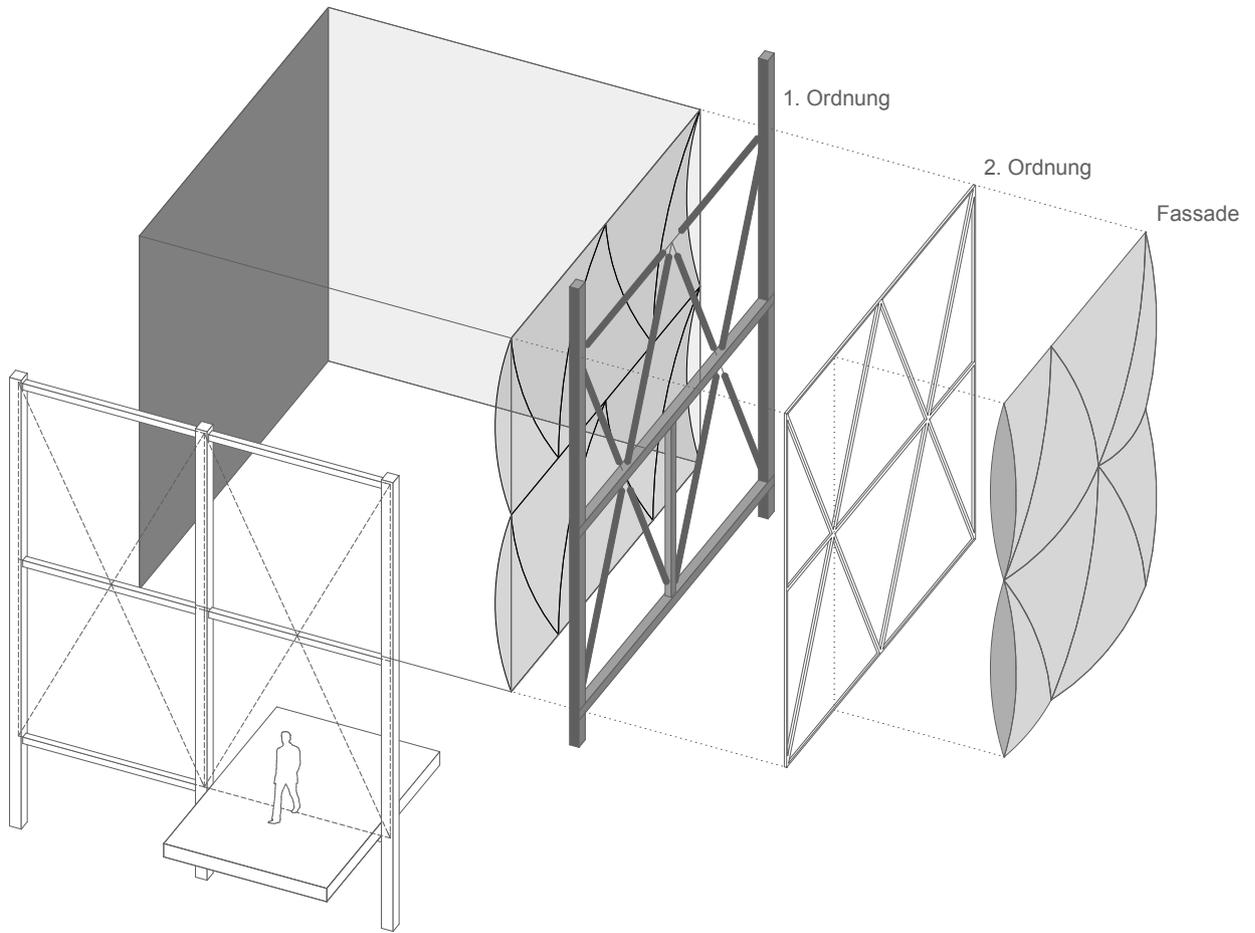


Der botanische Garten ist in 9 Abschnitte geteilt. Diese Abschnitte oder auch Räume sind die horizontale Verbindung zwischen den vertikalen Anbau-Farmgebäuden. Die Abbildung links zeigt die Nutzung im Detail. So kommen Besucher des Botanikums per Aufzug in das 8 1/2 Obergeschoss (8 1/2 wegen der Aufteilung von Geschossen alle 6m und Zwischengeschosse alle 3m) in der Höhe von 51 Metern (in der Abb. Punkt "A"). Von dort aus beginnt der botanische Garten mit dem "Temperierhaus" (a). Hier ist die Vegetation von Australien und Südamerika zu finden. Im nächsten Abschnitt befinden sich Sanitäranlagen (B). Danach kommt man in das Reich von Trockenpflanzen wie Kakteen oder Agaven, dem Sukkulentehaus (b). Direkt danach kommt man in einen Abschnitt, der vor allem im asiatischen Raum (c) seinen Platz findet: die Pilzzucht. Der recht dunkel gehaltene Raum beherbergt verschiedenste Pilzsorten unter anderem den in Südkorea beliebten Speisepilz "shiitake". Das Kalthaus (d) weist eine Mittelmeervegetation wie zum Beispiel Eukalyptusbäume vor. Nach dem Kalthaus kommen wir schlagartig in eine wärme Umgebung, das Tropenhaus (e) (auch Warmhaus genannt). Wem der Temperaturunterschied zu abrupt war oder wer sich nur kurz erfrischen möchte, kann dies noch in einem weiteren Trakt (inklusive Sanitäranlagen) tun. Der letzte Raum des botanischen Gartens ist

die dufterfüllte Orangerie, wo eine Vielzahl der Allgemeinheit bekannten wie unbekanntem Zitruspflanzen vergesammelt sind (f). Nach dem aromatischen Abschluss steht den Besuchern noch die Möglichkeit offen, im Shop und Café einen Augenblick zu verweilen (C).

NUTZUNG

SYSTEM



Das gebäudetechnische Grundkonzept des botanischen Gartens beruht auf 3 Systemen:

Das **1. System** ist das statische Grundkonzept. 4 Stahlbetonstützen von den Erschließungskernen zweier anliegender Gebäudescheiben sind mit einem Fachwerk aus Bambusstäben verbunden. Diese Fachwerke sind in der selben Technik verbunden und angeordnet wie bei den anderen Gebäudeteilen. Der selbe Raster wird benutzt. Die einzige Durchbrechung des Rasters erfolgt im Bereich von Eingang und Ausgang der botanischen Gärten. Hier wird ein Feld der tragenden Bambuskonstruktion über einen Stahlbeton-Rahmen ersetzt, um einen Besucherdurchgang ohne wegblockierende Stützens zugewähren. Um die Bambuskonstruktion zudem vor Kondenswasser zu schützen, wird, wie auch bei den Anbau- "Farmgebäuden", innenführend ein Raumabschluss aus vorgespannten ETFE-Folien erzeugt.

Beim **2. System** handelt es sich um eine Unterkonstruktion für eine vorgehängte Fassade in derselben Ordnung und Ausrichtung wie die dahinterliegende, tragende Konstruktion. Durch diese deckungsgleiche Maßnahme ist es möglich, ein einheitliches Fassadenbild zu schaffen und einen besseren Lichteinlass zu gewähren (keine zusätzlichen Stäbe, die Schatten werfen).

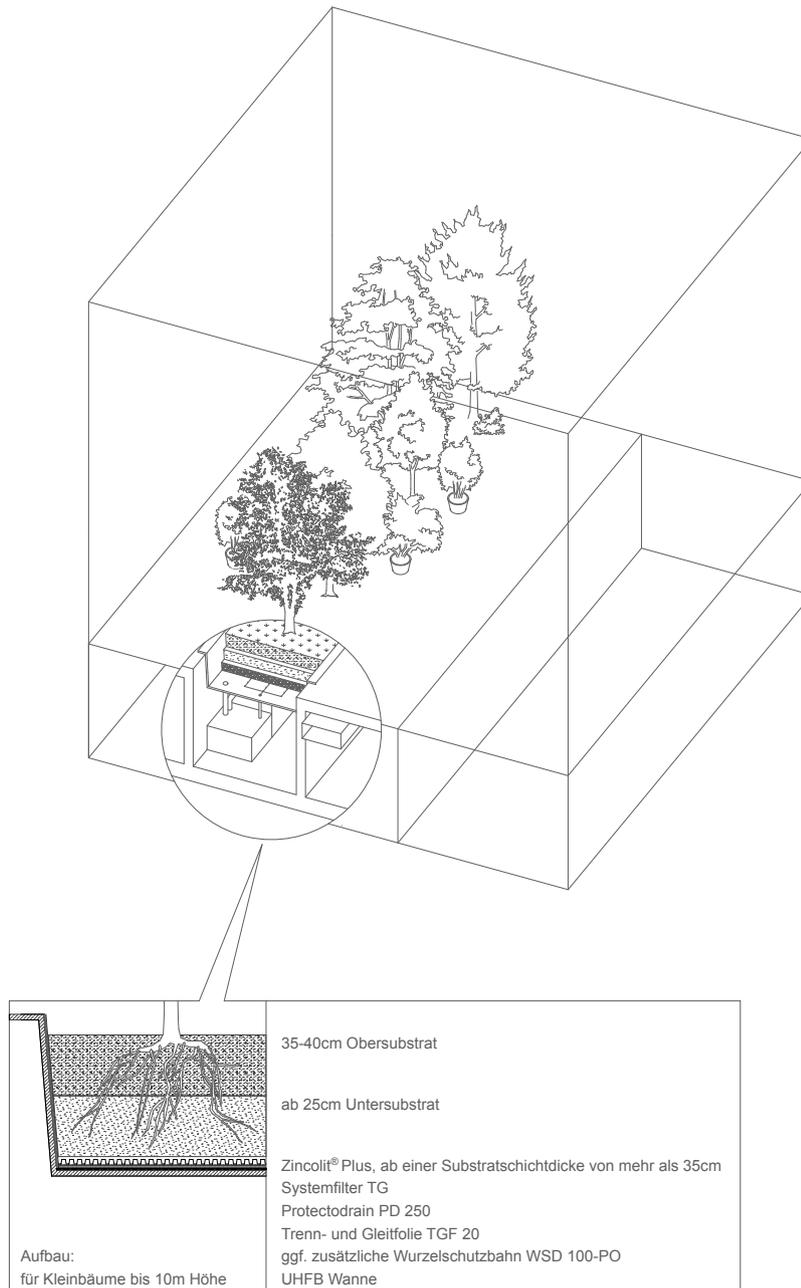
Das **3. System** ist für den Witterungsschutz wie auch die Dämmung verantwortlich: eine Fassade aus luftgefüllten ETFE-Kissen. Durch ihre hohe Lichtdurchlässigkeit (91,5%) und einen u-Wert⁴² von 2,95 W/m²K bei einer Luftkammer oder sogar 1,18 W/m²k bei 4 Luftkammern kann die Fassade sehr vielseitig den Ansprüchen entsprechend eingesetzt werden.

SYSTEM

42 http://www.sattler-ag.com/sattler-web/static/media/pdf/Download_ETFE-Folien.pdf

TECHNIK

43 vgl. ZinCo Dachbegrünung, http://www.zinco.de/systeme_gruendach/index.php, 12.11.2013



Das System für den Anbau von Bäumen und Sträuchern innerhalb eines Gebäudes ist dasselbe wie für Dachbegrünung. Es werden Wannen angefertigt die über eine Feuchtigkeitsabdichtung, eine Drainschicht und und Erdschichten verfügen. Die goldene Regel für alle Pflanzen in geschlossenen Behältnissen egal, ob in Töpfen oder Betonwannen, ist, dass keine Staunässe entstehen darf und die Erde immer gut durchlüftet sein muss. Wird dies nicht befolgt, kommt es zu Schimmelbildung und Wurzelsterben. Das Bewässerungssystem muss daher genau kalkuliert und geregelt sein. Die Wanne ist am Boden mit Sensoren ausgestattet und verfügt über Ablassöffnungen. Für Rasen reicht eine 10cm Erdschicht aus. Kleingewächs und Stauden brauchen schon mehr als 20cm. Um Kleinbäume bis zu 10m zu pflanzen, benötigt es schon bis zu 80cm Vegetationssubstrat⁴³. Zusätzlich ist beim Anpflanzen zu beachten, ob es sich um Tief- oder Flachwurzler handelt. Einige Pflanzen können aber auch separat als Topfpflanzen gehalten werden (zum Beispiel Bananenstauden oder Bambus, Citrusbäume...) bzw. benötigen andere Nährstoffe.

BEWEGUNGSABLAUF

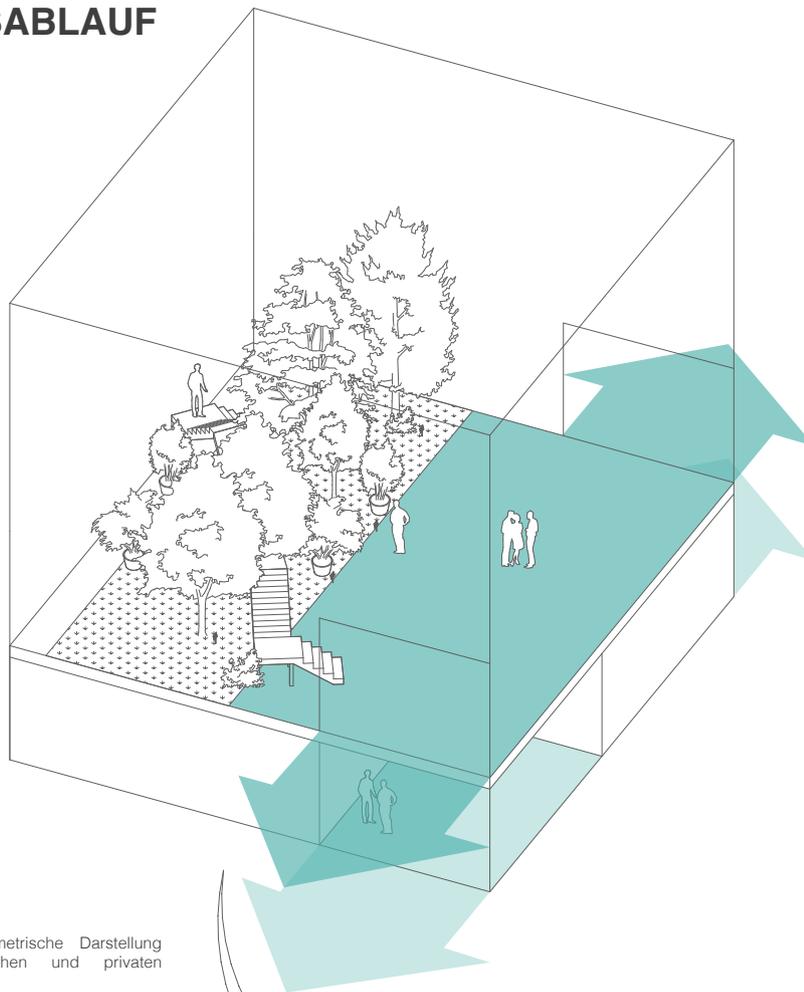
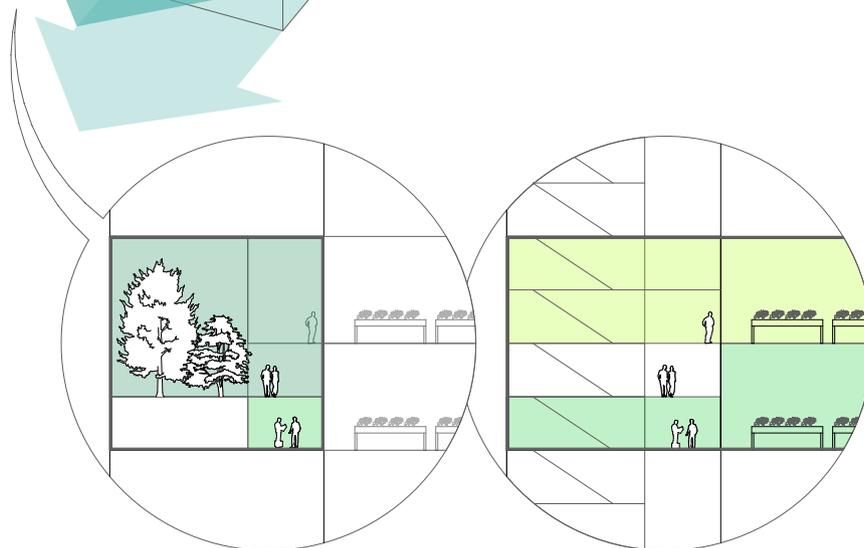


Abbildung oben: eine axonometrische Darstellung der Trennung von öffentlichen und privaten Bewegungsräumen

Abbildung unten v.l.n.r.: systematischer Schnitt durch den botanischen Garten und ein Schnitt durch die vertikale Farm inklusive Treppenhaus



BEWEGUNGSABLAUF

Um einen geregelten Bewegungsablauf zu schaffen, in dem Besucher des botanischen Gartens und arbeitendes Gartenpersonal sich nicht in die Quere kommen, wird die Fußbodenoberkante des botanischen Gartens um 3m gehoben.

Dadurch ist es einerseits möglich, die nötigen Anbausubstrat-Wannen sichtbar zu versenken, sodass die Sträucher und Bäume wirklich aus derselben Ebene wachsen wie jener, auf der die Besucher gehen. Zum anderen ist es so auch möglich, Bewässerung, Raumtechnik und Belüftung/ Heizung in den 3m unter dem Boden unterzubringen. Die Lüftung und Heizung kann somit per Bodenkonvektoren betrieben werden. In den Abbildungen links ist erkennbar, dass durch diese Maßnahme des Geschossversatzes zwei mögliche Bewegungskreisläufe stattfinden können. Auch der unerwünschte Übergriff von Insekten bzw. Schädlingen zwischen botanischem Garten und Anbauräumen kann verhindert werden, ohne jedoch dem Besucher den Einblick in den Anbauprozess der vertikalen Farm zu nehmen.

5.4. Berechnungen mit RFEM

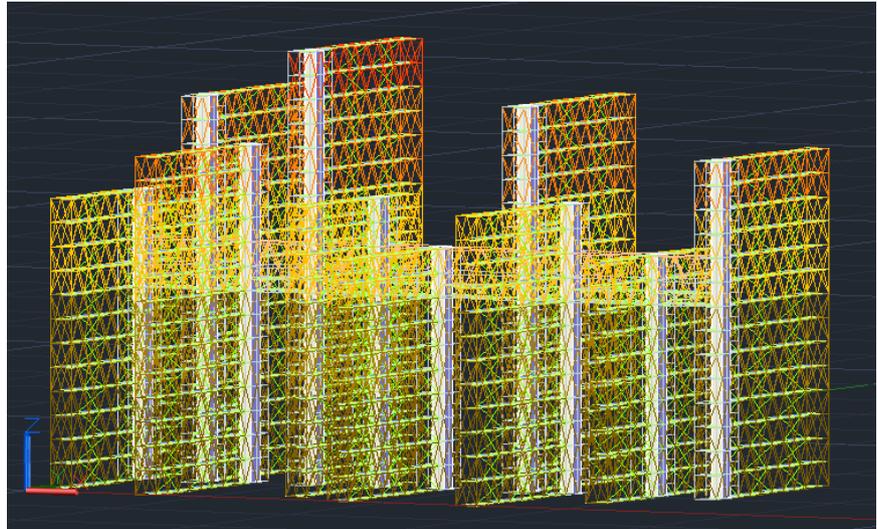
Vorbereitungen
Materialien
Querschnitte
Lasten
Berechnungen

Das Kapitel beschäftigt sich mit dem Programm RFEM, mit dessen Hilfe wir die Berechnungen für die Tragstruktur durchführten.

VORBEREITUNGEN

Homepage: <http://www.dlubal.de/rfem-5xx.aspx>

Mit Hilfe der Statik-Software RFEM ist es möglich, unser Tragwerk zu berechnen. RFEM ist ein Programm der Firma Dlubal. Das Programm ist sehr umfangreich und es benötigt einige Zeit, um damit vertraut zu werden. Zu unserem Vorteil hat RFEM eine Importfunktion. Wir konnten daher das Modell in AutoCAD erstellen und mussten es nicht mühsam Stab für Stab mit RFEM aufbauen. In RFEM konnten wir danach die Querschnitte bestimmen, die Lasten erzeugen und die Berechnungen durchführen.



AutoCAD-Modell

Mit AutoCAD konnten wir also ein 3D-Linien-Modell erstellen. Für die unterschiedlichen Materialien und Querschnitte verwendeten wir eigene Layer. Die AutoCAD-Funktion „Rechteckige Anordnung“ vereinfachte uns das Erstellen des Modells. Unser Tragwerk beinhaltet die Bambusstützen, die Deckenträger, die Betonstützen, den Kern (als Fläche) sowie diverse Aussteifungen. Da unsere Rechner bei den ersten

Versuchen für die Berechnung mit den Spannbeton-Hohldecken überfordert war, haben wir anstelle der Decke eine Aussteifung mit Seilen eingeführt. Das Gewicht der Decke wurde nachträglich als Last hinzugefügt. Das fertige Modell wurde dann in zwei Schritten in RFEM importiert. Zuerst die Stäbe, danach die Flächen. Insgesamt umfasst das Tragwerk 17337 Stäbe, davon 9351 aus Bambus, sowie 40 Flächen.

Wir konnten dem Modell nun Materialien, Materialstärken und Profile zuweisen. Für die Materialien Beton und Stahl gibt es verschiedene vordefinierte Materialkennwerte.

Für die Bambusstäbe mussten wir zuerst das Material Bambus definieren, da dieses in RFEM noch nicht existiert. Anfangs gestaltete sich die Suche nach den Materialkennwerten als schwierig. Wir konnten im Verlauf unserer Recherche herausfinden, dass die Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart Experimente mit Bambus durchgeführt hat. Darüber hinaus konnten wir Daten in Bezug auf das Material Bambus in einer Publikation der RWTH Aachen finden. Für unsere Berechnung konnten wir schlussendlich auf Daten der Bachelorarbeit von Simon Kraft (Universität Stuttgart) zurückgreifen. Er berechnete eine Bambus-Kuppel mit der Hilfe von RStab. Wir konnten folgende Werte übernehmen:

Elastizitätsmodul E 2000 kN/m²

Schubmodul G 120 kN/m²

Wichte ρ 7,3 kN/m³

Druck?

Zug?

Für die restlichen Elemente verwenden wir vordefinierte Materialien. Anstelle von UHPC nahmen wir einen Beton mit geringerer Dichte:

Betonstützen und Kern: Beton C50/60

Deckenträger aus UHPC: C100/110

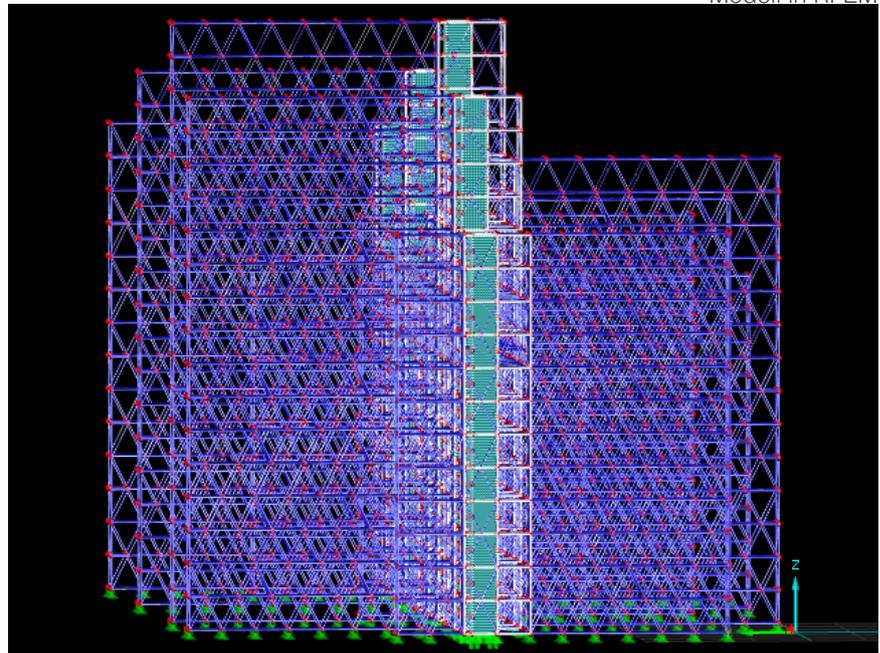
Stahlseile (Aussteifung): Stahl S355

MATERIALIEN

<http://bambus.rwth-aachen.de/de/Referate/mecheigBambus/referat.html>

http://www.ibb.uni-stuttgart.de/publikationen/fulltext/2013/Kraft_2013.pdf

Modell in RFEM

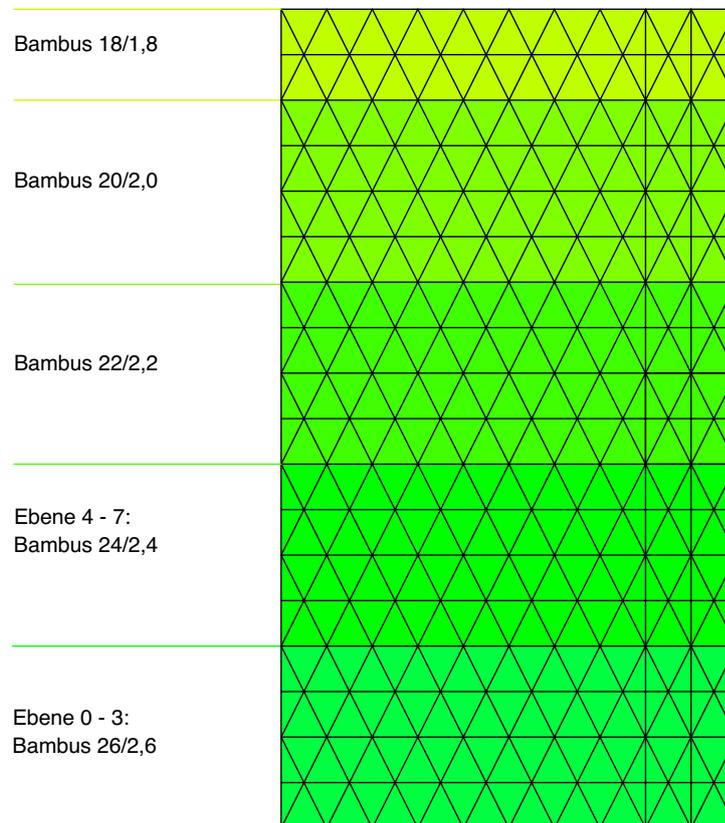


QUERSCHNITTE

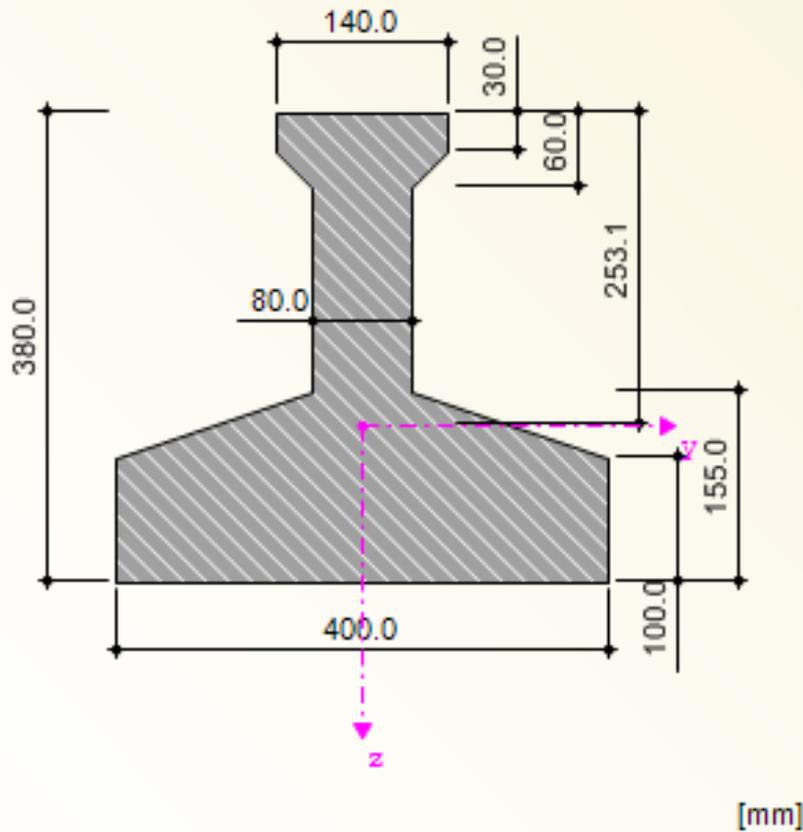
Mit RFEM kann man Stäbe an Linien erzeugen und diesen Querschnitte zuweisen. Wir unterteilen die Bambusstäbe in fünf Bereiche, wobei die Stärke der Stäbe nach oben hin abnimmt. Über vier Geschosse hinweg verringert sich der Querschnitt der Bambusrohre etwas. Nachdem RFEM für jeden Layer einen eigenen Querschnitt erstellt, besitzt das AutoCAD-Modell bereits 5 eigene Layer für die Bambusquerschnitte.

Folgende Werte werden verwendet:
(Ebene/Durchmesser/Wandstärke)

1 – 4 Ebene	26 cm	2,6 cm
5 – 8 Ebene	24 cm	2,4 cm
9 – 12 Ebene	22 cm	2,2 cm
13 – 16 Ebene	20 cm	2 cm
17 – 18 Ebene	18 cm	1,8 cm



SBD 380/140/30/60/80/400/100/155



Profil für die Berechnung des Trägers

Für den verkehrten T-Träger aus UHPC wurde ein vorgefertigtes trapezförmiges I-Profil verwendet.

Für die Betonstützen ergibt sich eine Seitenlänge von 40 cm x 40 cm.

Der Kern hat eine Wandstärke von 30 cm.

Die Stahlseile haben einen Querschnitt von 30mm.

LASTEN

http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/7B9C6A56-66F1-4DE7-ACC8-4650D5B94D5A/0/variex_TechnischeGrunddaten.pdf

Eigengewicht

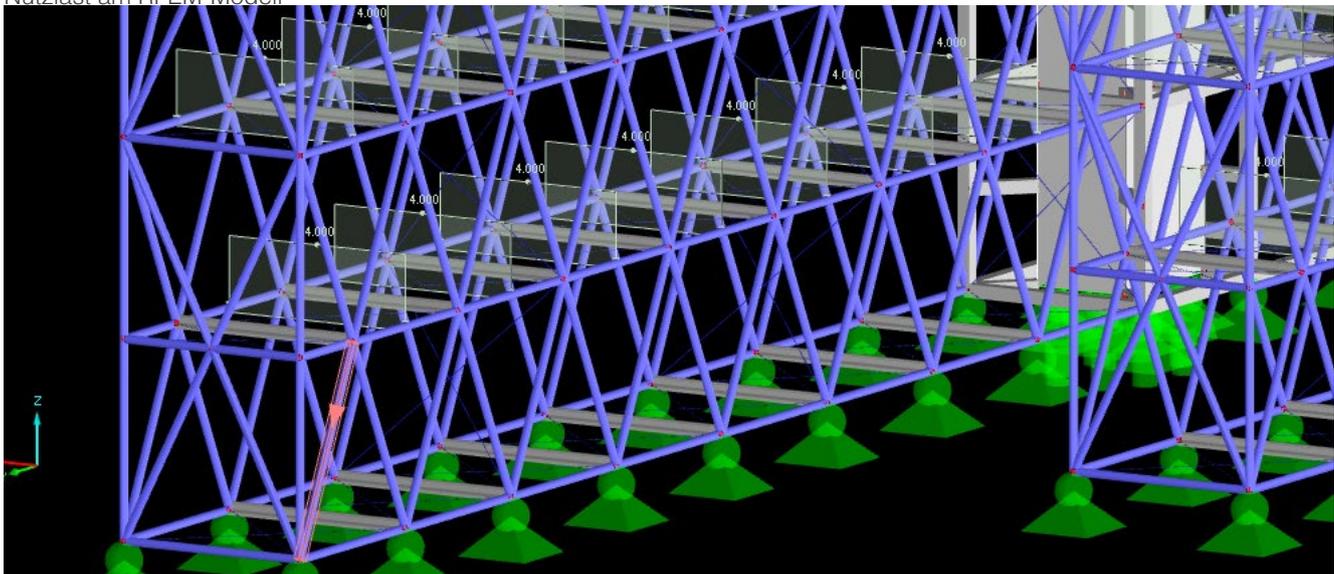
Die Lasten für das Eigengewicht des Tragwerkes werden über die Zuweisung der Materialien und die Querschnitte automatisch errechnet.

Bei unserem Modell mussten wir das Gewicht der Decke als Stablast an den Deckenträgern anbringen. Das Gewicht der Fertigbeton-Hohldecke beträgt $2,95\text{kN/m}^2$ inkl. Verguss. Bei einem Flächenanteil von 33m^2 Geschossdecke pro Träger ergibt sich daraus eine Last von $16,225\text{kN/m}$.

Nutzlasten

Für die Berechnung der Nutzlast wurde die gleiche Methode angewendet wie bei der Fertigbeton-Hohldecke. Sie wirkt als Stablast auf den Deckenträger ein. Als Nutzlast wurde das Gewicht einer Aquaponik-Zucht (Hydrokultur und Fischzucht) verwendet. Hierfür nahmen wir ein Gewicht von 4kn/m an.

Nutzlast am RFEM-Modell



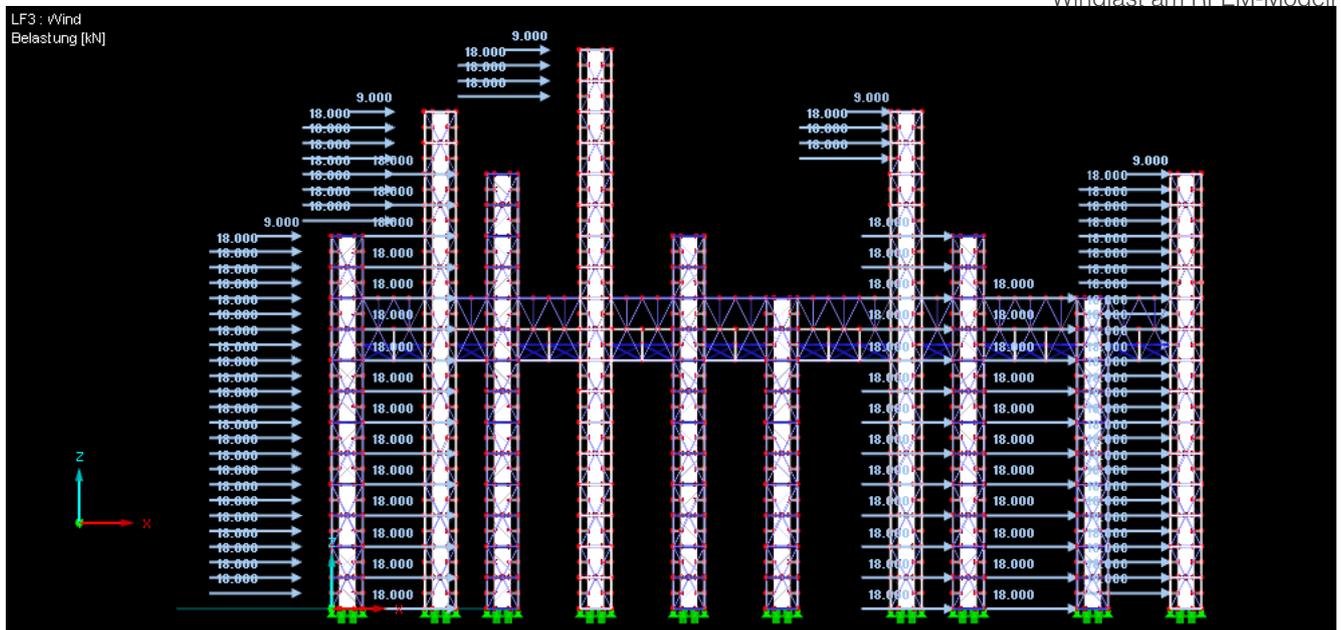
Windlast

Für die Windlast gibt es die Funktion „Generierte Lasten“, damit lassen sich Flächenlasten mittels Zellen auf Stäbe übertragen. Diese Funktion funktionierte allerdings nicht (wir konnten die Punkte in unserem Modell nicht anwählen). Daher mussten die Lasten als Knotenlast eingegeben werden. Hierfür berechneten wir den Flächenanteil der Knoten. Für innenliegende Knoten bedeutet das eine Fläche von 36m^2 (6 Meter x 6 Meter). Außenliegende Knoten haben 18m^2 (3 Meter x 6 Meter). Als Last nahmen wir einen Wert von $0,5\text{kN/m}^2$.

Die Windlast zieht in unserem Modell von West nach Ost und wirkt als Druckzone auf einer Seite und als Zugzone auf der anderen Seite der gesamten Struktur. Sie trifft auf Flächen der Scheiben, die in jeweiliger Ansicht (Ost bzw. West) nicht von anderen Scheiben verdeckt sind. Die äußeren Scheiben stehen daher voll im Wind, die zweite Scheibe wird bereits etwas von der äußeren verdeckt und die Windlast trifft nur mehr auf Knotenpunkte, die nicht von der äußeren Scheibe bereits abgedeckt werden.

Daraus ergibt sich eine Knotenlasten von:

18kN innenliegend
9kN aussenliegend



Windlast am RBFEM-Modell

BERECHNUNGEN

Aufgrund der Größe der Struktur nimmt die Berechnung einige Zeit in Anspruch. Für die Berechnung wurde eine Lastfallkombination bestehend aus Eigenlast, Nutzlast und Wind erzeugt. Da die Berechnung ein sehr ausführliches Ergebnis liefert, beschränken wir uns bei der Auswertung auf die Globale Verformung, die maximalen Kräfte in den Stäben aus Bambus sowie den Lagerreaktionen.

Maximale Verformung

Die Globale Verformung ist wesentlich auf die Windeinwirkung zurückzuführen. Diese ist exzentrisch ausgebildet, sie hat ihre maximale Ausdehnung jeweils an den von den Kernen am weitesten entfernten, oberen Ecken der Scheiben.

Die ersten Berechnungen lieferten für die Globale Verformung mangelhafte Ergebnisse. So betrug die größte Verformung 791 mm. Die Verformung sollte $1/500$ der Höhe nicht überschreiten. Die zulässige Verformung wäre damit bei 216mm.

Weitere Versuche zeigten, dass bei einer Verstärkung der Geschoßdecke (statt Seilen mit 40mm wurde ein Stahlbetonträger mit 200x200 mm eingesetzt) die Verformung drastisch abnahm. Der Maximalwert beträgt 326,9 mm. Es ist davon auszugehen, dass eine aussteifende Geschoßdecke (eine Berechnung damit war uns nicht möglich) die Globale Verformung weiter reduziert. Als weitere Maßnahme

wurde jeweils am äusseren Ende der Scheiben ein Betonkern angebracht. Die Berechnungen ergaben eine maximale Verformung von 111mm. In weiterer Folge wurde die Windlast verdoppelt. Sie trifft nun alle Scheiben voll.

Ergebnis - Maximale Verformung:

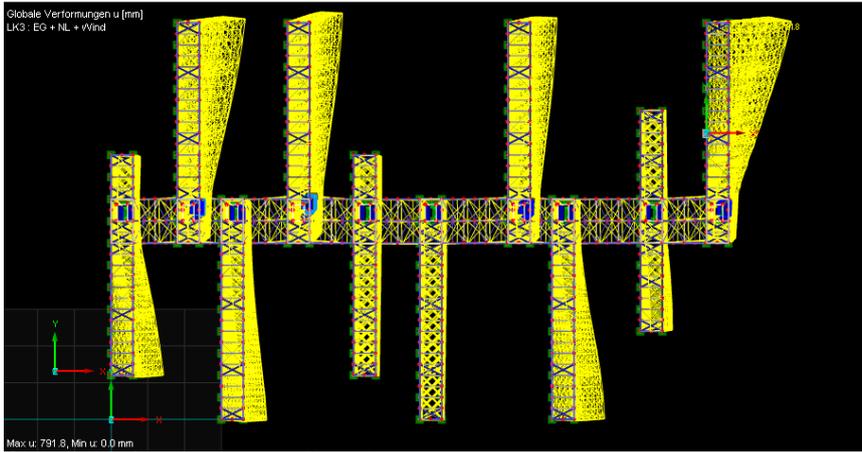
ohne zusätzlichen Betonkern

326,9 mm

mit extra Betonkern

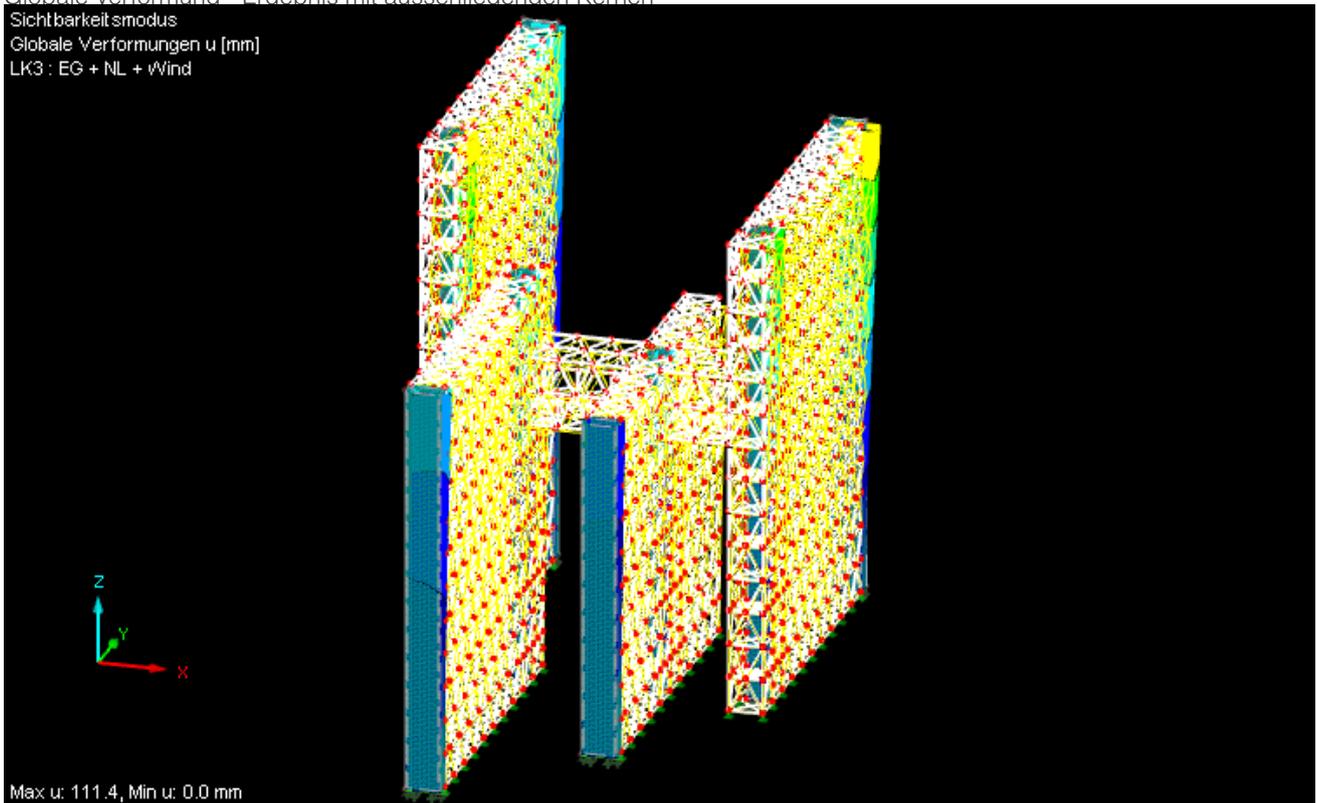
111,4 mm mit einfacher Windlast

327,8 mm mit doppelter Windlast



Globale Verformung - erste Berechnung

Globale Verformung - Ergebnis mit aussenliegenden Kernen



Zugkräfte - Bambusstäbe

Bei den Zugkräften befinden sich die Maximalwerte zuerst in den unteren äußeren Ecken sowie in der Nähe zum Botanischen Garten. Nach hinzufügen der äußeren Kerne verschieben sich die Stäbe mit den höchsten Zugkräften an die oberen äusseren Bambusstäbe

Ergebnis - Maximale Zugkräfte:

ohne zusätzlichen Betonkern

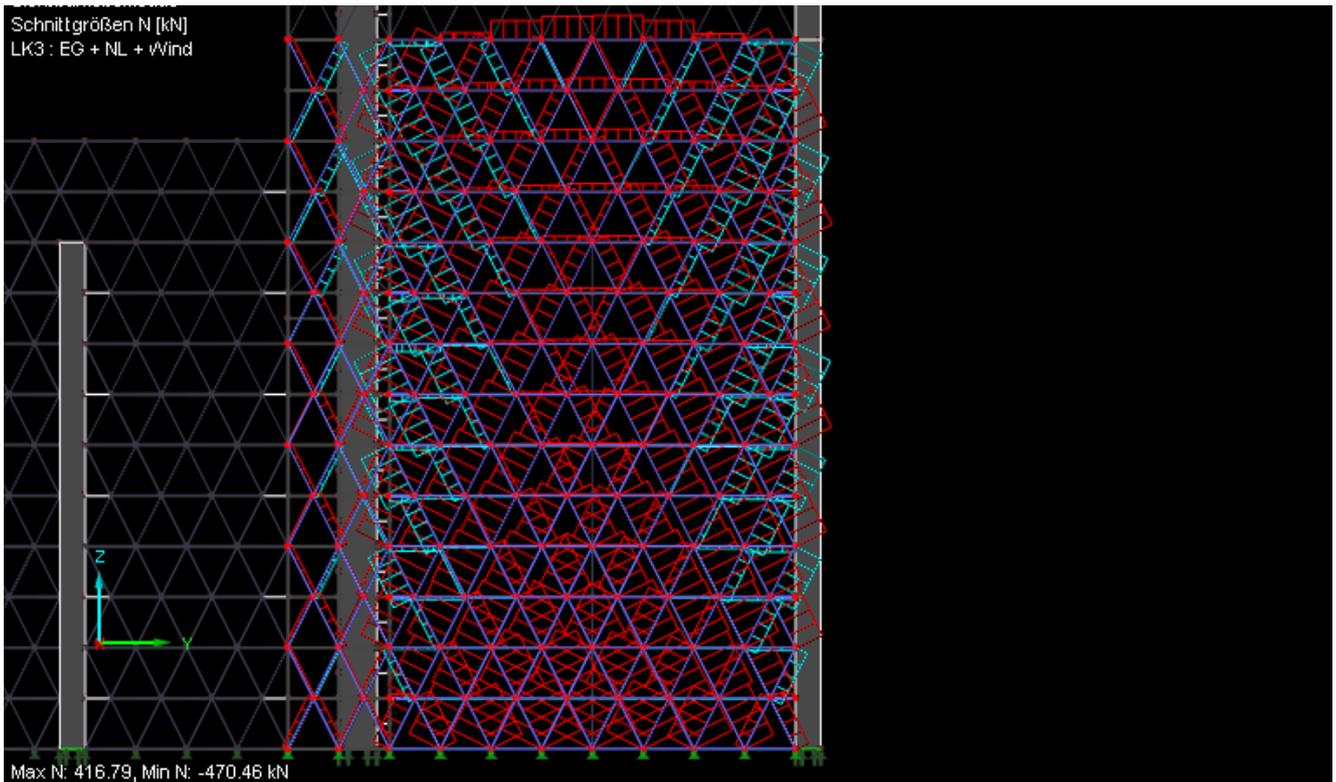
487,4 kN

mit extra Betonkern

416,8 kN bei einfach Windlast

479,8 kN doppelter Windlast

Maximale Normalkräfte, Scheibe - Ergebnis mit außenliegendem Betonkern
Rot = Druckstäbe, Blau = Zugstäbe

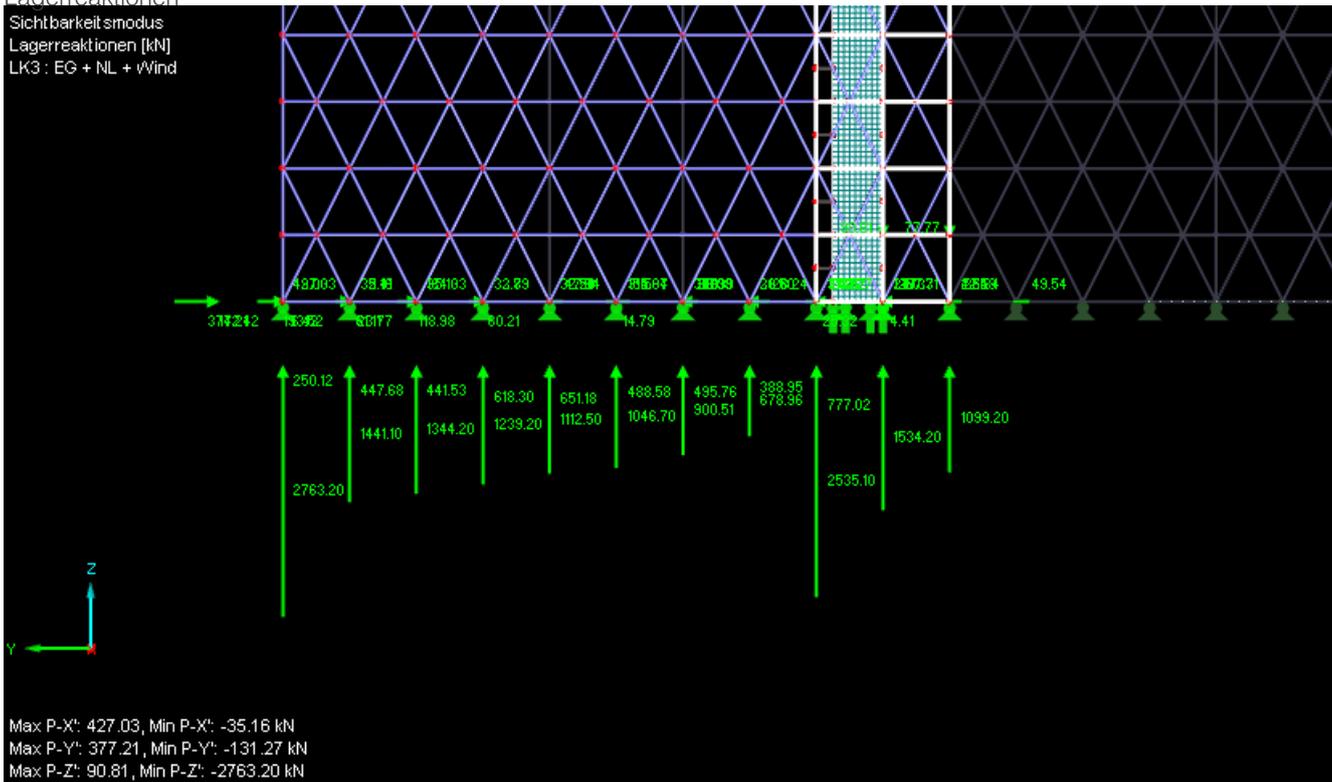


Lagerkräfte

Die Lagerkräfte sind in den Kernen und an den äußeren Punkten der Scheiben am größten. Die östlichste Scheibe weist die höchsten Werte auf. Der äußere Punkt weist mit 2763kn in Z-Achse den Spitzenwert auf.

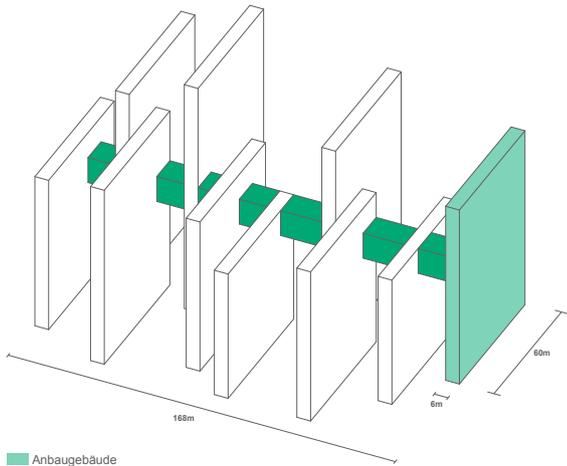
Lagerreaktionen

Sichtbarkeitsmodus
Lagerreaktionen [kN]
LK3 : EG + NL + Wind

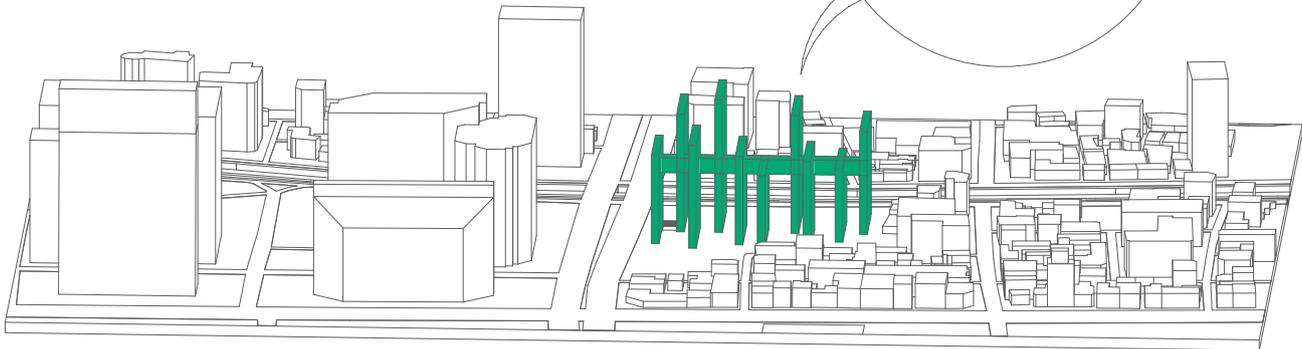
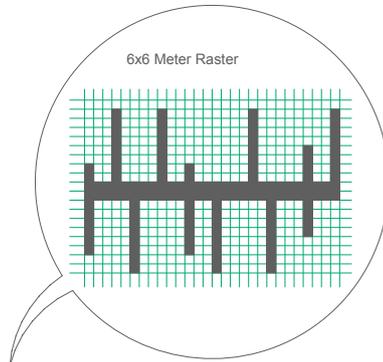
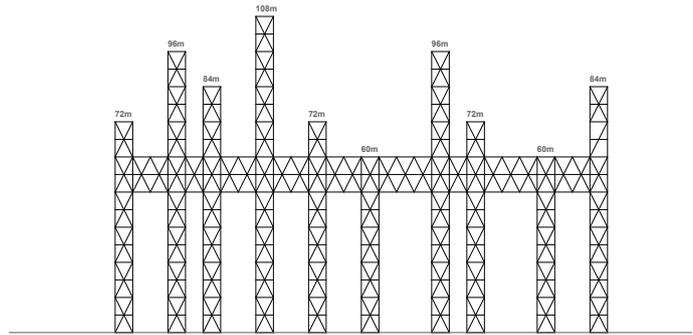


Pläne

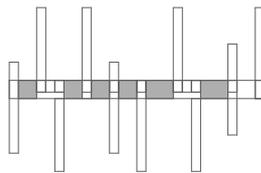
ÜBERSICHT



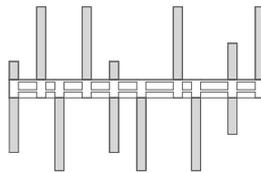
- Anbaugebäude
- botanischer Garten



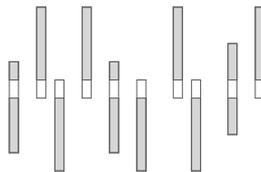
ANBAU



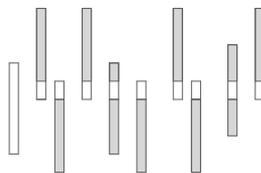
Botanischergarten OG
+51m



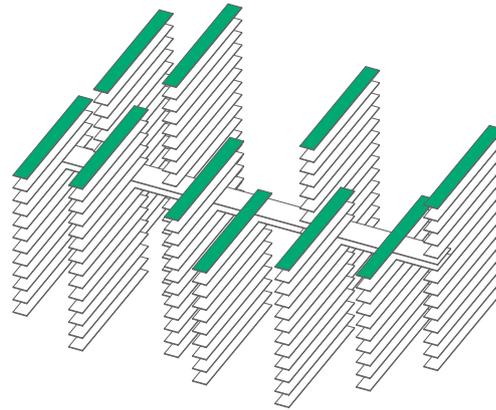
Botanischergarten UG
+48m



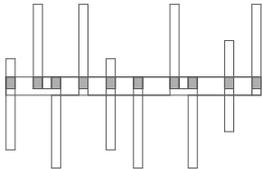
Gebäude OG
+06m bis +108m



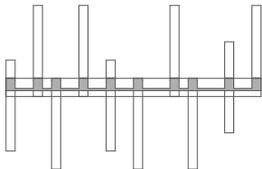
Gebäude EG
+-0,00



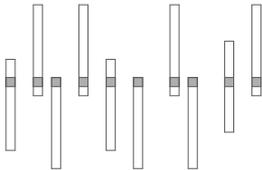
ERSCHLIESSUNG



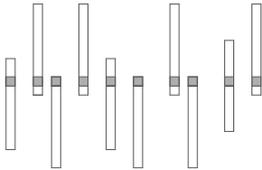
Botanischergarten OG
+51m



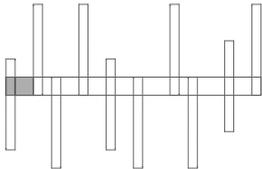
Botanischergarten UG
+48m



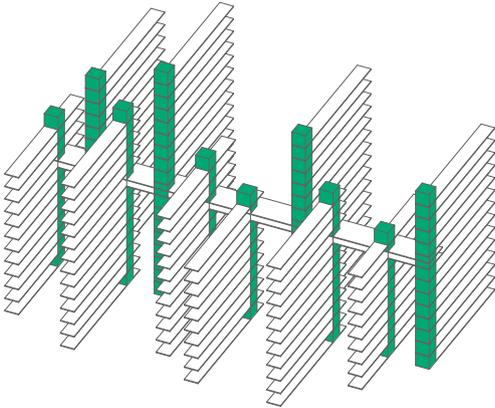
Gebäude OG
+06m bis +108m



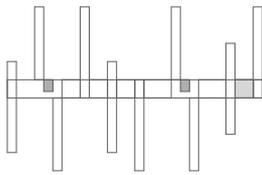
Gebäude EG
+0,00



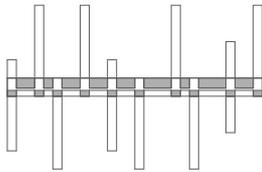
Gebäude UG
-03m



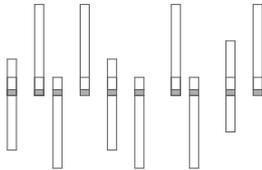
RAUMNUTZUNGEN



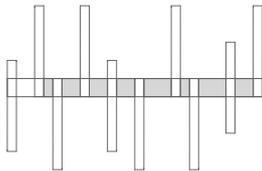
Botanischergarten OG
+51m



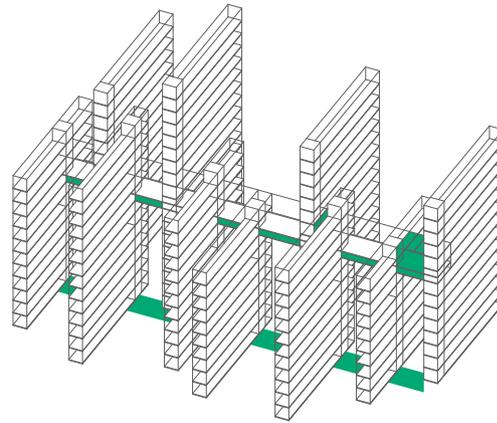
Botanischergarten UG
+48m



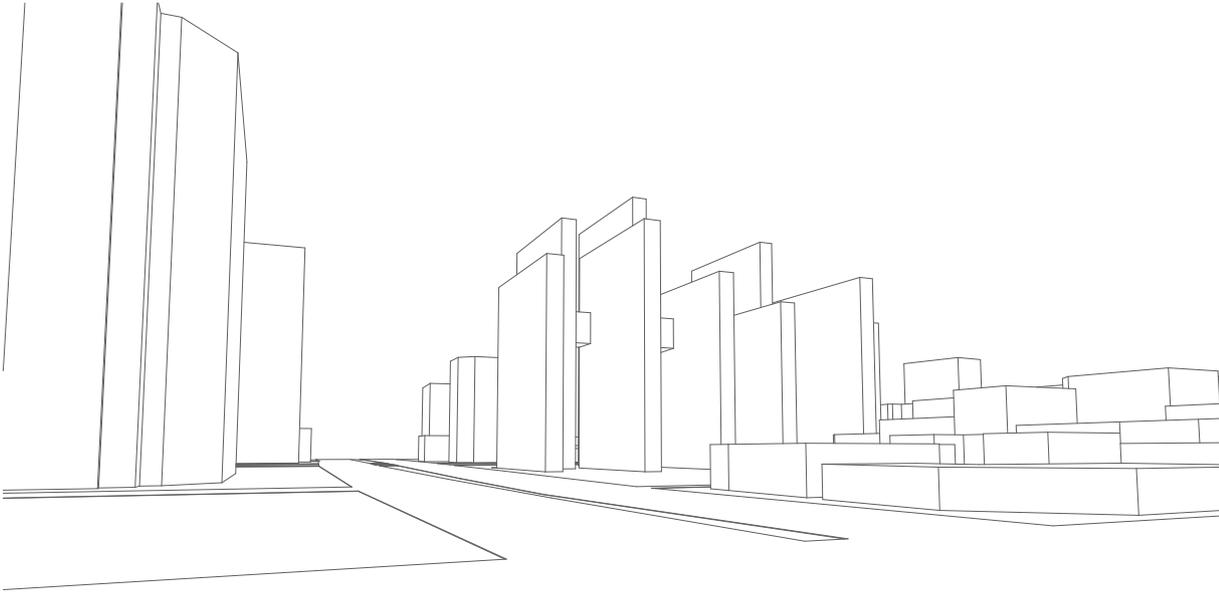
Gebäude EG
+0,00



Gebäude UG
-03m



LAGE

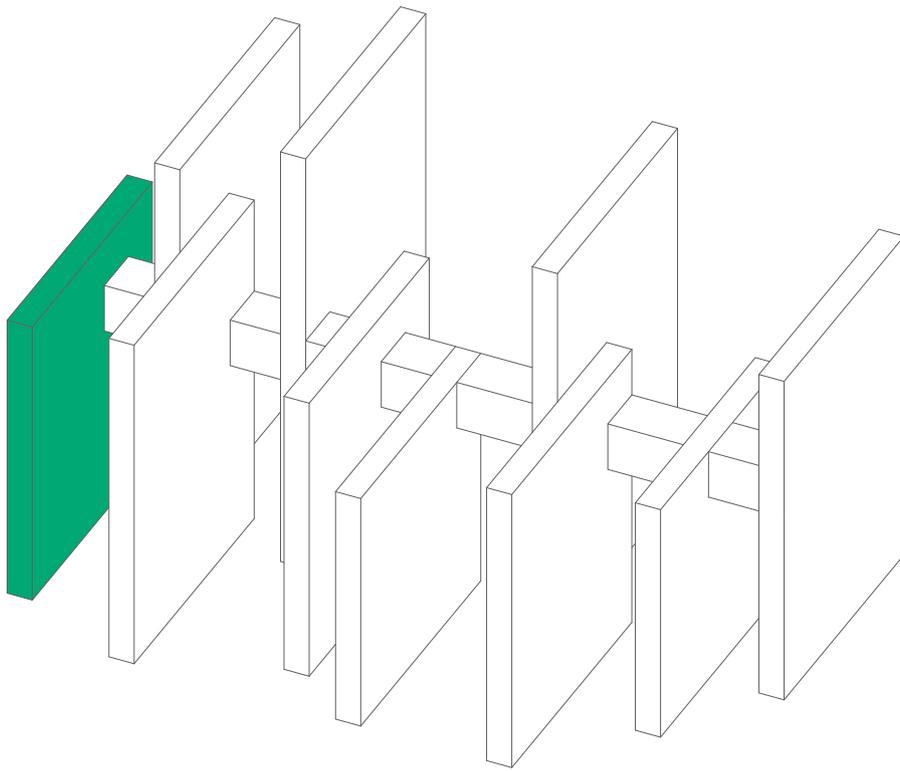


LAGEPLAN

M 1:5000

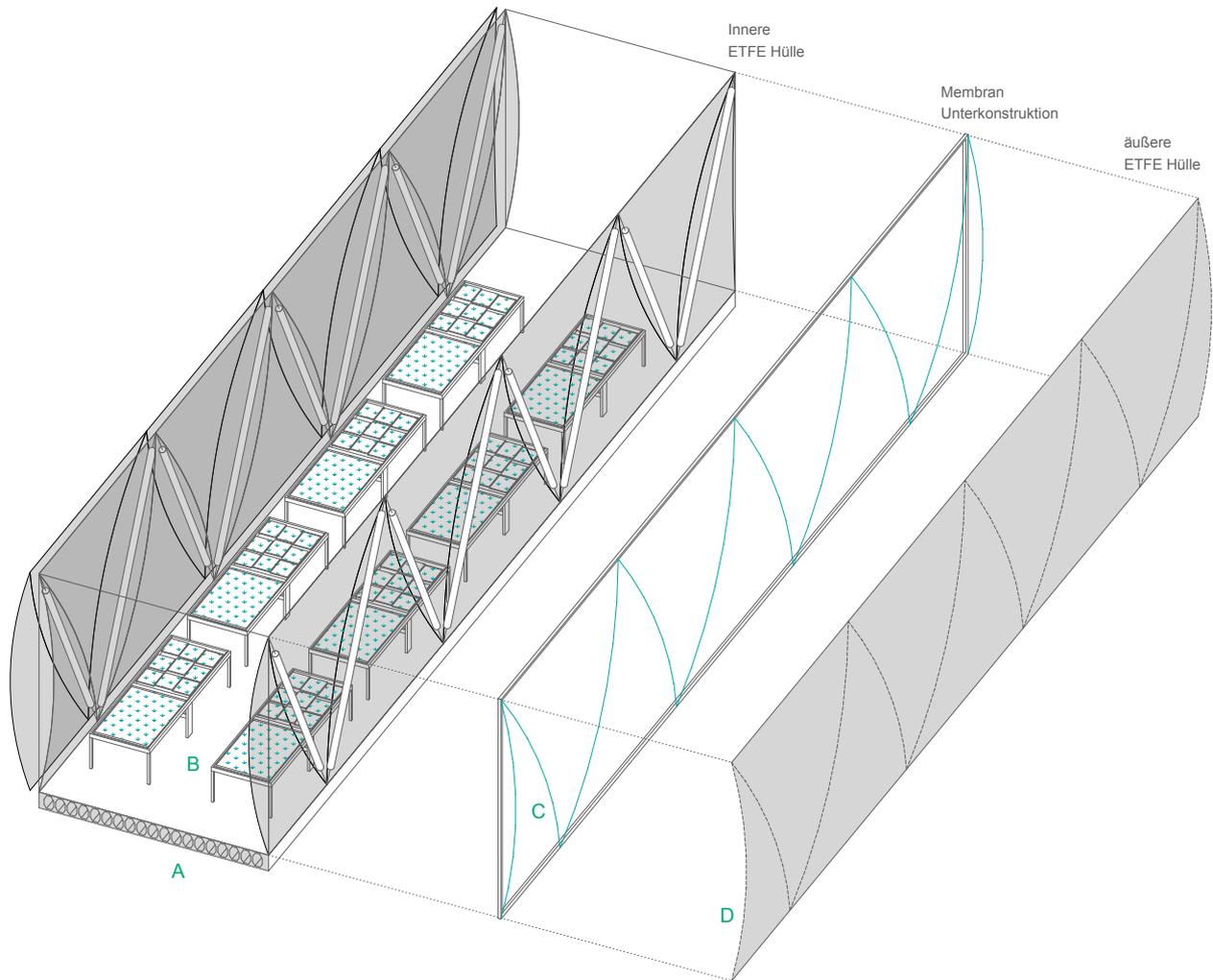


ANBAUGEBÄUDE

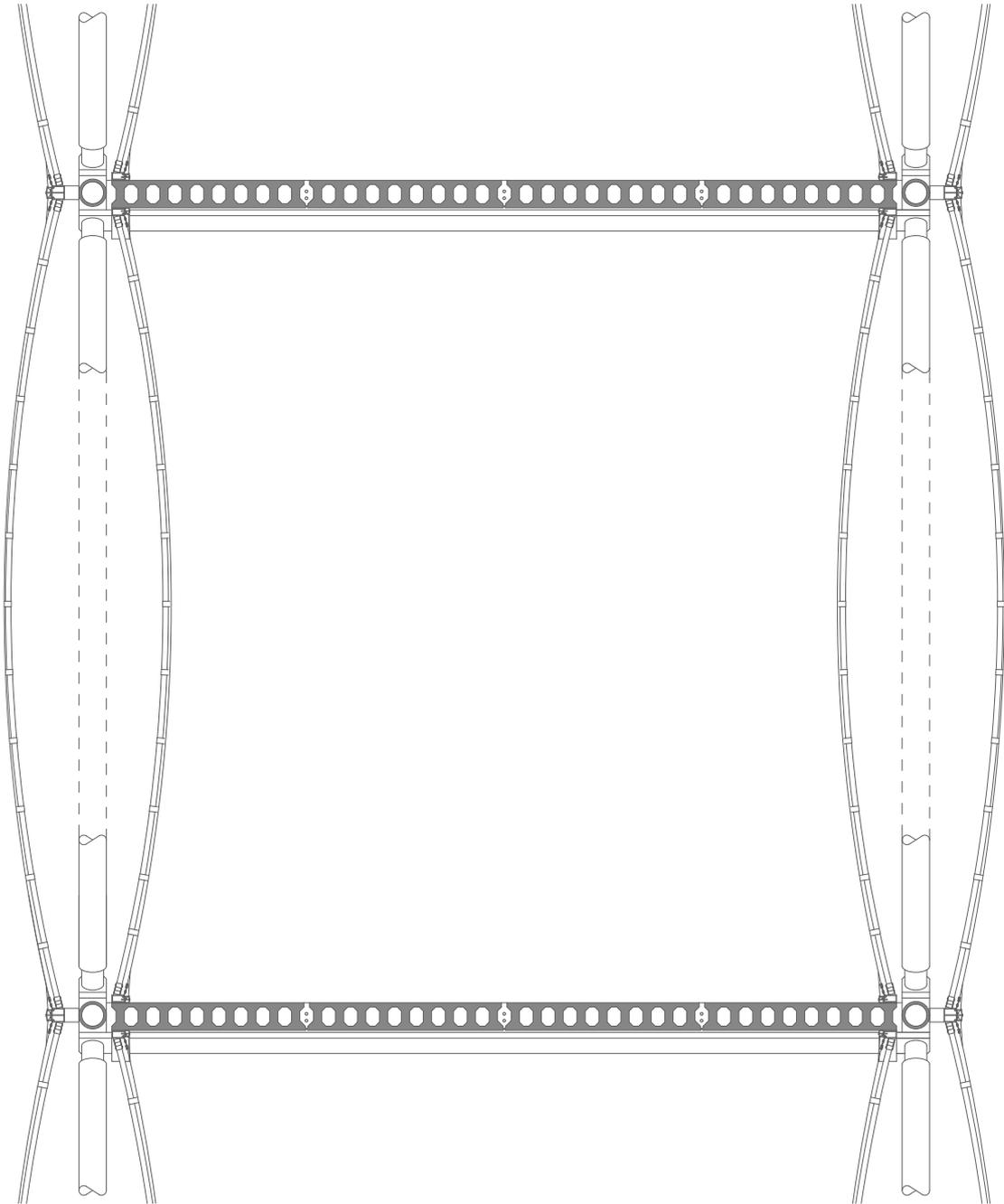


SYSTEMAUFBAU

- A: Hohldielendecke
- B: Anbausysteme
- C: Bambus-Unterkonstruktion für Fassdenhaut
- D: ETFE-Fassadenhaut verschweißt und vorgespannt

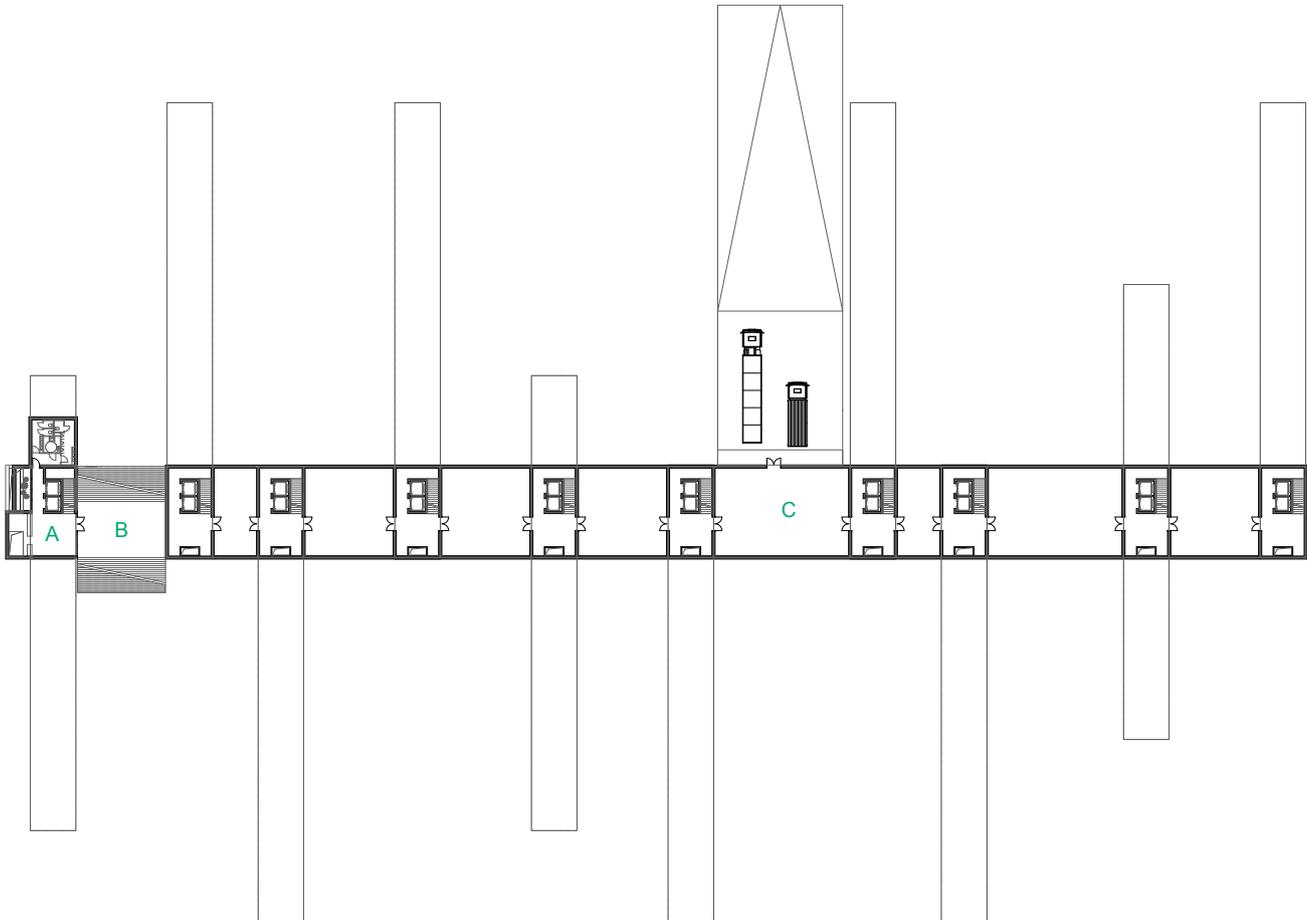


DETAIL
SYSTEMAUFBAU
M 1:50



UNTERGESCHOSS

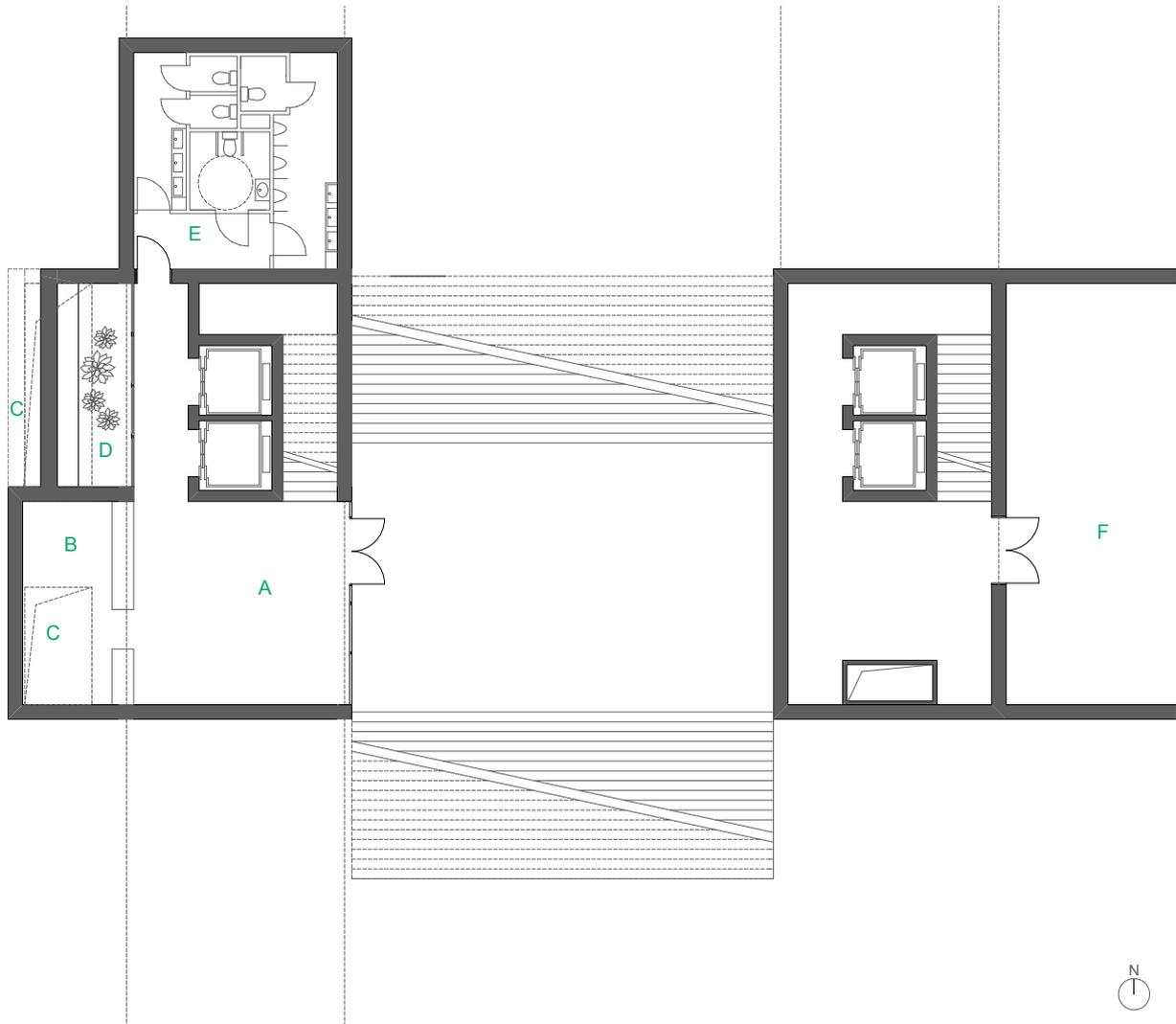
M 1:1000



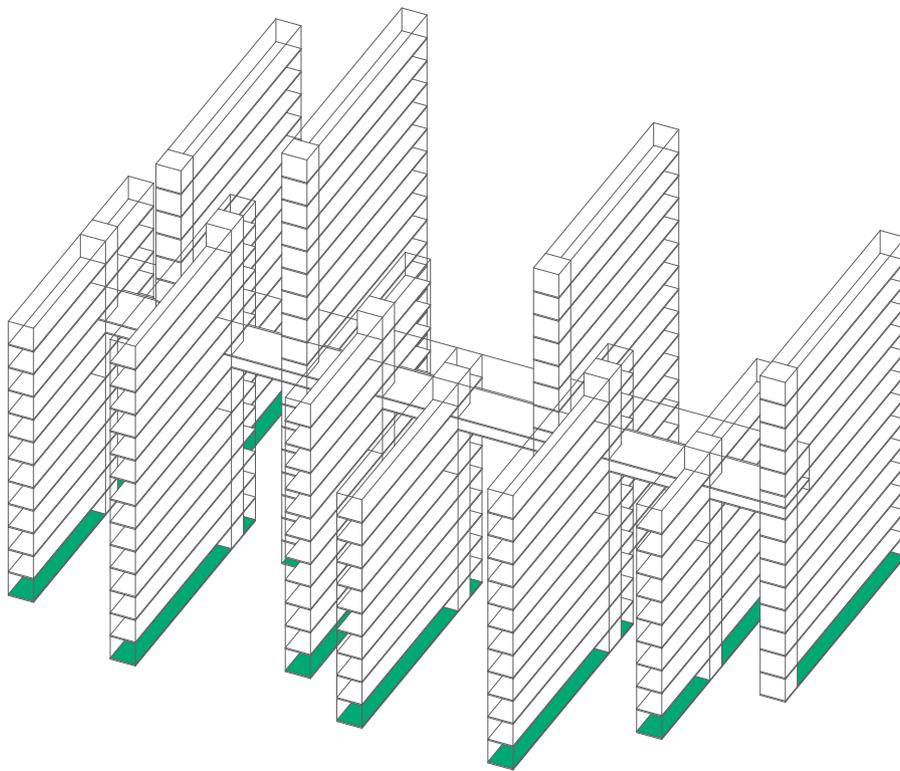
DETAIL UG

M 1:200

- A: Foyer
- B: Infocenter
- C: verglaste Oberlichte
- D: Lichtschacht
- E: Sanitärräume



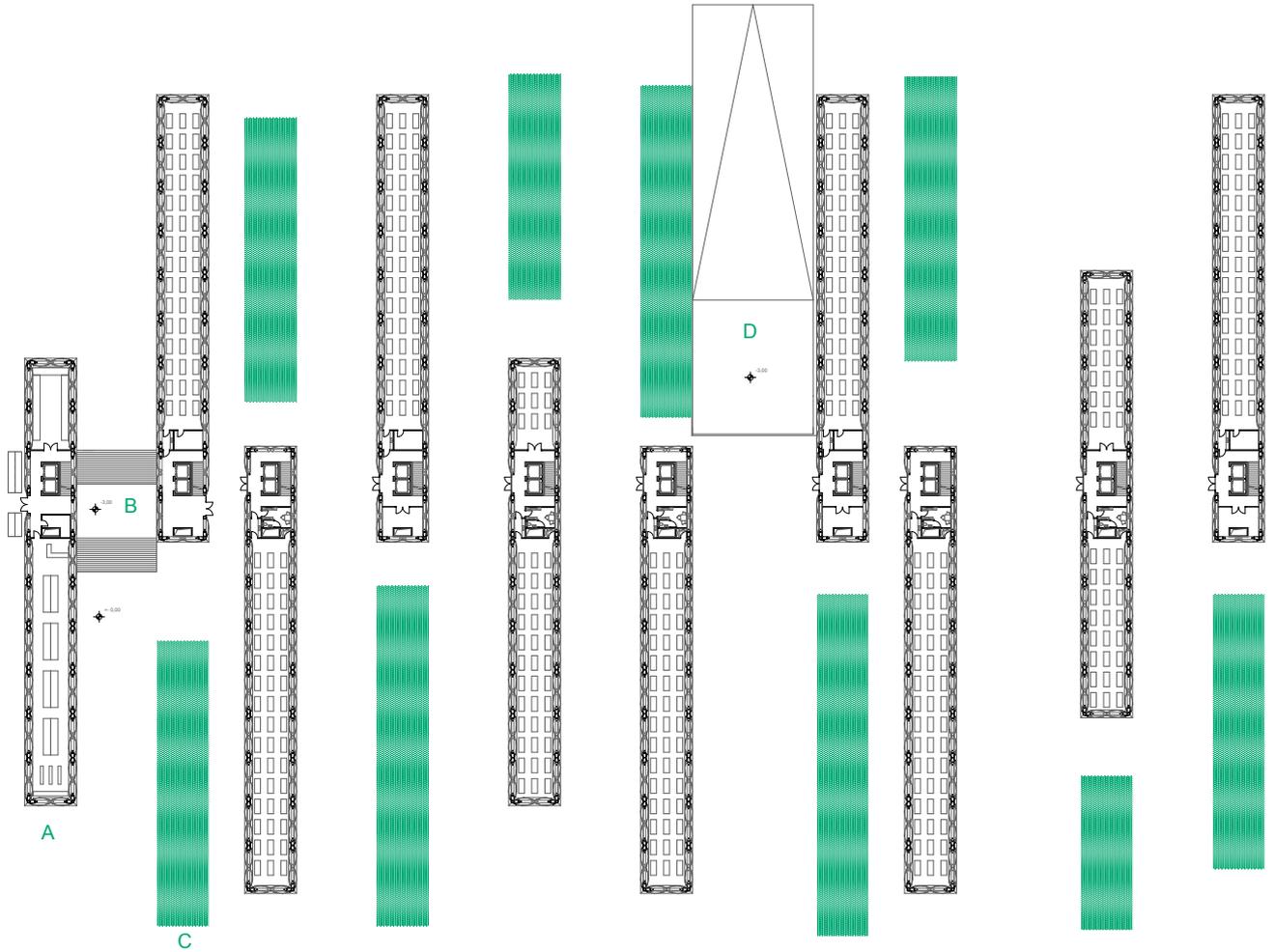
ERDGESCHOSS



ERDGESCHOSS

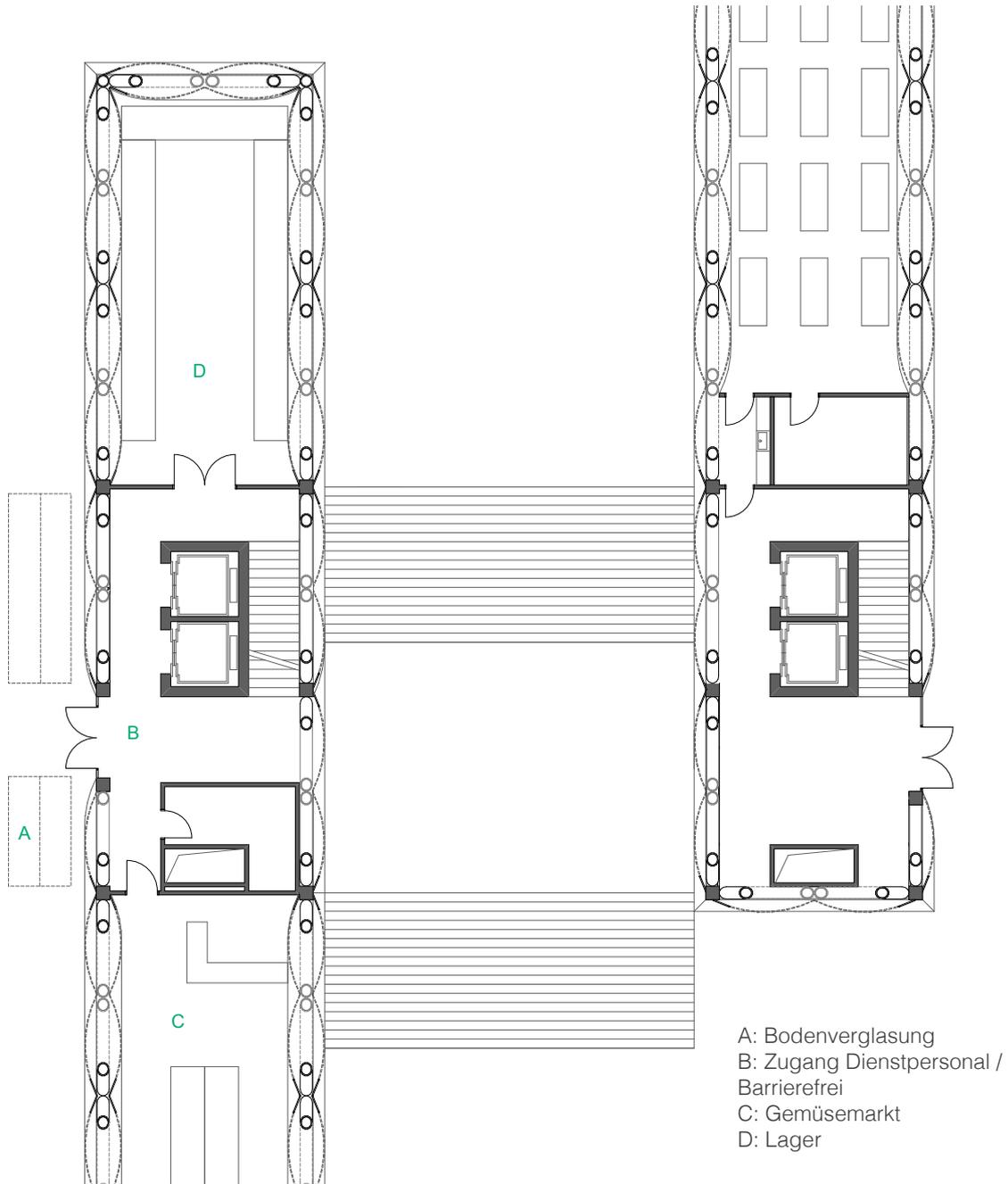
M 1:1000

- A: Erschließungsgebäude
- B: abgesenkter Vorplatz
- C: Bambus-Grünstreifen
- D: Zu-Ablieferung

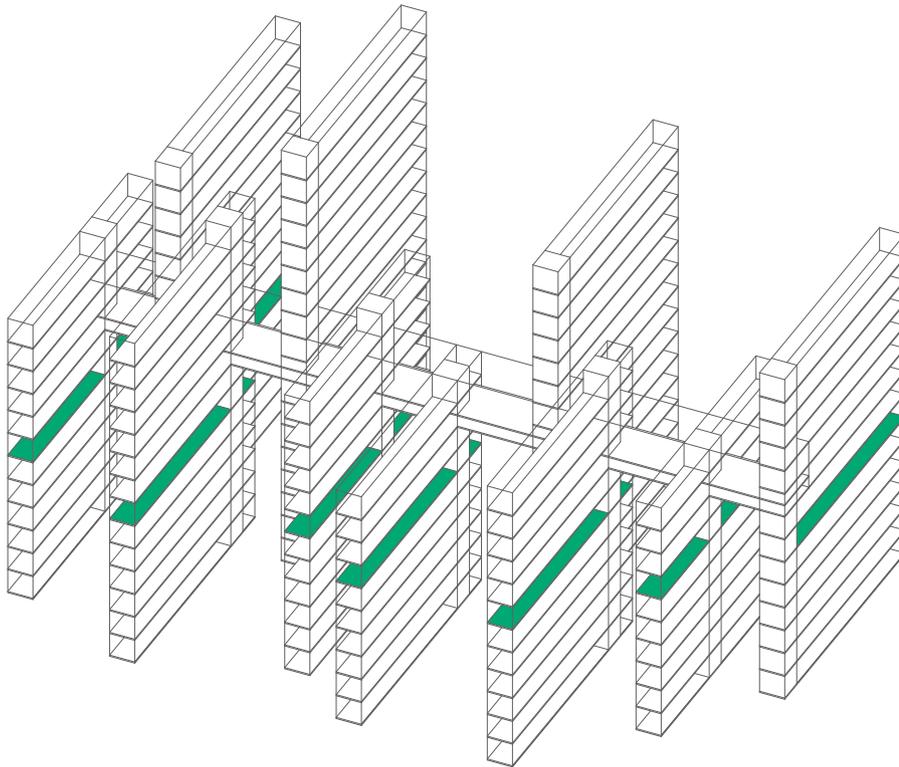


DETAIL EG

M 1:200

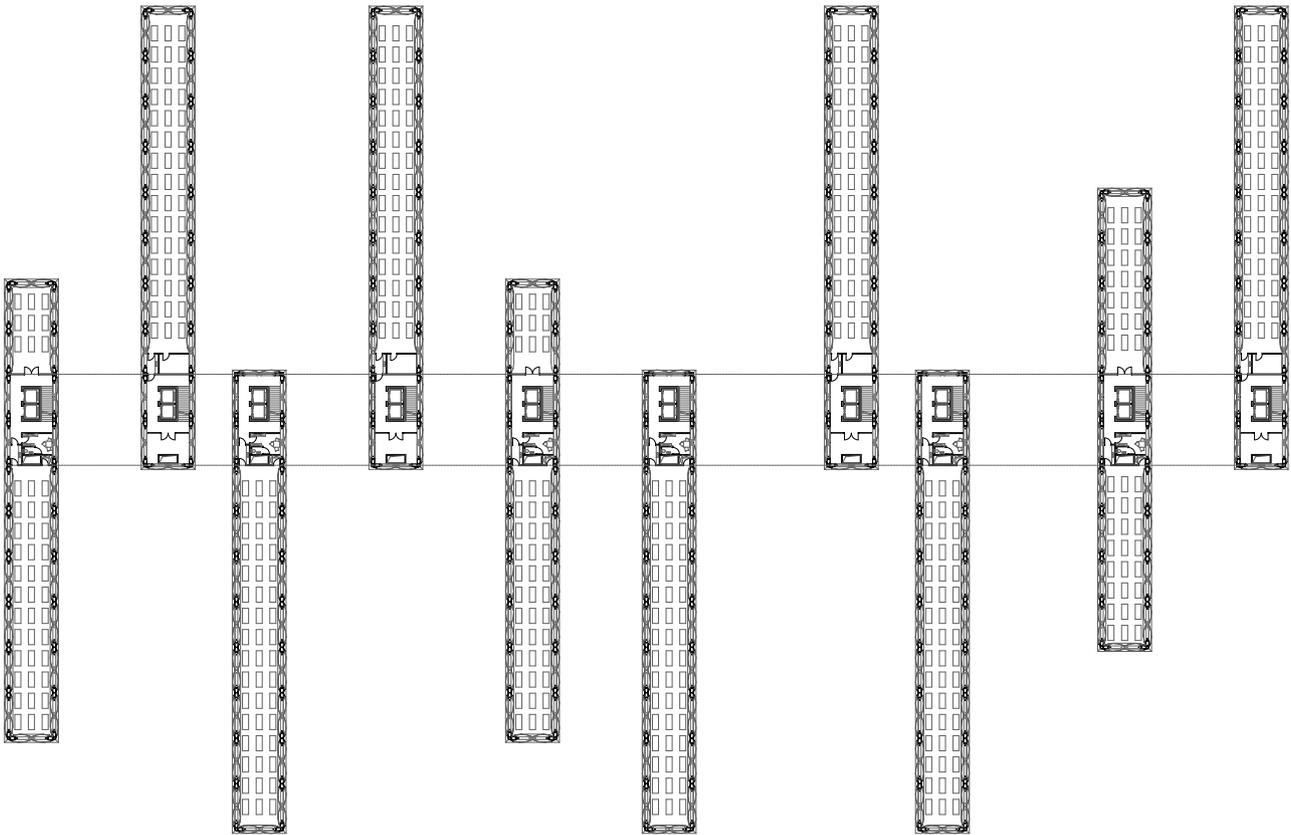


REGELGESCHOSS



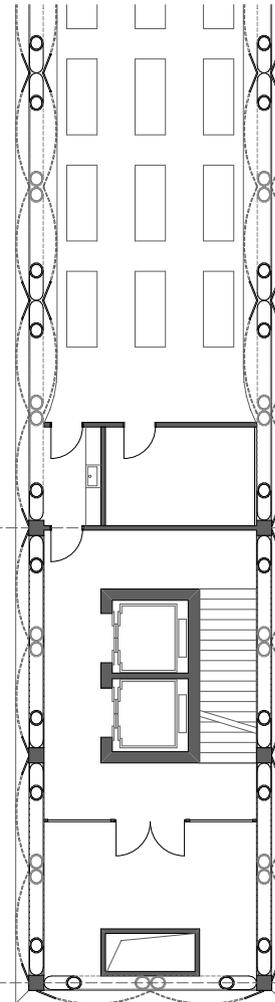
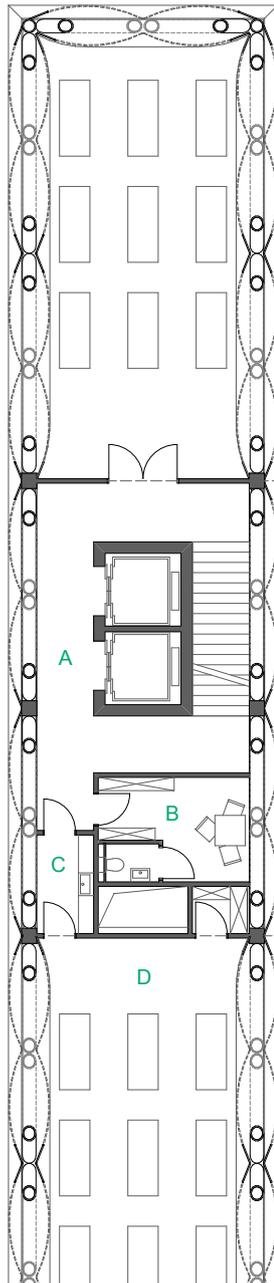
DETAIL EG

M 1:1000



REGELGESCHOSS

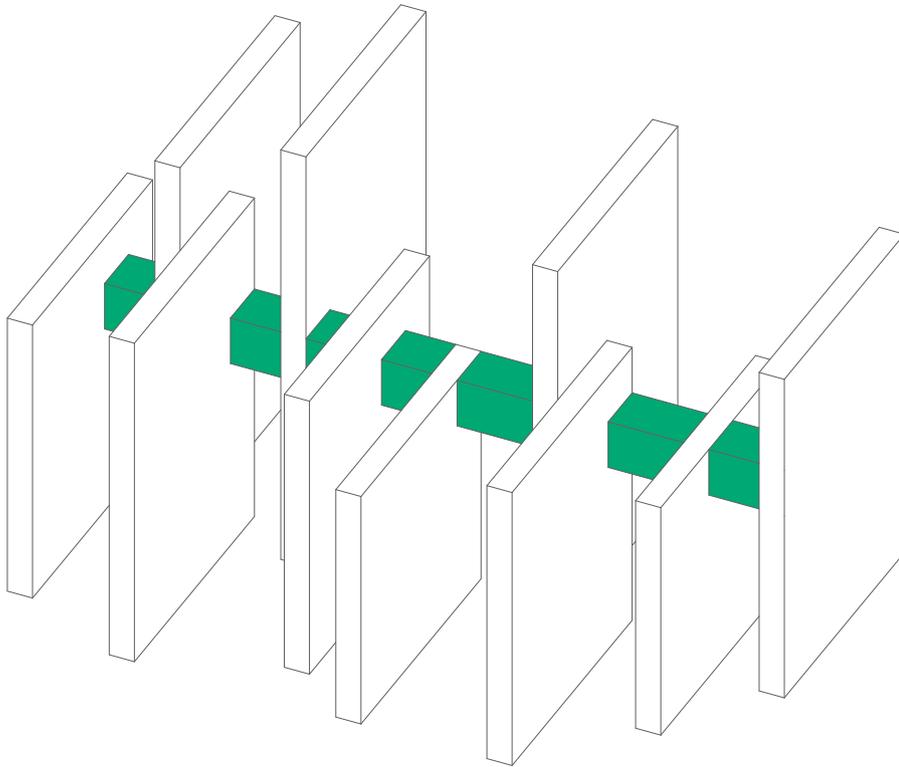
M 1:200



- A: Erschließungskern
- B: Büro
- C: Schleuse
- D: Anbauraum

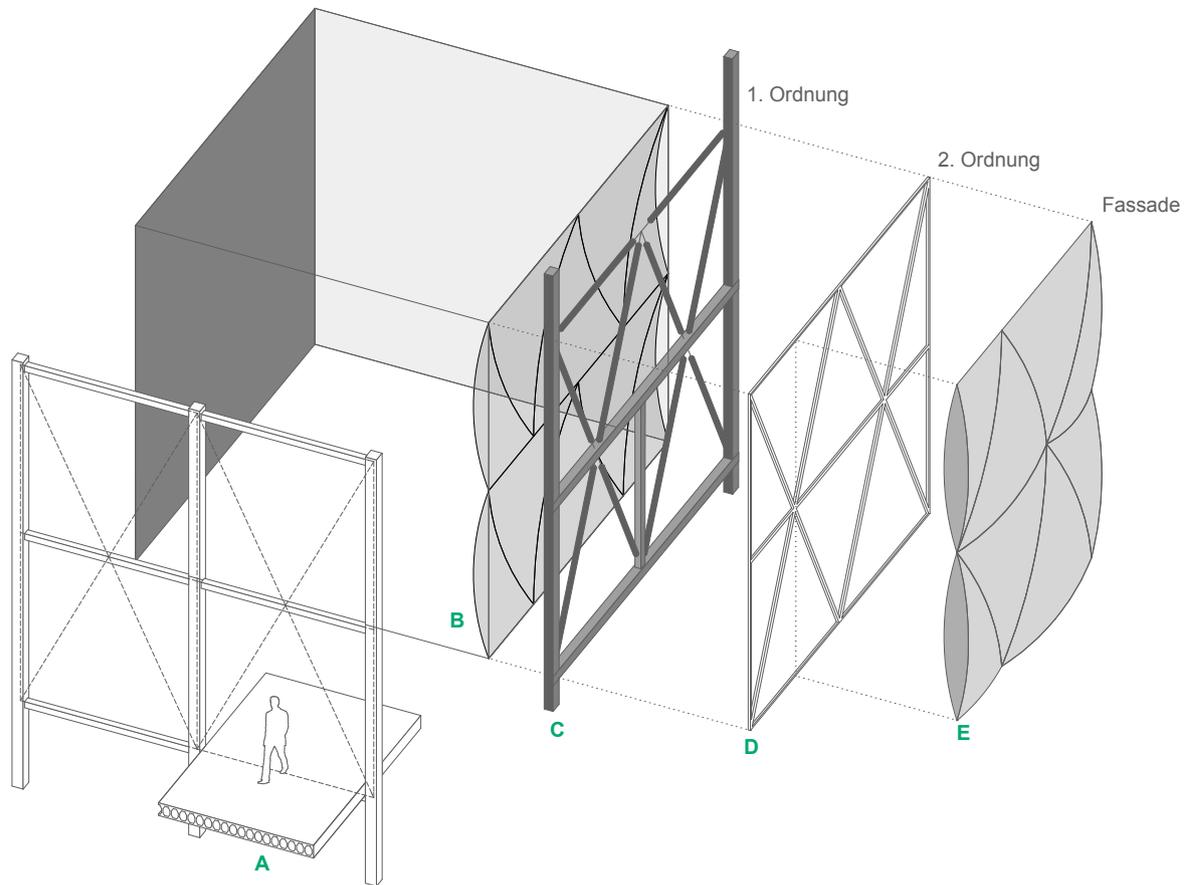


**BOTANISCHER
GARTEN**

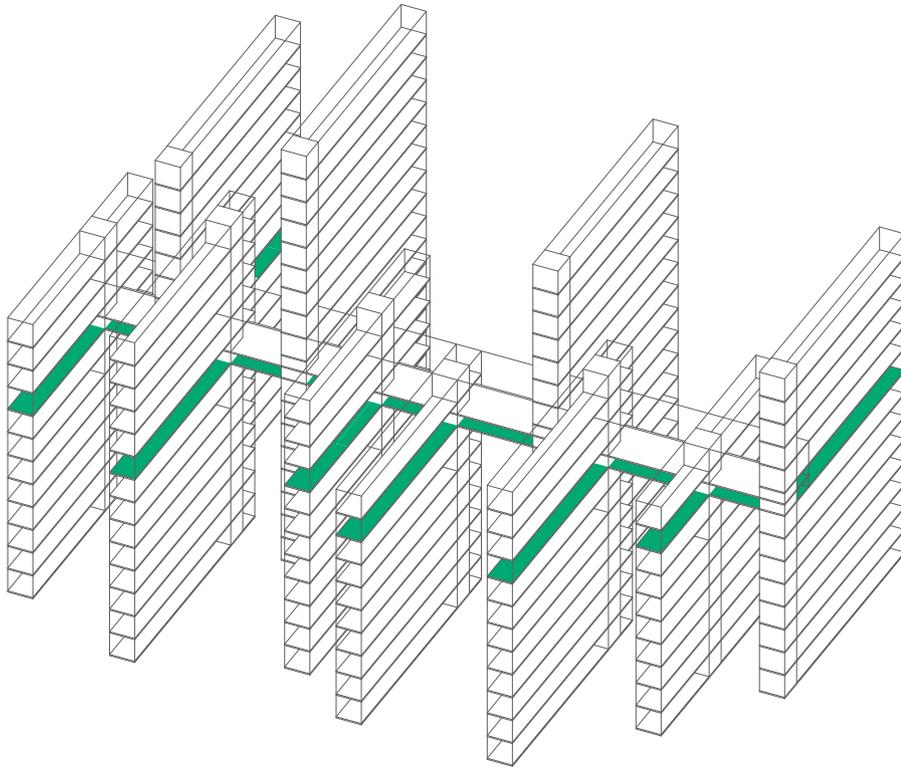


SYSTEMAUFBAU

M 1:200

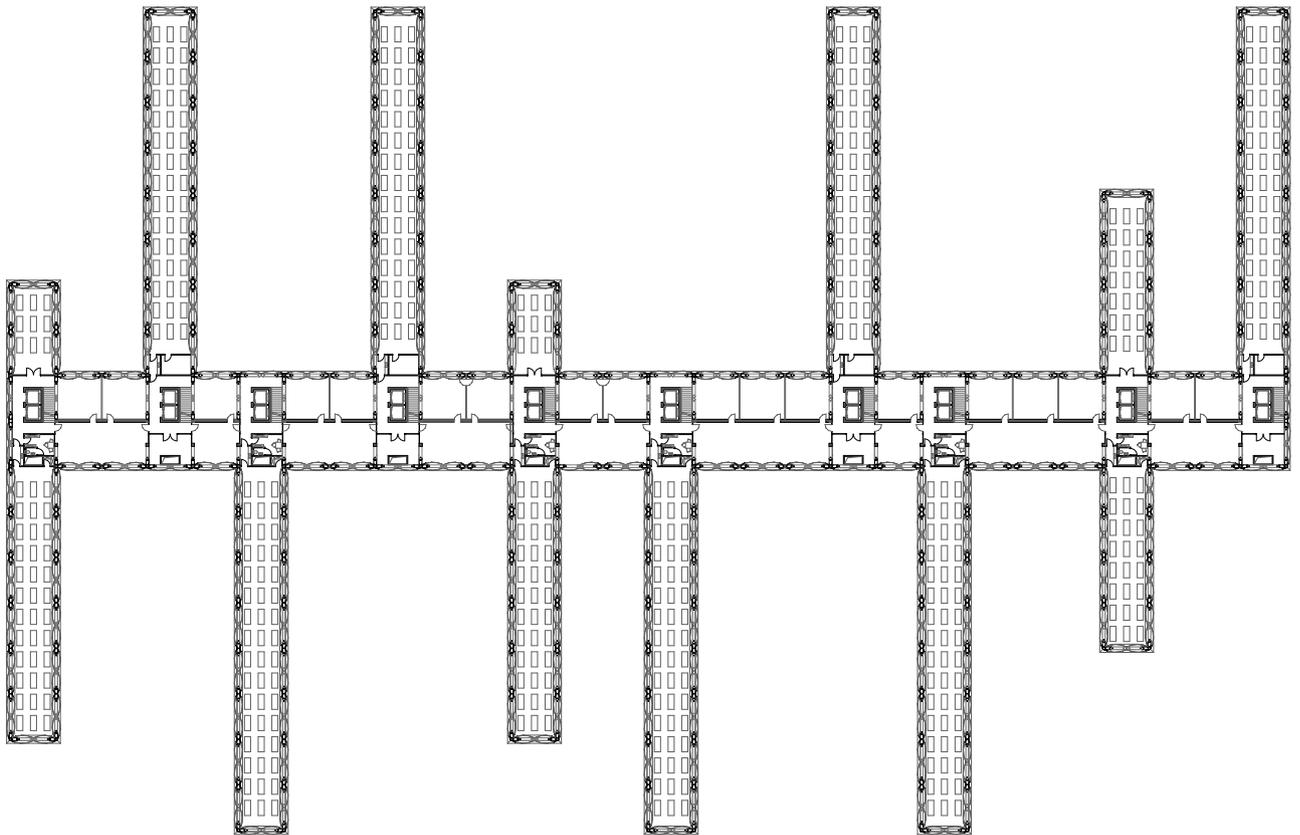


**BOTANISCHER
GARTEN UG**

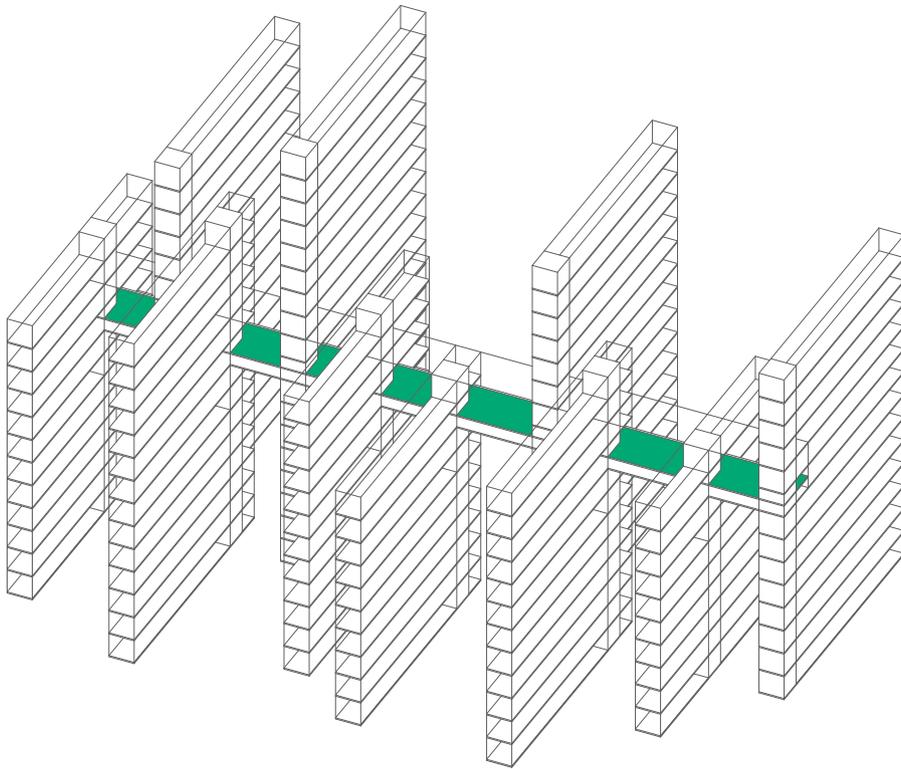


BOTANISCHER GARTEN UG

M 1:1000

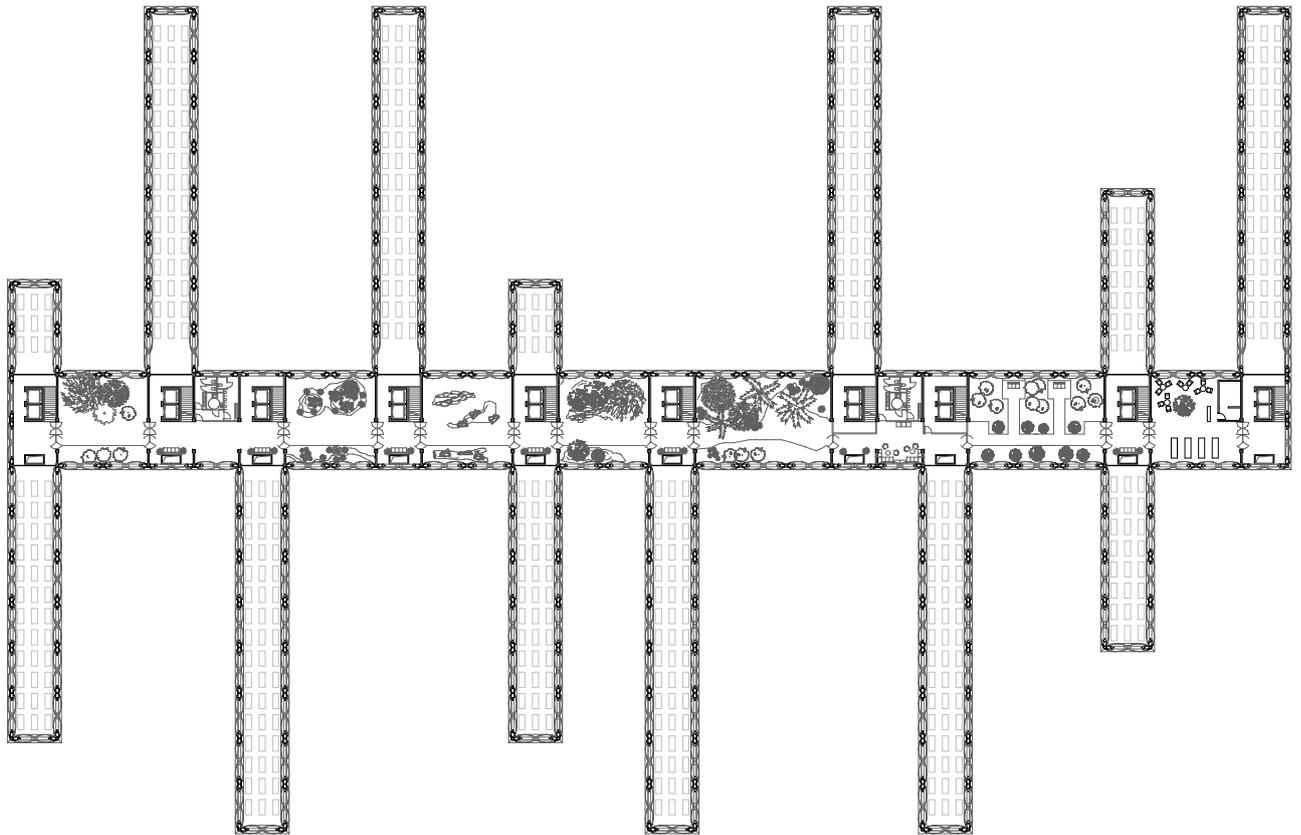


**BOTANISCHER
GARTEN OG**



BOTANISCHER GARTEN OG

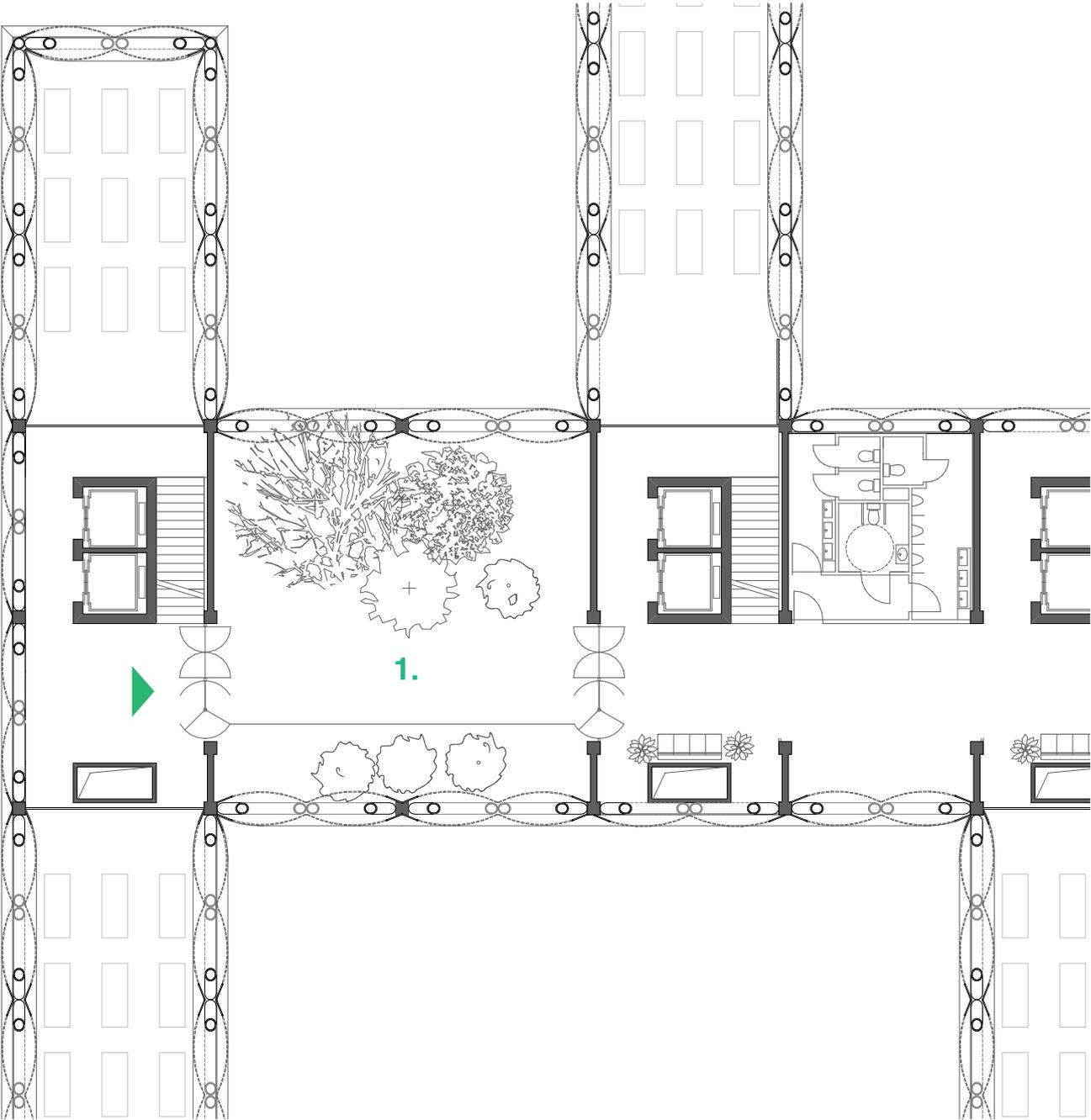
M 1:1000



ZUGANG

1. Temperierthaus

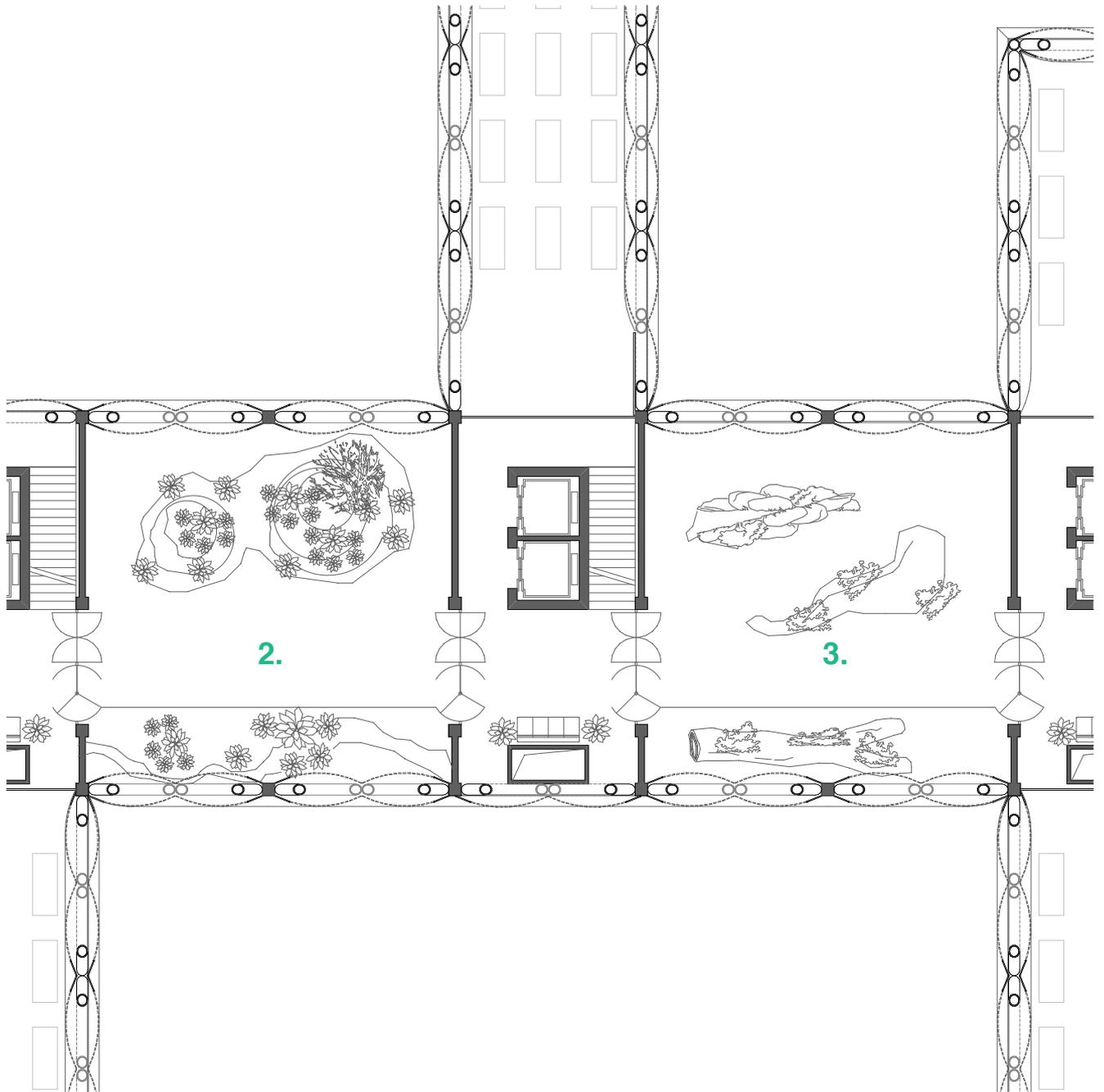
M 1:200



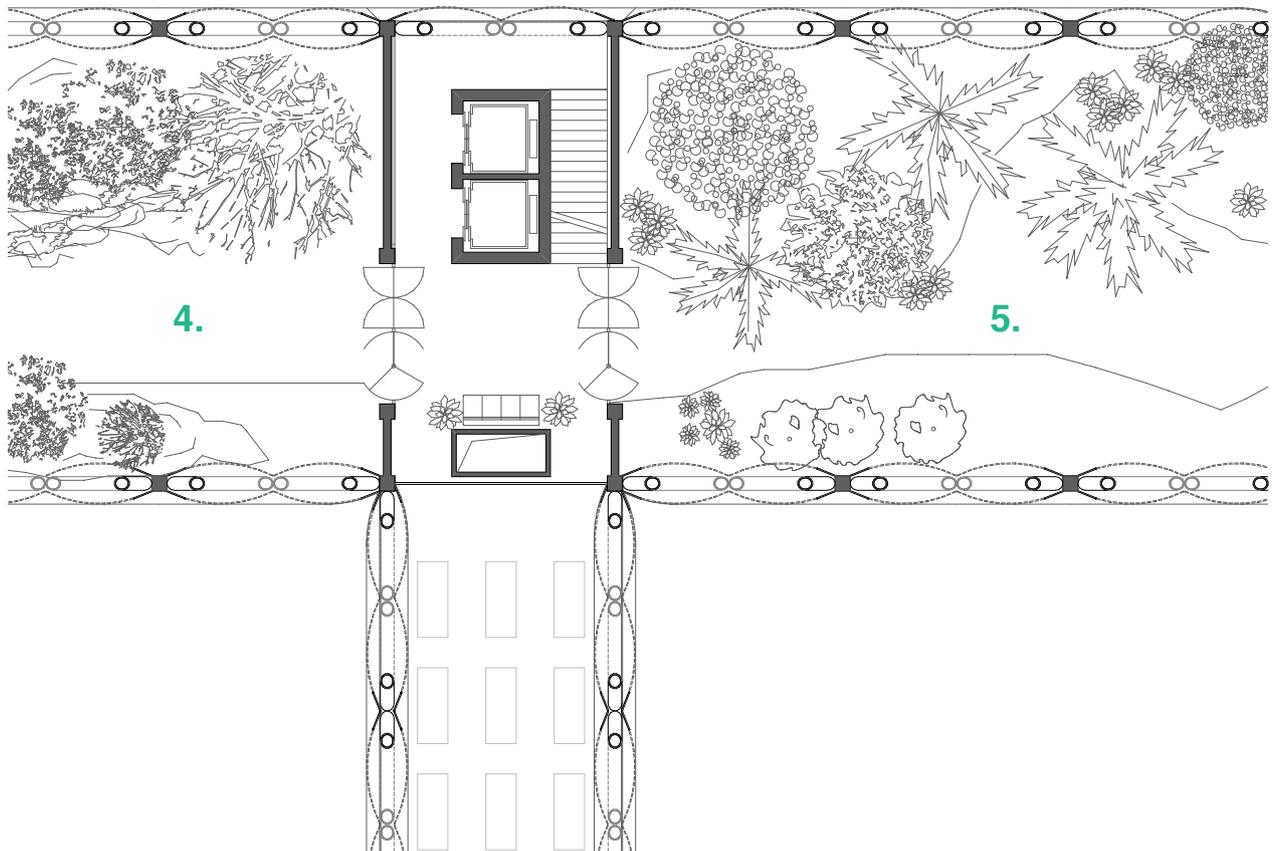
2. Sukkulentenhaus

3. Pilzhaus

M 1:200



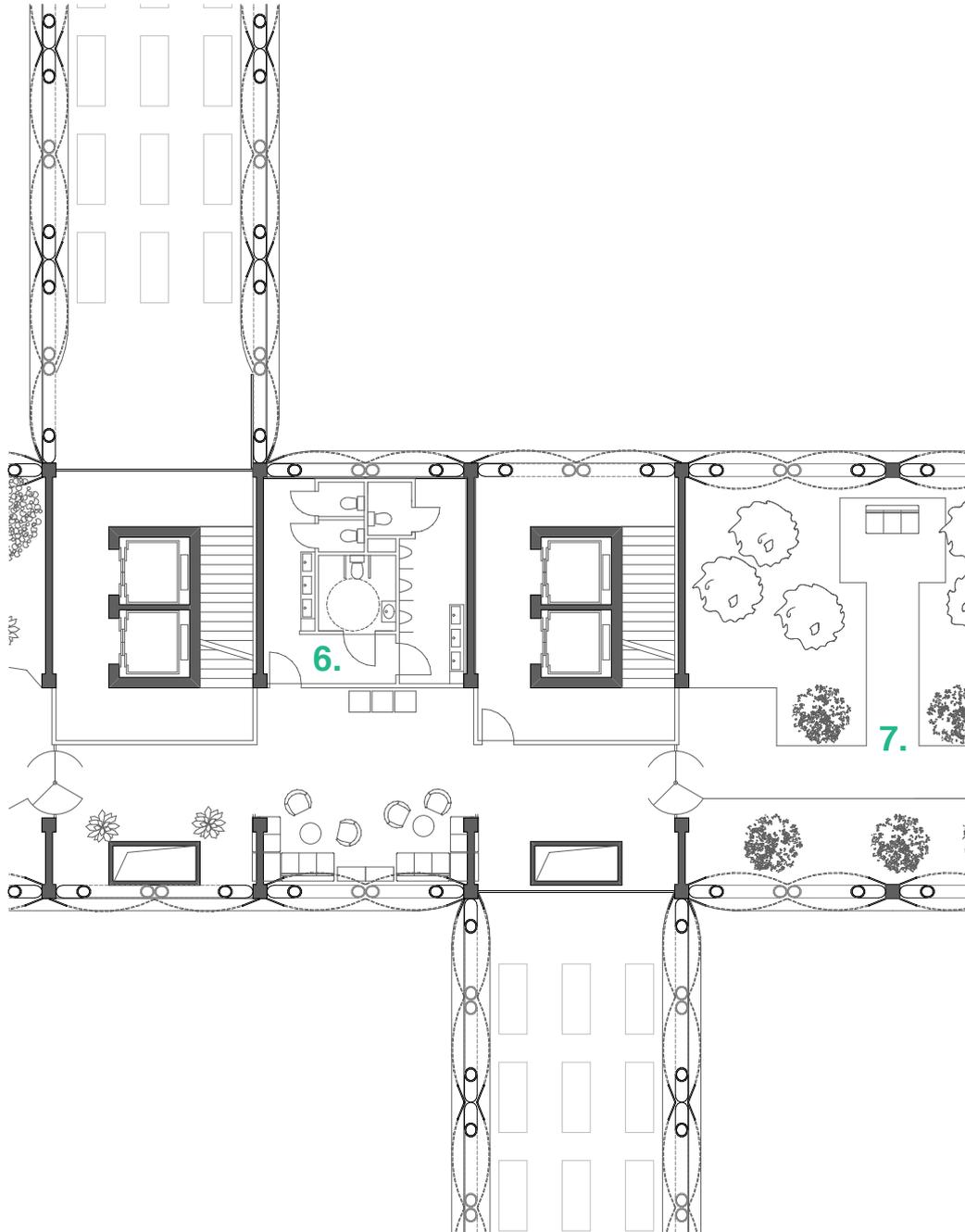
4. Kalthaus
5. Tropenhaus
M 1:200



6. Sanitäranlagen

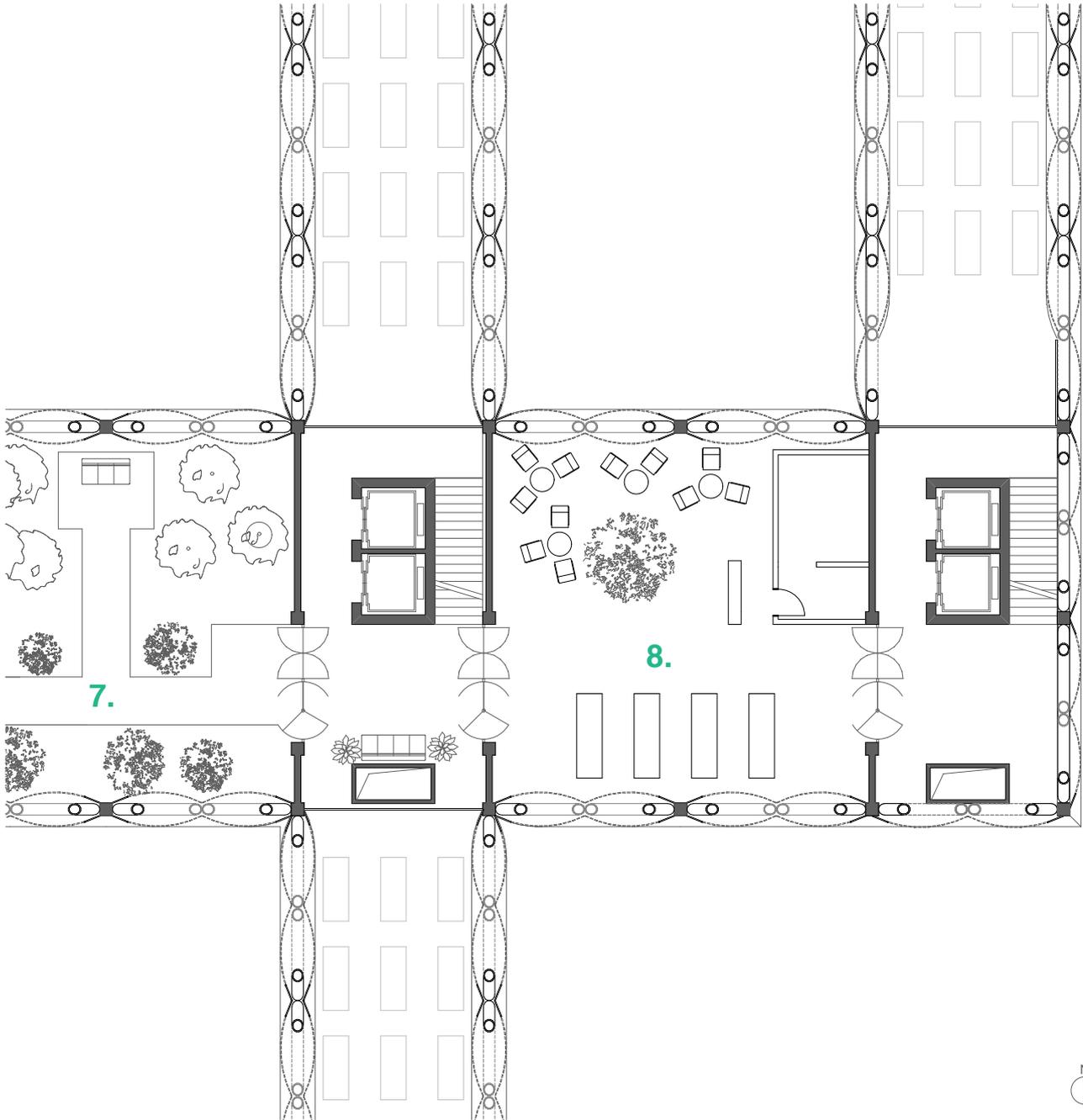
7. Orangerie

M 1:200



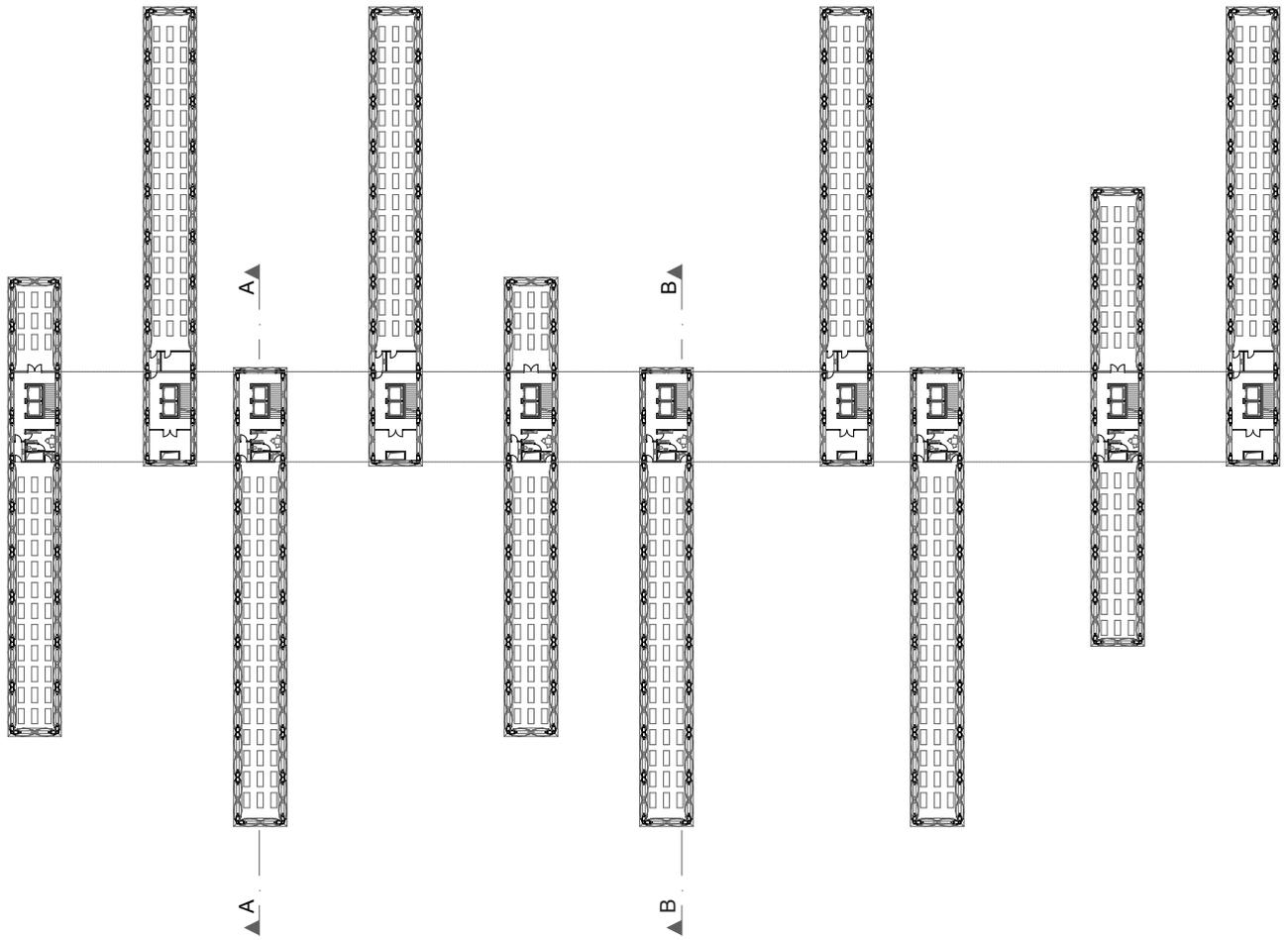
7. Orangerie
8. Saatgutshop / Café

M 1:200

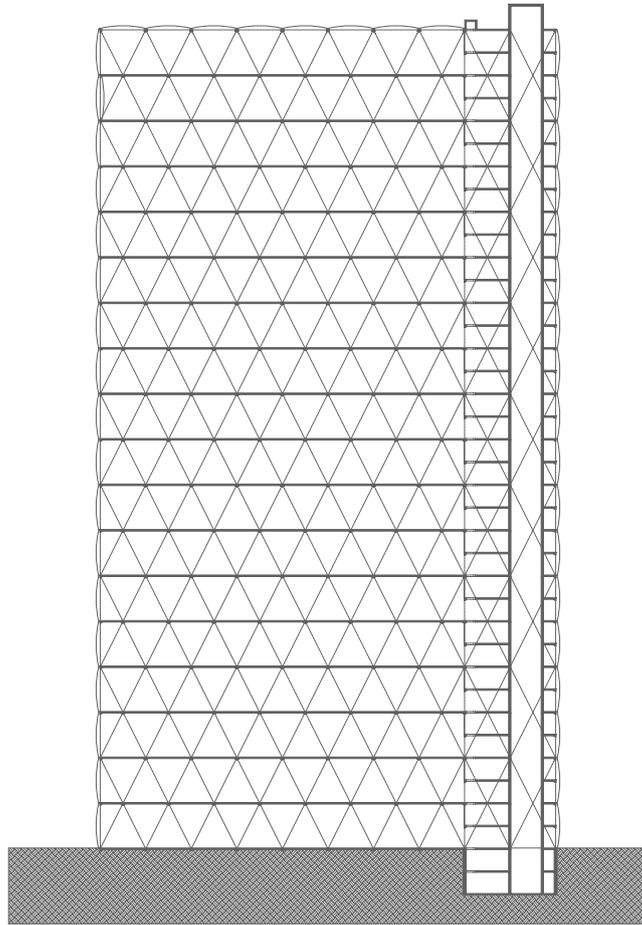


SCHNITTE

M 1:1000

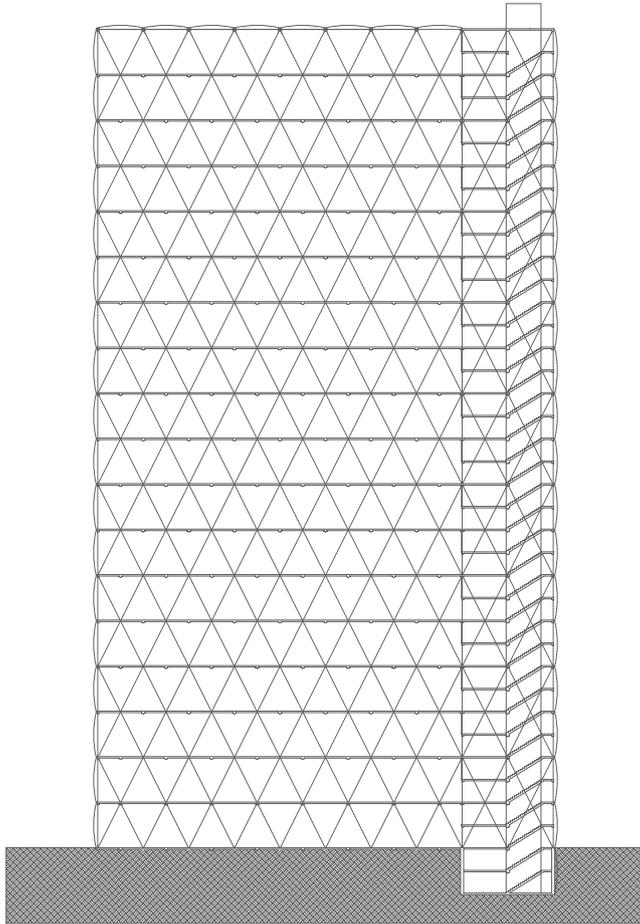


SCHNITT A-A
M 1:1000

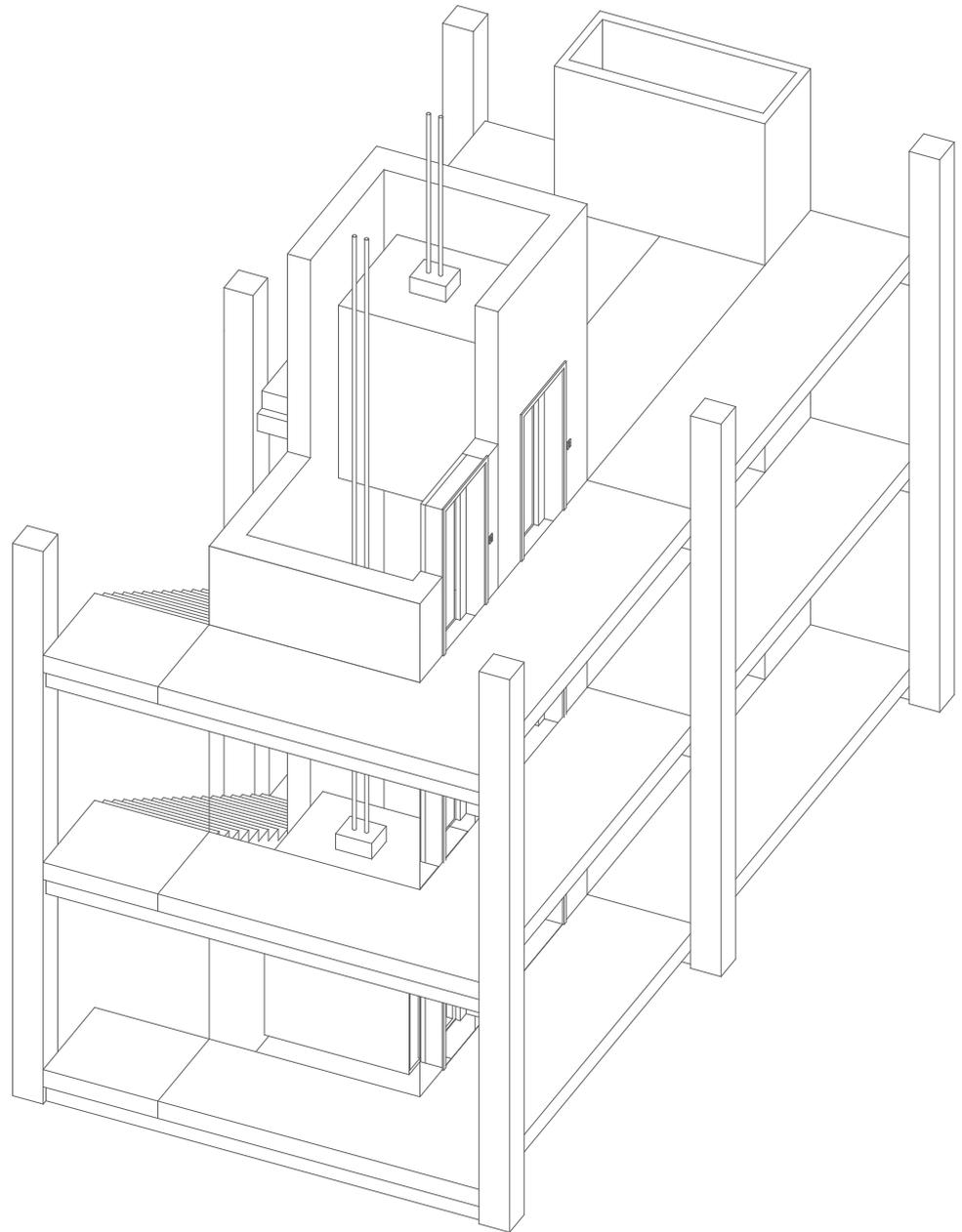


SCHNITT B-B

M 1:1000



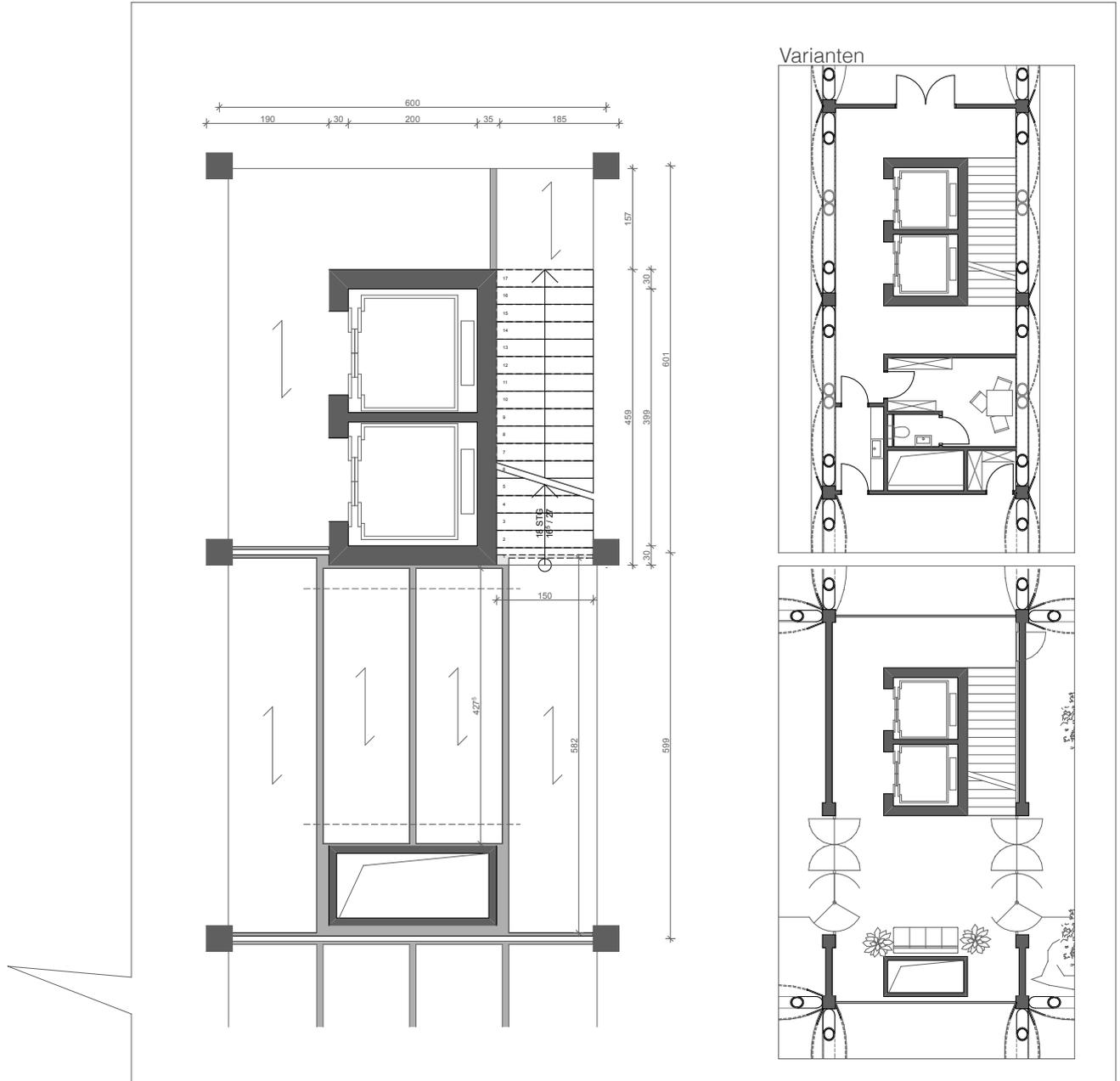
ERSCHLIESSUNGSKERN



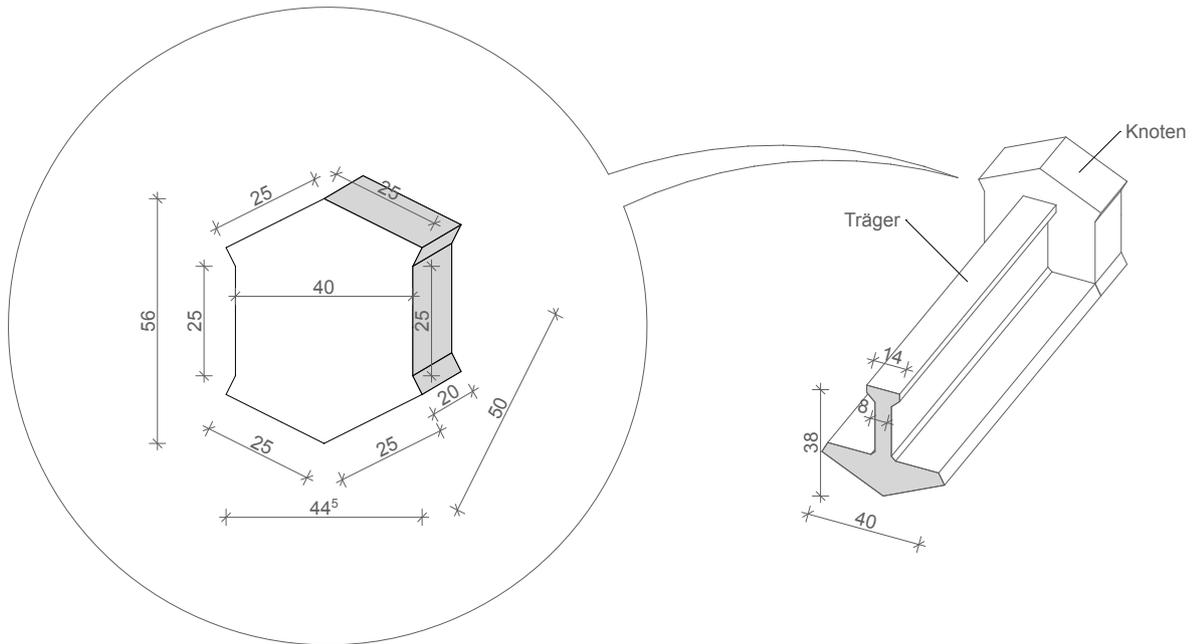
AUSSCHNITT

M 1:100 / M 1:200

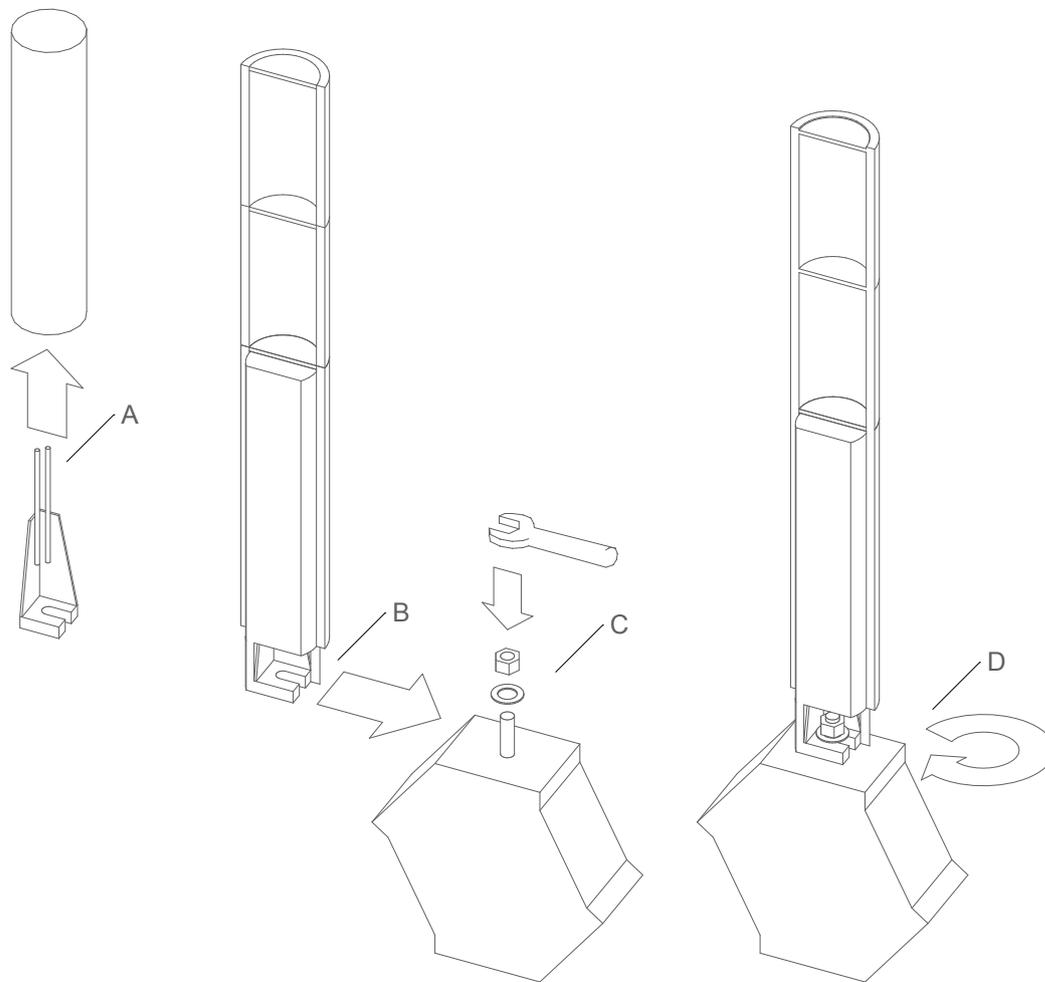
Deckenspannrichtung



STANDARDKNOTEN



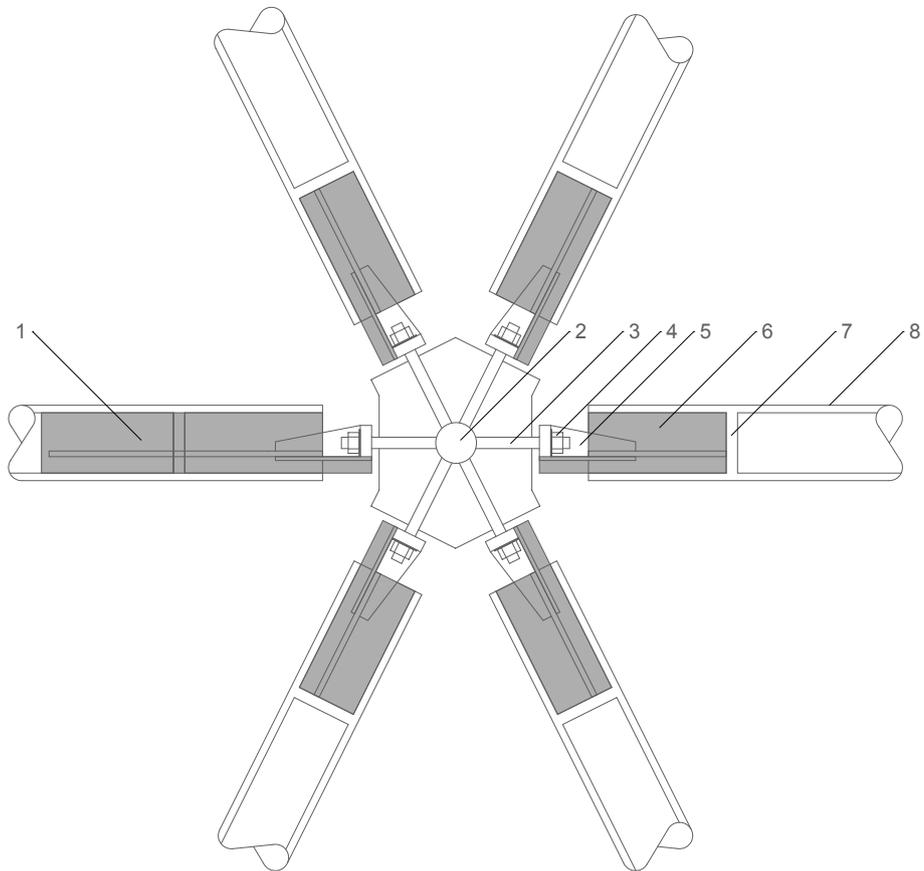
KNOTENANSCHLUSS BAMBUS



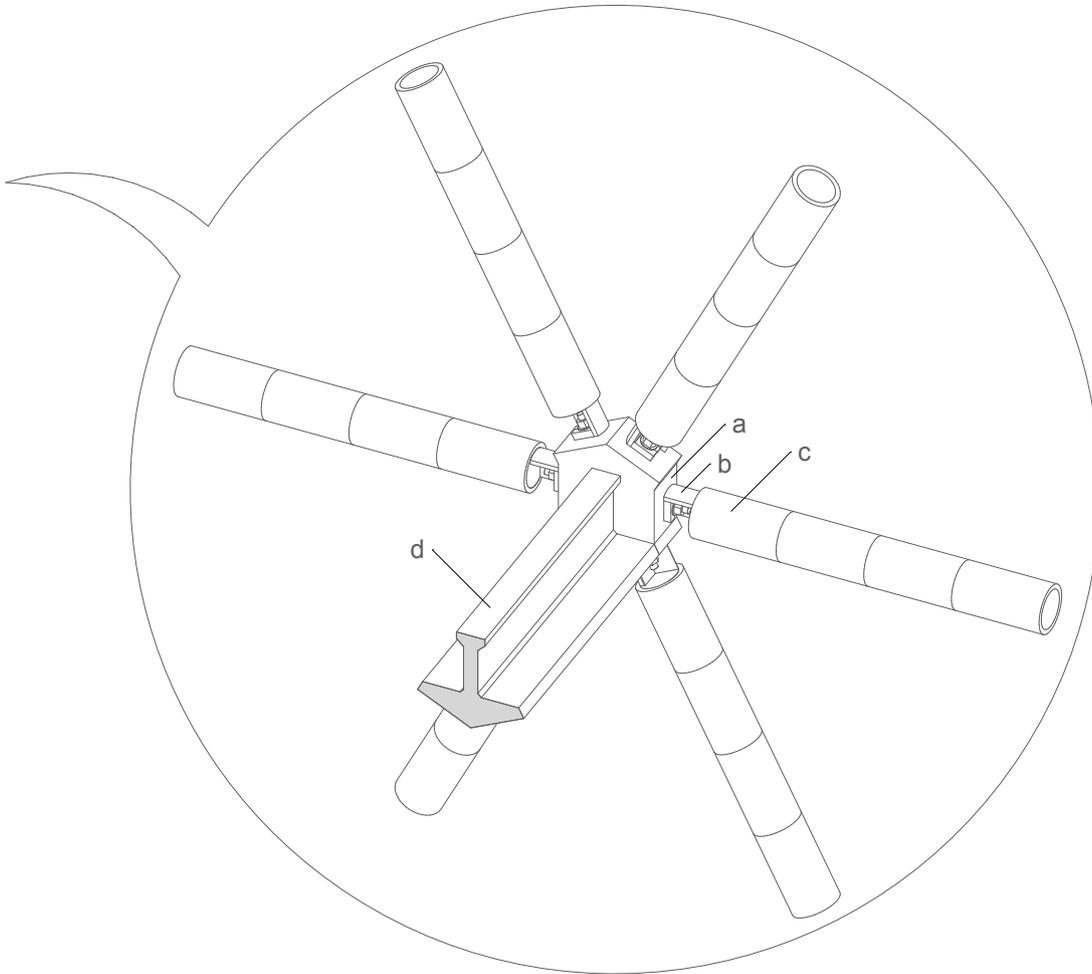
HPKM Stützenschuh in Bambus betoniert (A) - Tiefe des Betonmörtel in Abhängigkeit der gegebenen Krafteinwirkung. Die Stütze wird in Ankerbolzen eingehängt (B). Der Stützenschuh wird mit Beilagscheibe und Mutter fixiert (C) und festgezogen (D).

KNOTENELEMENTE

M 1:20



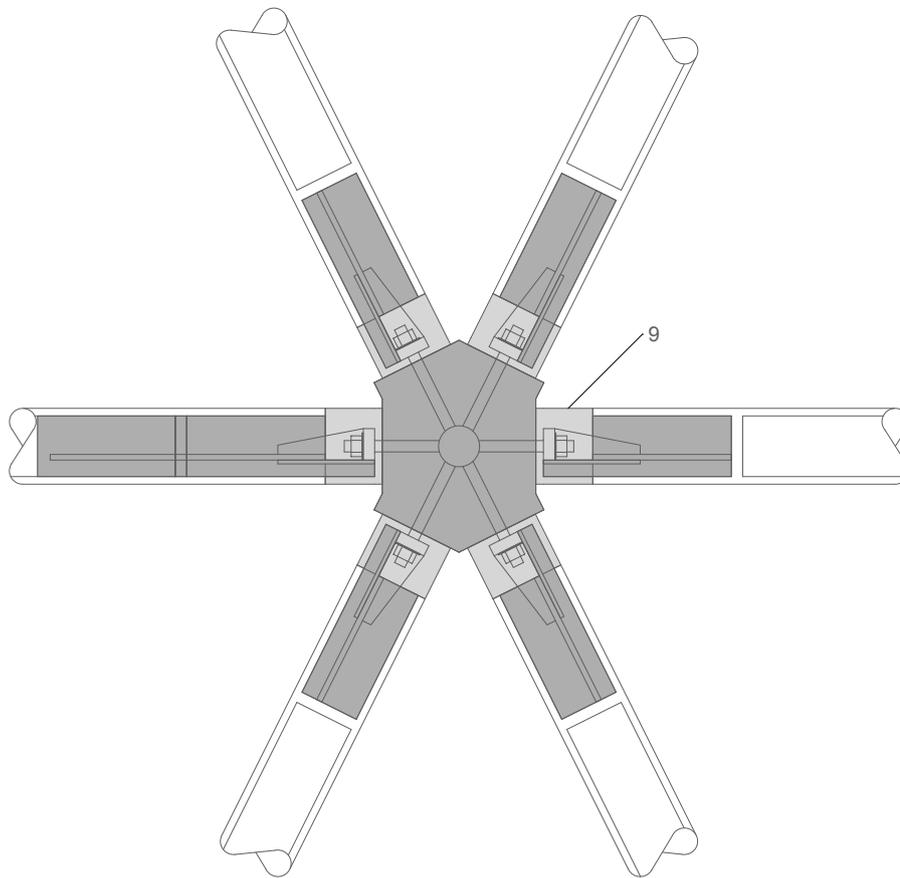
1 Betonmörtel, 2 Stahlkern (verschweißt), 3 Ankerbolzen/Gewindestange, 4 Sechskantmutter, 5 HPKM Stützenschuh, 6 Betonmörtel, 7 Bambus Internodie, 8 Bambusstam Ø 20 - 30cm



a Knoten, b HPKM Stützenschuh, c Bambusrohr, d Deckenträger

FERTIGER KNOTEN

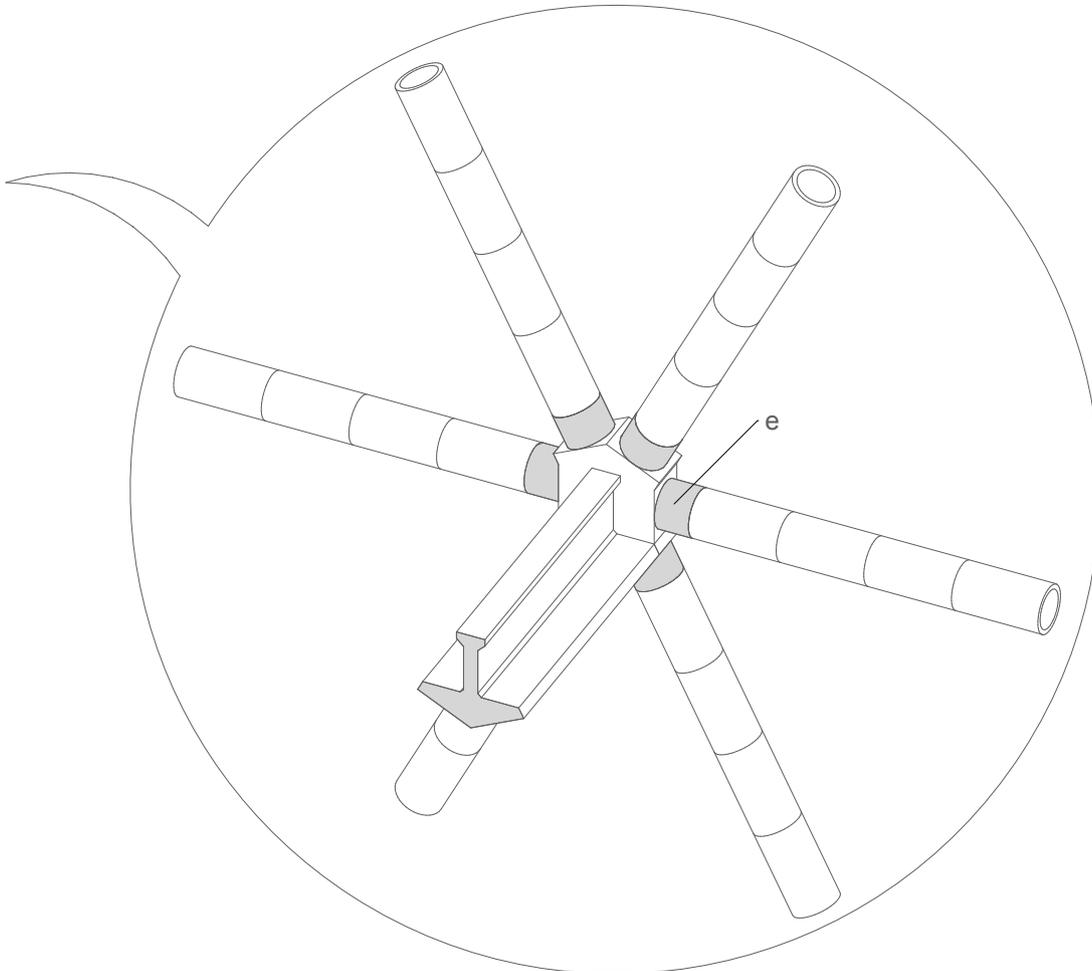
M 1:20



9 Ortbeton Ummantellung

SCHNITTE

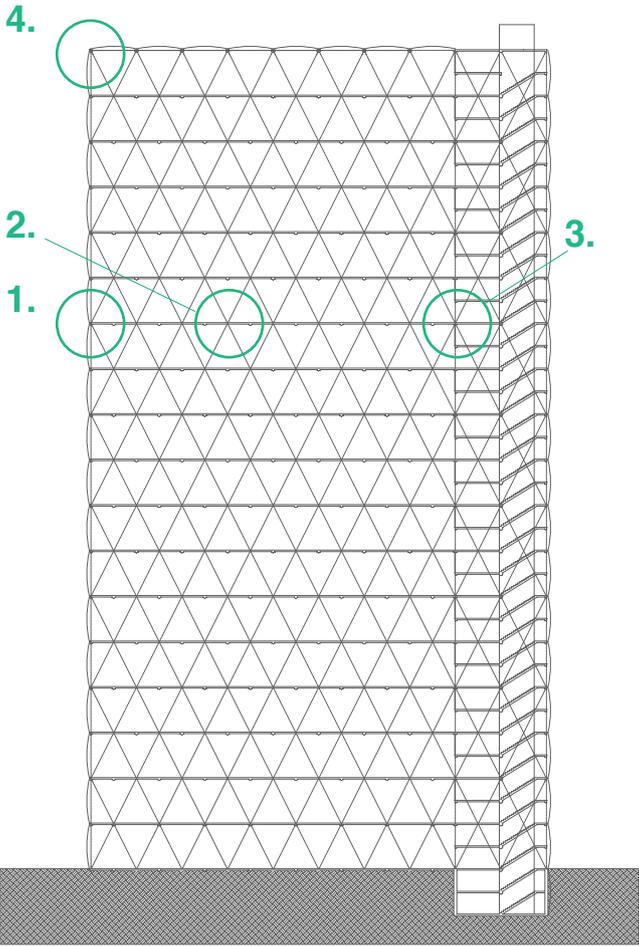
M 1:1000



e Ortbeton Ummantellung

ÜBERSICHT DETAILS

M 1:1000

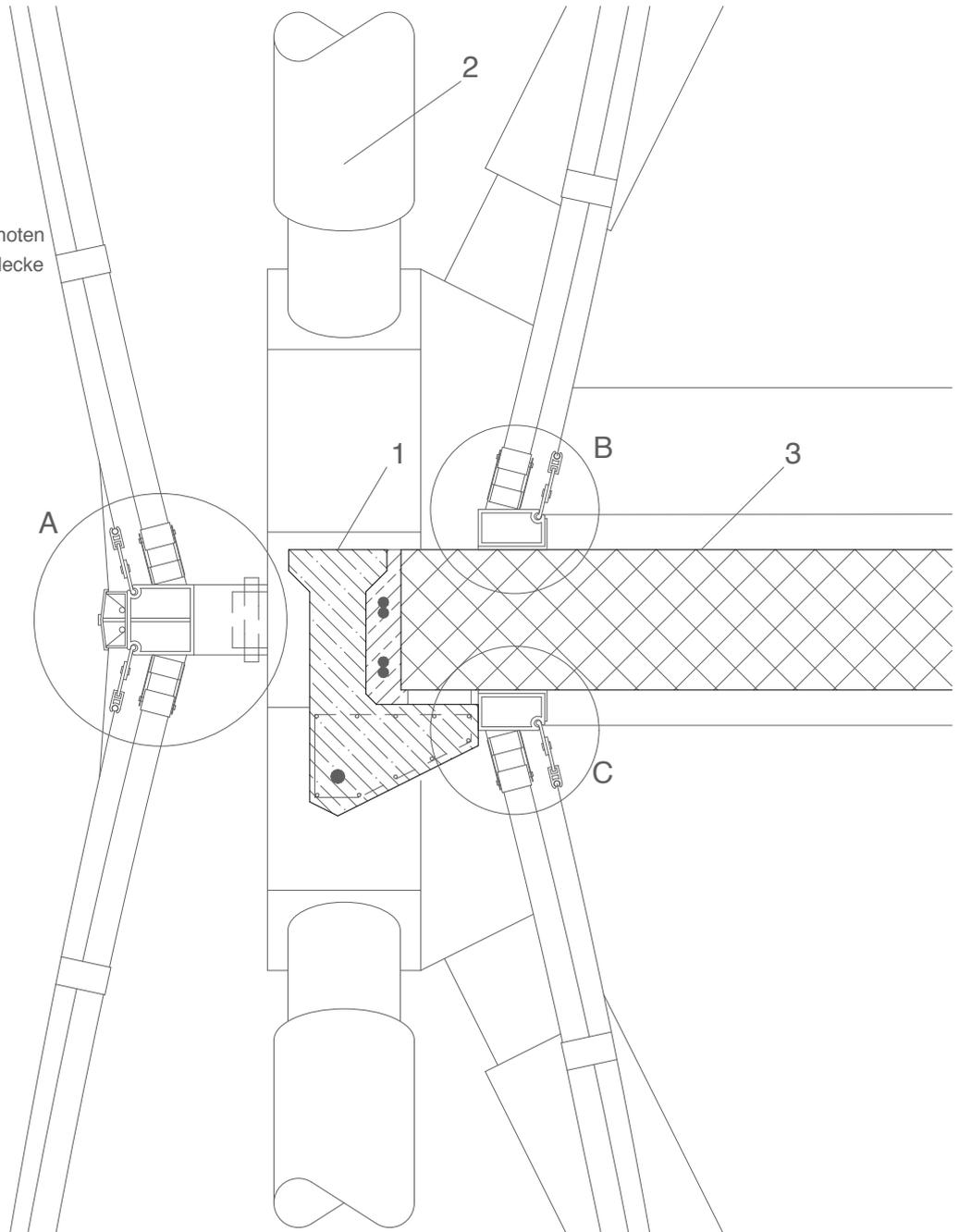


DETAIL 1

M 1:10

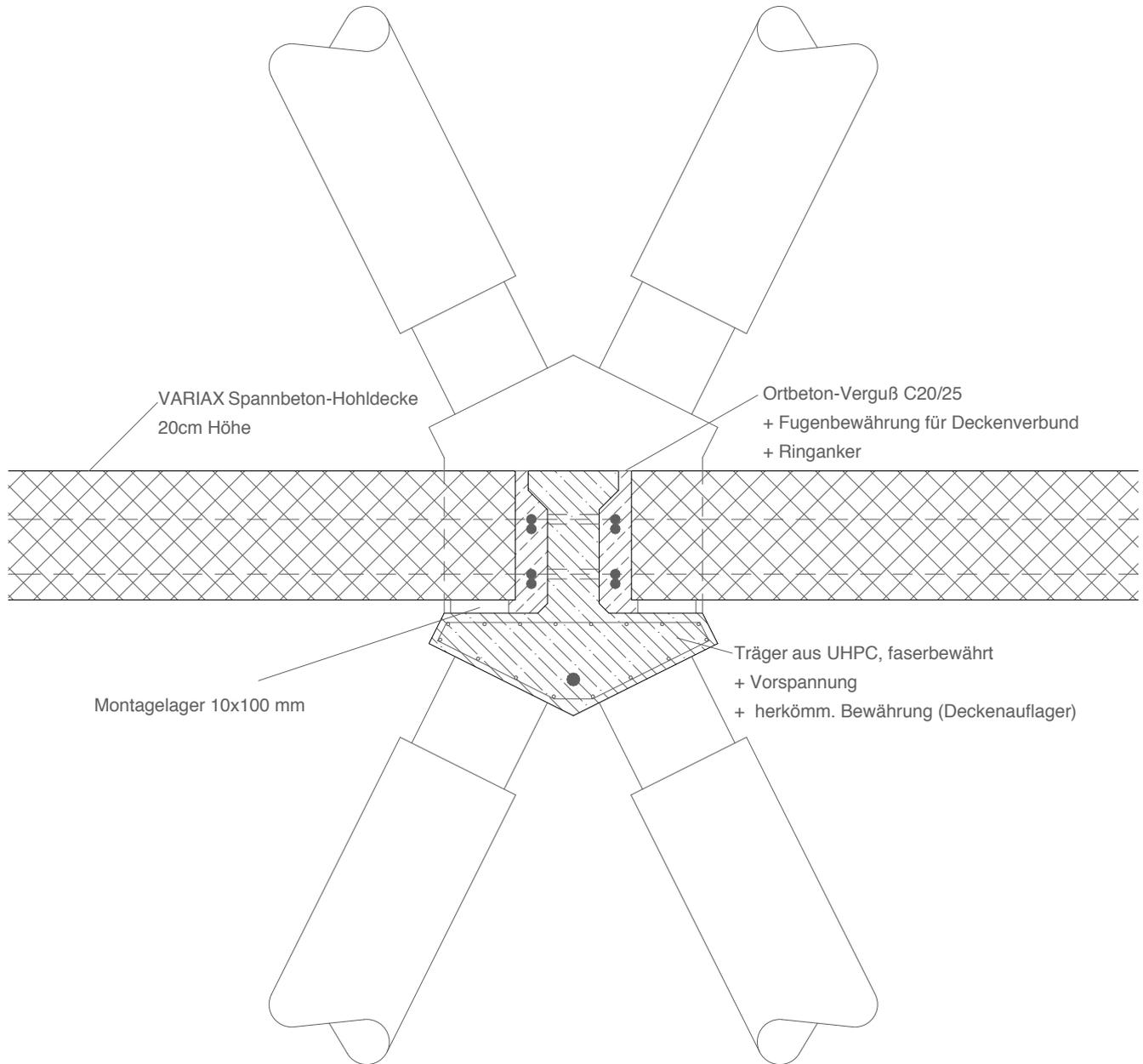
A ETFE-Detail 1
B ETFE-Detail 2
C ETFE-Detail 3

1 Träger aus UHPC mit Eck-Knoten
2 VARIAX - Spannbeton-Hohldecke
3 Bambusrohr Ø 20cm



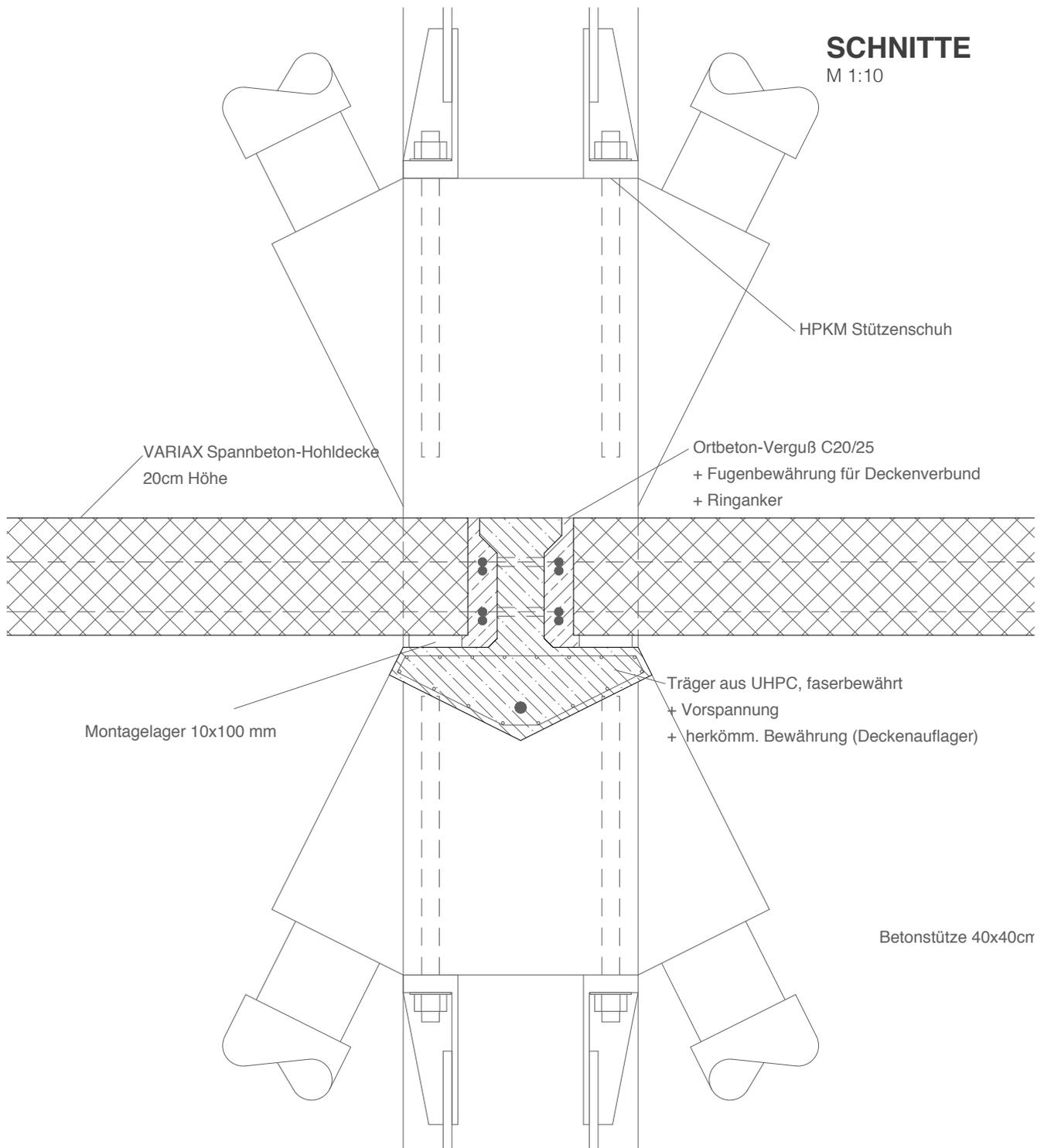
DETAIL 2

M 1:10



SCHNITTE

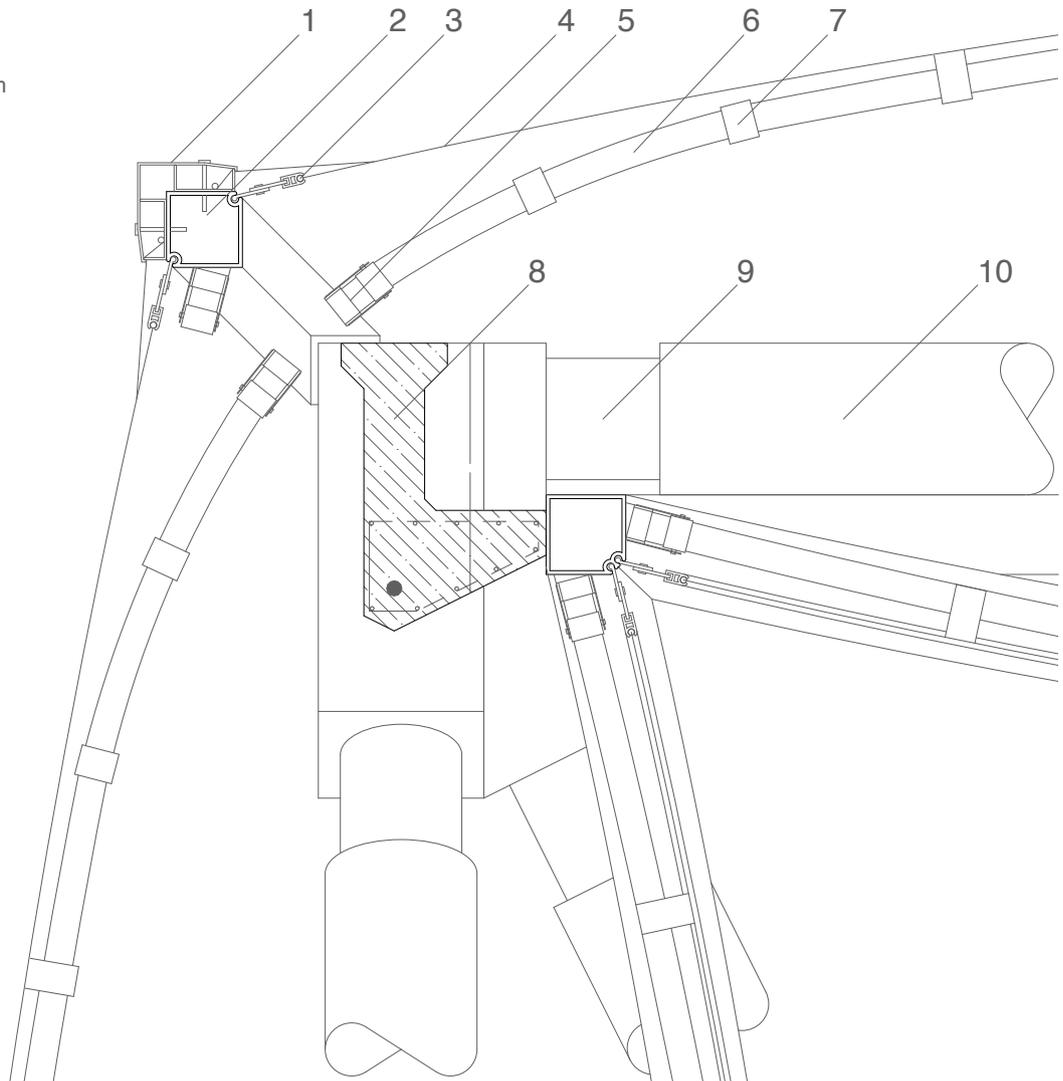
M 1:10



DETAIL3

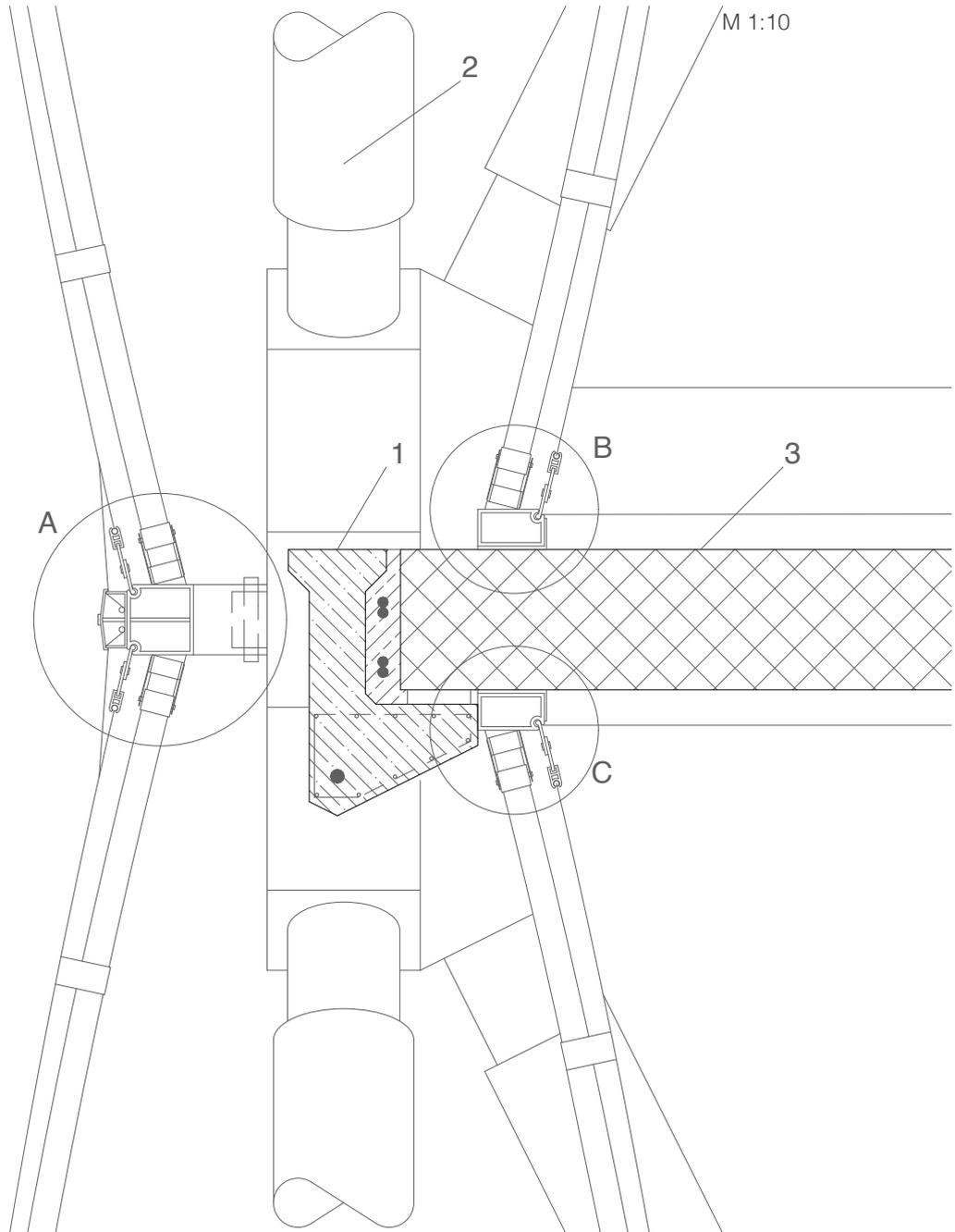
M 1:10

- 1 Blechabdeckung
- 2 10x10cm Hohlprofilträger
- 3 ETFE-Einspannung
- 4 ETFE-Folie
- 5 Schuh für Bambusrohr
- 6 Bambusrohr DM 4cm
- 7 Schlaufe aus ETFE für Bambusrohr
- 8 Träger aus UHPC
- 9 Betonummantelung
- 10 Bambusrohr DM 20cm



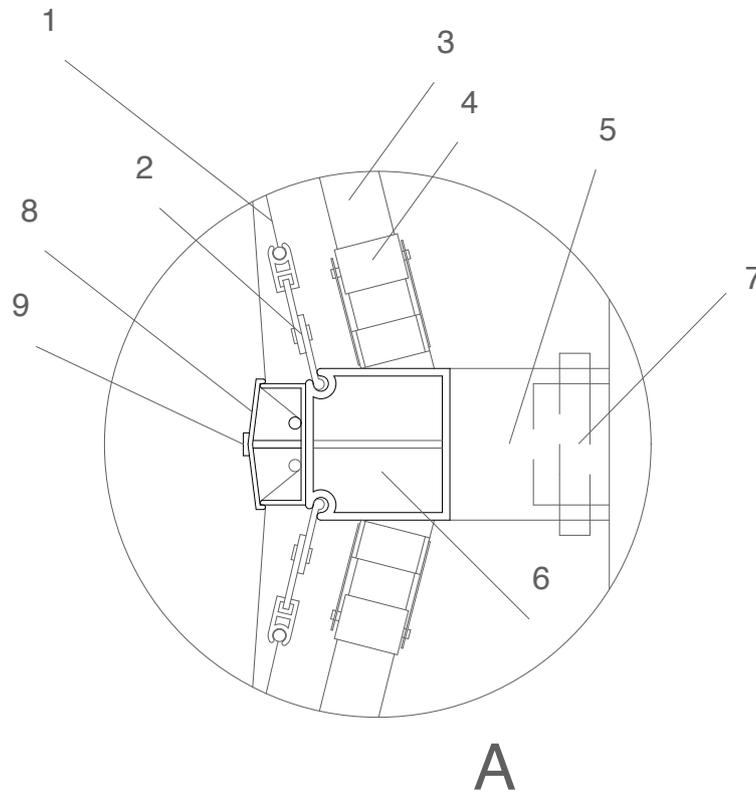
ÜBERSICHT FASSADENDETAIL

M 1:10



FASSADENDETAIL A

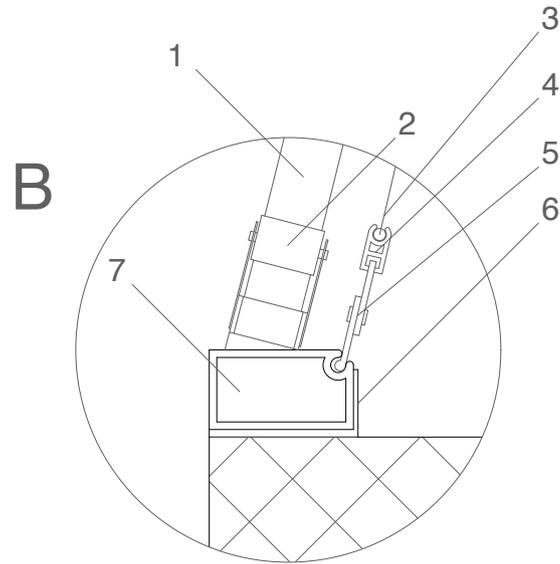
M 1:5



- 1 ETFE-Folie, 2 ETFE-Klemmprofil, 3 Bambusrohr \varnothing 4cm, 4 Steckschuh für Bambusrohr,
5 Stahlhohlprofil 10x10cm, 6 Rahmenprofil 10x10cm, 7 Stützenfuß inkl. Befestigung,
8 Abdeckblech, 9 Verankerung

FASSADENDETAIL B

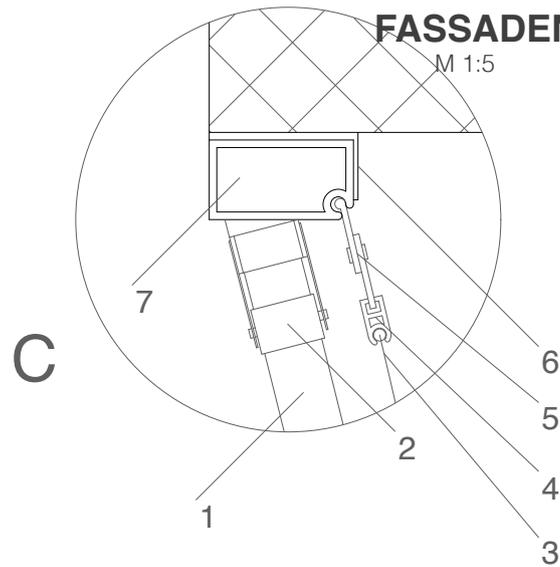
M 1:5



- 1 Bambusrohr,
- 2 Steckschuh für Bambusrohr inkl. Klemme
- 3 ETFE-Folie
- 4 ETFE-Klemmprofil
- 5 Klemmprofil-Nachspanner
- 6 L-Winkel
- 7 Rahmenprofil 6x10cm

FASSADENDETAIL C

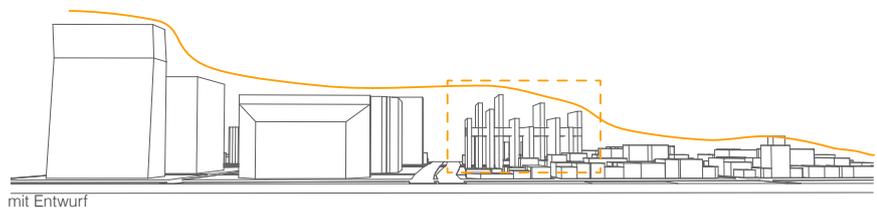
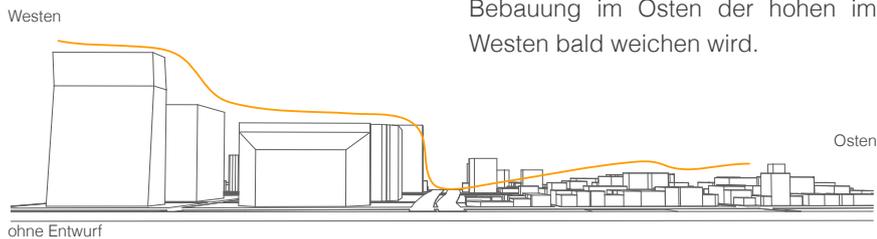
M 1:5



6. Konklusion

Schlussfolgerung

Wer finanziert so ein Projekt? Es war uns von Anfang klar, dass ein Farm-Gebäude dieser Art keinen herkömmlichen Weg der Finanzierung beschreiten würde. Das Grundstück befindet sich nahe dem Zentrum von Seoul, in einem sehr aufstrebenden Viertel, wo etwa die Satellitenbilder auf Google Maps oder Bing! Maps Unterschiede im Fortschritt der Bebauung zeigen. Ganz klar lässt sich ablesen, dass die tiefgeschossige Bebauung im Osten der hohen im Westen bald weichen wird.



Hinzu kommt, dass ein Landwirtschaftsgebäude in dieser Lage sich für Investoren nie gegenüber einem Büro- oder Wohngebäude durchsetzen kann, da der Gemüsemarkt nicht sonderlich gewinnbringend ist. Selbst importiertes Gemüse ist bereits auf einem sehr günstigen Preisniveau.

Auch die Biomarken sind trotz eines höheren Preises noch immer weniger gewinnbringend als Mieteinnahmen. Somit gäbe es eigentlich nur noch zwei verbleibende Szenarien, in denen ein Gebäude dieser Art eine Chance auf Realisierung hätte: Ein wohlwollender Spender setzt es sich in den Kopf, oder aber um in ferner Zukunft, wenn kein Platz mehr für Landwirtschaft in herkömmlicher Weise vorhanden ist, tatsächlich den Bedarf an Gemüse zu decken.

Doch das will nicht heißen, dass das Gebäude ohne Sinn wäre! Unser Ansatz für einen Entwurf dieser Art ist der Appell an Fortschritt und Forschung. Das Gebäude könnte als Messeprototyp fungieren und den Weg für hybrides Bauen bereiten. Hochhäuser mit eigenem Gemüsegarten. Der vertikale Schrebergarten. Auch wenn es auf den ersten Blick etwas lächerlich klingt, so ist zumindest im Wohnbau eine immer stärkere Nachfrage nach großen Balkonen und Grünflächen festzustellen. Der Wunsch nach dem Einfamilienhaus im Grünen ist in weiten Kreisen der Bevölkerung nach wie vor stark vertreten. In Seoul wurde sogar ein künstlicher Fluss angelegt, der nicht einmal einen natürlichen Wasserkreislauf hat. Gebäude wie unsere vertikale Farm sind politische oder gemeinnützige Werke, die das Stadtbild verbessern sollen und dies auch könnten.

Abgesehen von den Baukosten wäre man bei der Instandhaltung zum

Beispiel flexibel. Geschosse können verpachtet werden. Der Trend des "rooftop-gardening" ist schon da, seit es Städte gibt. Auch das Bewusstsein für ökologisch angebautes Gemüse ist gestiegen. Zusammengefasst könnte man unseren Entwurf als "Marktplatz am Bauernhof" bezeichnen. Die anliegenden Bewohner können auf diesen vertikalen Feldern Gemüse ziehen – ob für den Eigenbedarf oder den Verkauf, die Entscheidung obliegt dem Pächter.

Das Knowhow für "do it yourself"-hydroponisches Anbauen ist überall im Internet verfügbar. Es gibt eigene Anleitungen, wie man sich günstig aus Baumarktartikeln eine hydroponische Farm baut. Die Hausverwaltung des Gebäudes könnte gewisse Bausätze anbieten. Eigenwerbung entsteht von selbst. Durch die schlanke Bauform und die interessante Präsenz des Gebäudes wird Neugier geweckt. Der botanische Garten ermöglicht der Öffentlichkeit auch noch zusätzlich einen tieferen Einblick in das Geschehen. Das Baumaterial Bambus ist zwar in asiatischen Gebieten weder neu noch selten, jedoch gibt es nach wie vor keinen Hochbau aus Bambus. Bambus ist ein sehr schnell wachsendes Baumaterial. Vor allem Arten wie der *Dendrocalamus Giganteus*, der so um die 21 Zentimeter pro Tag wächst und eine Höhe von 40 Metern erreicht, ist ein ernstzunehmendes Material. Leider gibt es noch kaum Messwerte der Materialeigenschaften von Bambusstäben in größeren

Dimensionen. Bambus hat seine Vorteile und Nachteile. Aber wie schon die Idee hinter der vertikalen Farm ist es auch hier der Ansatz von Neugier und Forschungsfreude gewesen, der uns zur Wahl dieses Baumaterials bewog.

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass so ein Gebäude durchaus seine Daseinsberechtigung hätte. Wo herkömmliche Investoren absagen, könnten die öffentliche Hand und/oder genossenschaftliche Institutionen die Lücke füllen. Es ist ja schlussendlich auch im Sinne der Forschung, einen Schritt in Richtung vertikale Anbausysteme oder die Nutzung neuer Baumaterialien (vor allem nachwachsender) zu gehen und nicht beim Herkömmlichen zu bleiben. Forschung ist schließlich Bewegung und nicht Stillstand.

Literaturverzeichnis

- 1: Wikipedia, Südkorea, de.wikipedia.org/wiki/Südkorea, 10.03.2014
- 2: Wikipedia, Wirtschaft Südkoreas, de.wikipedia.org/wiki/Wirtschaft_Südkoreas, 10.03.2014
- 3: Spiegel Online, F. Kretschmer, M. E. Kollenberg: Kampf gegen Welthunger: Ackerbau im Wolkenkratzer, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/kampf-gegen-welthunger-ackerbau-im-wolkenkratzer-a-773724.html>, 18.07.2011
- 4: Wikipedia, Seoul, de.wikipedia.org/wiki/Seoul, 10.03.2014
- 5: Superskyscraper, Vertical Farm & Botanical Garden SkyScraper - Seoul, <http://superskyscraper.com/viewResultscat.asp?id=10001>, 15.05.2013
- 6: Wikipedia, Vertical Farming, http://de.wikipedia.org/wiki/Vertical_Farming, 07.11.2013
- 7: Despommier, Dickson ; Carter, Majora: The Vertical Farm - Feeding the World in the 21st Century. Picador 2011. ISBN: 978-1-429-94604-9
- 8: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Hydrokultur, <http://hydrokultur-info.de/hydrokultur>, 03.03.2014
- 9: Wikipedia, Hydrokultur, de.wikipedia.org/wiki/Hydrokultur, 03.03.2014
- 10: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Vorzüge von hydro, <http://hydrokultur-info.de/vorzuege-von-hydro>, 03.03.2014
- 11: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Nachteile, <http://hydrokultur-info.de/nachteile>, 03.03.2014
- 12: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Hydro Substrate, diverse Unterseiten: <http://hydrokultur-info.de/>, 03.03.2014
- 13: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Methoden, <http://hydrokultur-info.de/methoden>, 03.03.2014
- 14: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Ebbe und Flut, <http://hydrokultur-info.de/ebbe-und-flut>, 03.03.2014
- 15: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Aeroponik, <http://hydrokultur-info.de/aeroponik>, 03.03.2014
- 16: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Deep Water Cultivation, <http://hydrokultur-info.de/deep-water-culture>, 03.03.2014
- 17: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Durchlauf-Lösungs-Kultur, <http://hydrokultur-info.de/durchlauf-losungs-kultur>, 03.03.2014
- 18: Wikipedia, Tropfbewässerung, de.wikipedia.org/Tropfbewässerung, 03.03.2014
- 19: Hydroponics, Aeroponics und NFT Informationen - Alles über Hydrokultur, Aquaponik, <http://hydrokultur-info.de/aquaponik>, 03.03.2014
- 20: Wikipedia, Aquaponik, de.wikipedia.org/Aquaponik, 03.03.2014
- 21: Wikipedia: Gewächshaus, de.wikipedia.org/Gewächshaus, 03.03.2014
- 22: Wikipedia: Biogasanlage, de.wikipedia.org/Biogasanlage, 18.03.2014
- 23: Planet Biogastechnik 2014, www.planet-biogas.com/biogas/nutzungspfade/, 18.03.2014
- 24: Minke Gernot, Building with Bamboo, Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhauser 2012, ISBN: 978-3034607483

- 25: Wikipedia, Bambusa, de.wikipedia.org/wiki/Bambusa, 01.03.2014
- 26: Wikipedia, Chusquea, de.wikipedia.org/wiki/Chusquea, 01.03.2014
- 27: Wikipedia, Dendrocalamus giganteus, de.wikipedia.org/wiki/Dendrocalamus_giganteus, 20.01.2014
- 28: Wikipedia, Gigantochloa, en.wikipedia.org/wiki/Gigantochloa, 20.01.2014
- 29: Wikipedia, Guadua, de.wikipedia.org/wiki/Guadua, 20.01.2014
- 30: Wikipedia, Phyllostachys, de.wikipedia.org/wiki/Phyllostachys, 20.01.2014
- 31: Wikipedia, Rhizom, de.wikipedia.org/wiki/Rhizom, 20.11.2013
- 32: Mechanische Eigenschaften von Bambus - Entwerfen mit Bambus, <http://bambus.rwth-aachen.de/de/Referate/mecheigBambus/index.html>, 17.01.2014
- 33: K-J. Hüttemann, Holz als Roh- und Werkstoff, 1989
- 34: Gernot Minke, Building With Bamboo - Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhauser 2012, ISBN: 978-3034607483
- 35: DuPont Fluoroproducts - Tefzel Properties Handbook, 2009 www.cable-ties.com/catalog/pdfs/tefel.pdf, 09.03.2014
- 36: AB Archiv des Badewesens, Planung - Bäderbau, Neues Bauen mit ETFE-Folien, 04/2009, http://dyana.de/fileadmin/dyana/Downloads/NeuesBauenETFE_1.pdf, 10.03.2014
- 37: NPCA White Paper - Ultra High Performance Concrete - Guide to manufacturing architectural precast UHPC elements, 2013, www.precast.org/wp-content/uploads/2011/05/NPCA-ultra-high-performance-concrete.pdf, 19.03.2014
- 38: Wikipedia, Ethylen-Tetrafluorethylen <http://de.wikipedia.org/wiki/Ethylen-Tetrafluorethylen>, 27.02.2014
- 39: Wikipedia, Alpinum, <http://de.wikipedia.org/wiki/Alpinum>, 12.11.2013
- 40: Wikipedia, Tropicarium, <http://de.wikipedia.org/wiki/Tropicarium>, 12.11.2013
- 41: Wikipedia, Botanischer Garten, http://de.wikipedia.org/wiki/Botanischer_Garten, 12.11.2013
- 42: Ceno Tec, ETFE-Folien, 2014, http://www.sattler-ag.com/sattler-web/static/media/pdf/Download_ETFE-Folien.pdf, 20.03.2014
- 43: ZinCo Dachbegrünung, 2013, http://www.zinco.de/systeme_gruendach/index.php, 12.11.2013

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1: Karte von Südkorea inkl. Bevölkerungsdichte, (15.03.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/South_Korea_Population_Density.png
- Abb. 2: Topographie Südkorea, (15.03.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Satellite_image_of_South_Korea_in_January_2004.jpg
- Abb. 3: Reisfeld in Südkorea, (15.03.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Rice_fields_in_south_korea.jpg
- Abb. 4: Stadtzentrum Seoul (15.03.2013)
<http://static.panoramio.com/photos/large/20762827.jpg>
- Abb. 5: Klimadaten Seoul (Bildschirmaufnahme vom 15.03.2013)
<http://de.wikipedia.org/wiki/Seoul>
- Abb. 6: Changdeokgung Palast - Seoul (15.03.2013)
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Changdeokgung-Injeongjeon.jpg>
- Abb. 7: Samsung Hauptquartier (15.03.2013)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Samsung_headquarters.jpg
- Abb. 8: Karte von Seoul (Bildschirmaufnahme vom 15.03.2013)
<https://www.google.at/maps/place/Seoul/>
- Abb. 9: Cheonggyecheon (15.03.2013)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cheonggyecheon_Dongdaemun_concert.jpg
- Abb. 10: Cheonggyecheon (15.03.2013)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheonggyecheon_an_night_2.jpg
- Abb. 11: Bauplatz - Google Streetviewaufnahme (15.03.2013)
https://www.google.at/maps/@37.566807,126.987491,3a,75y,16.36h,78.65t/data=!3m4!1e1!3m2!1s4Fgk_IDVRmKHPHJir2V13g!2e0
- Abb. 12: Bauplatz -Streetviewaufnahme (15.03.2013)
<https://www.google.at/maps/@37.568347,126.987536,3a,90y,148.78h,85.45t/data=!3m4!1e1!3m2!1skwG9hSle95aOPpUoJallMw!2e0>
- Abb. 13: Wettbewerbsauslobung (06.06.2013)
http://www.superskyscrapers.com/\img\results\2013\SL\VerticalFarm_SL.jpg
- Abb. 14: Vergleich Linearwirtschaft / Kreislaufwirtschaft (01.03.2014)
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Produktionsketten.png>
- Abb. 15: Farming im Büro (20.03.2014)
<http://i1.wp.com/morfae.com/content/wp-content/uploads/2013/09/15-Luca-Vignelli.jpg?fit=1680%2C1680>
- Abb. 16: Krisensituationen der Ernährungssicherheit
Despommier, Dickson ; Carter, Majora: The Vertical Farm - Feeding the World in the 21st Century. New York: Picador, 2011. ISBN: 978-1-429-94604-9, Bildeinfassung 1, Seite 2.
- Abb. 17: Bedarf an Agrarfläche bei steigender Bevölkerung
Despommier, Dickson ; Carter, Majora: The Vertical Farm - Feeding the World in the 21st Century. New York: Picador, 2011. ISBN: 978-1-429-94604-9, Bildeinfassung 1, Seite 1.

- Abb. 18: VertiCrop System (13.03.2014)
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:VertiCrop.jpg>
- Abb. 19: Hydroponic System - NFT (11.06.2013)
http://25.media.tumblr.com/tumblr_llmsut4EoH1qansb5o1_1280.jpg
- Abb. 20: Blähton (08.01.2014)
<http://hydrokultur-info.de/wp-content/uploads/2010/11/hydro-ton.jpg>
- Abb. 21: Steinwolle (08.01.2014)
<http://hydrokultur-info.de/wp-content/uploads/2010/11/28050A.jpg>
- Abb. 22: Perlit (08.01.2014)
<http://hydrokultur-info.de/wp-content/uploads/2010/11/perlite-perligran.jpg>
- Abb. 23: Kokosfaser (08.01.2014)
<http://www.holzfaser.org/service/presse/media/VHD-PM-13-04-5.jpg>
- Abb. 24: Vermiculit (08.01.2014)
<http://hydrokultur-info.de/wp-content/uploads/2010/11/Vermiculit.jpg>
- Abb. 25: Ziegelsteinscherbe (08.01.2014)
<http://www.epicgardening.com/wp-content/uploads/2011/08/brick-shards-hydroponic-media.jpg>
- Abb. 26: Sand (08.01.2014)
http://www.just4growers.com/media/1618/sand_hydroponic_growing_media.jpg
- Abb. 27: Tomatenzucht in Hydrokultur mit Tropfsystem (20.02.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/ Tomato_P5260299b.jpg
- Abb. 28: Denitrifikation - von Fischkot zu Nährstoffen (04.03.2014)
www.senfborg.de/wp-content/uploads/2012/04/Denitrifikationsstufen_800.jpg
- Abb. 29: Fischzucht in Kombination mit Salatpflanzen (04.03.2014)
<http://hydrokultur-info.de/wp-content/uploads/2010/11/aquaponics.jpg>
- Abb. 30: Gewächshaus (18.03.2014)
www.cmf-groupe.com/uploads/images/Gallery/cmf_cultures/serres-verre/054.jpg
- Abb. 31: Biogasanlage (21.03.2014)
<http://www.economiesolidaire.com/wp-content/uploads/2013/08/M%C3%A9thanisation-M%C3%A9thaniseur.jpg>
- Abb. 32: Caliber Biotherapeutics (25.10.2013)
<http://www.caliberbio.com/images/plant-based4.jpg>
- Abb. 33: Caliber Biotherapeutics (25.10.2013)
<http://www.caliberbio.com/images/Caliber-slider2.jpg>
- Abb. 34: SkyGreens (25.10.2013)
http://media.npr.org/assets/img/2012/11/08/towerstoned2_custom-68cbb7552b69de9037d7445da3ad2a19dcca8850-s6-c30.jpg
- Abb. 35: The Plant Chicago - Diagramm (25.10.2013)
http://www.plantchicago.com/wp-content/uploads/2011/03/ThePlantDiagram_mini.jpg
- Abb. 36: The Plant Chicago - Innen (25.10.2013)
<http://volumeproject.org/wp-content/uploads/sites/2/2012/07/The-Plant-Chicago-2-480x318.jpg>

- Abb. 37: Farmed Here (03.11.2013)
<http://3x39fmt0aja34zifn4695x.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2013/10/FarmedHere.jpg>
- Abb. 38: Vertical Farm Prototyp Suwon (14.01.2014)
<http://media.treehugger.com/assets/images/2011/10/lettuce-inside.jpg>
- Abb. 39: Gewächshaus mit Salatanbau als Hydroponiksystem (27.02.2014)
<http://idroponica.myblog.it/media/00/00/2125742331.jpg>
- Abb. 40: Bambus Bambosa (21.02.2014)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bambusa_oldhamii_joint.jpg
- Abb. 41: Bambus Chusquea (21.02.2014)
http://www.exotic-plants.de/auktionsbilder/Chusquea_culeou2.jpg
- Abb. 42: Bambus Dendrocalamus (21.02.2014)
http://bambooweb.info/images/bamboo/d_giganteus_charles_teh.jpg
- Abb. 43: Bambus Gigantochloa (21.02.2014)
[http://1.bp.blogspot.com/-jVcNv8mApuA/T-fL_uHexFI/AAAAAAAAAFIM/Yqu0yHUQXG8/s1600/Gigantochloa-apus_habit_\(FMXG\).JPG](http://1.bp.blogspot.com/-jVcNv8mApuA/T-fL_uHexFI/AAAAAAAAAFIM/Yqu0yHUQXG8/s1600/Gigantochloa-apus_habit_(FMXG).JPG)
- Abb. 44: Bambus Guadua (21.02.2014)
<http://img.webme.com/pic/g/guaduaybambu/bamboo.jpg>
- Abb. 45: Bambus Phyllostachys (21.02.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Bamboo_forest.jpg
- Abb. 46: Bambus-Rhizom mit einem frischen Trieb (22.02.2014)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bamboo_Rhizome_02.jpg
- Abb. 47: Regalkonstruktion für Pflanzentröge aus Bambusstäben (22.02.2014)
<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2012/02/Green-Wall-MMW-2.jpg>
- Abb. 48: Baugerüst aus Bambusstäben (22.02.2014)
http://farm4.staticflickr.com/3501/5706464639_da6d5c1fee_o.jpg
- Abb. 49: Bambus sortieren (22.02.2014)
<http://bambus.rwth-aachen.de/de/Referate/Stamm/bilder/sortieren2.JPG>
- Abb. 50: Bambus trocknen (22.02.2014)
<http://www.designboom.com/contemporary/bamboo/06.jpg>
- Abb. 51: Konservierungsbecken (22.02.2014)
<http://www.guaduabamboo.com/images/bamboo-preservation-header.jpg>
- Abb. 52: Schnellkonservierung (22.02.2014)
http://www.panyaden.ac.th/construction-blog/wp-content/uploads/2011/01/dsc_0063.jpg
- Abb. 53: Beschleunigte Lufttrocknung (22.02.2014)
<http://www.guaduabamboo.com/images/drying-bamboo-poles-header.jpg>
- Abb. 54: ETFE Fassade (25.02.2014)
<http://news.zhulong.com/database/news/2013/12/12/183911420.jpg>
- Abb. 55: ETFE-Folie Detail (25.02.2014)
http://www.presidentsmedals.com/showcase/2003/l/1199_14.jpg
- Abb. 56: ETFE-Fassadendetail (25.02.2014)
<http://cdn.archinect.net/images/1200x/t2/t2jr1mmfhe3ve9to.jpg>

- Abb. 57: Simulationsergebnisse und Prognosen zu U-Werten von Folienkissen. (12.2013)
Planung - Bäderbau | AB Archiv des Badewesems 04/2009 - Neues Bauen
mit ETFE-Folien, Seite 16: [http://dyana.de/fileadmin/dyana/Downloads/
NeuesBauenETFE_1.pdf](http://dyana.de/fileadmin/dyana/Downloads/NeuesBauenETFE_1.pdf)
- Abb. 58: Eden Project, Cornwall (27.02.2014)
http://www.tensinet.com/project_files/4403/CIMG1673-2.jpg
- Abb. 59: "Water Cube" - Peijing National Aquatics Center (27.02.2014)
[http://www.stylepark.com/db-images/cms/vector_foiltec/img/
p299933_2200_1515-1.jpg](http://www.stylepark.com/db-images/cms/vector_foiltec/img/p299933_2200_1515-1.jpg)
- Abb. 60: Perforiertes Betonelement aus UHPC (18.03.2014)
<http://www.baunetzwissen.de/imgs/8/5/5/4/8/7/d84de184160f4616.jpg>
- Abb. 61: Eden Project, Cornwall (27.02.2014)
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Eden_project_tropical_
biome.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e6/Eden_project_tropical_biome.jpg)
- Abb. 62: Arboretum, Botanischer Garten Montreal (27.02.2014)
<http://bbqboy.net/wp-content/uploads/2013/06/indoor-greenhouse.jpg>
- Abb. 63 - 65: Eden Project, Cornwall (alle 27.02.2014)
[http://grimshaw-architects.com/media/cache/4a/ff/4affaddf11dc501be80591013
9590a41.jpg](http://grimshaw-architects.com/media/cache/4a/ff/4affaddf11dc501be805910139590a41.jpg)
<http://wellywoman.files.wordpress.com/2012/10/dsc09772.jpg>
http://www.flourishonline.org/wp-content/uploads/2011/01/IMG_5987.jpg
- Abb. 66: Bambusknoten, (20.03.2014)
<https://idw-online.de/pages/de/newsimage?id=135349&size=screen>

