

Diplomarbeit

Forschungs- und Informationseinrichtung für den Einsatz von Phytoextraktion, errichtet in Passivhaus Technologie

ausgeführt zum Zwecke der
Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von
Univ.Prof.Arch.DI Dr.techn. Martin Treberspurg
am
Institut für konstruktiven Ingenieurbau (H 875)
Department Ressourcenorientiertes Bauen
Universität für Bodenkultur Wien

eingereicht an der
Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Alexander Lugmayr

E600 / 9926457

Allerheiligen 83

4320 Perg

Wien, im Juni 2006

Unterschrift

Kurzfassung

Kernthema der vorliegenden Arbeit ist die Bodensanierungsmethode der Phytoextraktion. Hierbei werden Pflanzen eingesetzt, die Schadstoffe aus dem Boden aufnehmen und in ihrer Biomasse speichern können. Obwohl diese neuartige und vielversprechende Technologie durchaus schon reif für die Anwendung ist, ist noch erheblicher Forschungsaufwand nötig um die Ergebnisse zu optimieren.

Der theoretische Teil befasst sich zu Beginn mit der Altlastenproblematik und beschreibt das Gefährdungspotential und die Dimensionen mit dem Hauptaugenmerk auf Österreich. Danach wird nach einer Analyse der gängigen Sanierungsmethoden die Phytoextraktion als alternative Methode vorgestellt. Im Sinne einer nachhaltigen Bodenqualitätssicherung folgt eine Beschreibung des kreislauforientierten Wassermanagements im Vergleich zur konventionellen Abwasserentsorgung.

Im nächsten Abschnitt wird auf das Thema des nachhaltigen Bauens eingegangen. Hier werden die Kleinklima bestimmenden Faktoren angeführt und Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Kleinklima eines Standortes positiv beeinflusst werden kann. Weiters wird die Passivhaus Technologie in ihren Grundzügen erläutert.

Der Entwurf beschreibt ein Gebäude gebaut in Passivhaus Technologie, indem nach der Methode der Phytoextraktion geforscht werden kann und von wo ausgehend diese Technologie auch zu Sanierungszwecken angewandt wird.

Abstract

The main topic of the given work is the remediation method of phytoextraction. At this plants are used that are able to take up pollutants out of contaminated soil and store them in their biomass. Although this new and promising technology already is mature to be executed, there is still a lot of research needed to optimize the results.

The theoretical part first deals with the problem of waste deposits and describes the biohazard potential and the dimensions with a focus on the situation here in Austria. Next, after an analysis of common remediation methods, the method of phytoextraction is presented as an alternative possibility. In terms of a sustainable soil quality assurance a description of a loop orientated water management in comparison to the conventional wastewater disposal is following.

The next part elaborates the topic of sustainable construction. Here the factors that determine the micro climate are instanced and options to influence the micro climate of a site in a positive way are shown. Furthermore the passive house technology is explained in its main feathures.

The designed project describes a building built in passive house technology where the method of phytoextraction can be further investigated and where the treatment of contaminated soil with this technology originates.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern Johann und Renate bedanken, die mir das Studium der Architektur durch ihre finanzielle Unterstützung und ihre positive Einstellung ermöglicht haben.

Meinem Betreuer Univ.Prof.Arch.DI Dr.techn. Martin Treberspurg danke ich für die netten Gespräche sowie für die Unterstützung und gute Zusammenarbeit im Rahmen dieser Diplomarbeit.

Weiters danke ich Dipl. Ing. Roman Smutny für sein konstruktives Feedback.

Besonderer Dank gilt auch Dr. Markus Puschenreiter für seine engagierten Erläuterungen zum Thema Phytoremediation.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1 Motivation als Architekt | 7 |
| 1.2 Ziele und Fragestellung..... | 8 |
| 2. Altlasten – Probleme und Potentiale | 9 |
| 2.1 Das Problem und seine Ursachen | 10 |
| 2.2 Die Gefährdung | 11 |
| 2.3 Die Dimensionen | 12 |
| 2.4 Mögliche Potentiale..... | 13 |
| 2.4.1 Revitalisierung | 13 |
| 2.4.2 Positive Beispiele | 13 |
| 2.4.3 Hemmnisse und Barrieren | 14 |
| 3. Altlastensanierung | 15 |
| 3.1 Konventionelle Sanierungsmethoden..... | 16 |
| 3.2 Kritik an diesen Methoden | 18 |
| 3.3 Die Phytoremediation..... | 18 |
| 3.4 Arten der Phytoremediation | 19 |
| 4. Die Phytoextraktion | 20 |
| 4.1 Vorteile der Phytoextraktion | 21 |
| 4.2 Einschränkungen von Phytoextraktion..... | 22 |
| 4.3 Vergleich der Phytoextraktion zu anderen Technologien | 23 |
| 4.4 Derzeitiger Stand der Forschung | 25 |
| 4.5 Einflüsse auf den Entwurf..... | 27 |
| 4.5.1 Ablauf einer Behandlung mit Phytoextraktion mit z.B. Weiden und Pappeln..... | 27 |
| 4.5.2 Benötigte Infrastruktur und Geräte..... | 28 |
| 4.5.3 Standort..... | 29 |
| 5. Wasser- und Nährstoffkreisläufe | 30 |
| 5.1 Konventionelle Abwasserentsorgung..... | 31 |
| 5.2 Kreislauforientiertes Wassermanagement..... | 32 |
| 5.3 Förderung kreislauforientierter Abwassersysteme | 34 |
| 5.4 Projektbeispiele | 37 |
| 5.4.1 solarCity Linz..... | 37 |
| 5.4.2 Pilotprojekt Lambertmühle zu Burscheid | 38 |
| 5.4.3 Ökologische Wohnsiedlung Lübeck – Flintenbreite | 39 |

| | |
|--|-----|
| 6. Nachhaltiges Bauen | 40 |
| 6.1 Kleinklima..... | 42 |
| 6.1.1 Oberflächenart..... | 42 |
| 6.1.2 Geländeform..... | 43 |
| 6.1.3 Windverhältnisse..... | 44 |
| 6.1.4 Niederschläge..... | 45 |
| 6.1.5 Wasserflächen..... | 45 |
| 6.1.6 Vegetation | 46 |
| 6.1.7 Stadtklima | 48 |
| 6.2 Die Passivhaus Technologie | 49 |
| 6.2.1 Kriterien und Richtwerte | 49 |
| 6.2.2 Vorteile der Passivhaus Technologie | 50 |
| 6.2.3 Die Technologien im Detail | 53 |
| 7. Entwurfsgrundlagen | 56 |
| 7.1 Entwurfsgedanke | 57 |
| 7.2 Historische Entwicklung barocker Orangerien und Gewächshäuser..... | 57 |
| 7.3 Anforderungen an den Entwurf | 61 |
| 7.4 Stilverwandte Architekturbeispiele | 63 |
| 7.4.1 Thomas Herzog: Wohnanlage in München 1979 - 1982..... | 63 |
| 7.4.2 Heinrich Eissler: Energiesparendes Studentenwohnheim in Kaiserslautern 1986..... | 64 |
| 7.4.3 LOG ID Dieter Schremp et. al.: Sektion für unfallchirurgische Forschung und Biomechanik der Universität Ulm 1989..... | 65 |
| 7.4.4 Volker Giencke: „Ödorfer“, Klagenfurt 1989 – 1992..... | 66 |
| 7.4.5 Helmut Richter: Doppelhauptschule, Wien 1994..... | 67 |
| 7.4.6 Uwe Kiessler + Partner: Technologiezentrum im Wissenschaftspark Gelsenkirchen 1995 | 68 |
| 8. Entwurf | 69 |
| 8.1 Standortbeschreibung..... | 70 |
| 8.2 Lageplan..... | 71 |
| 8.3 Baumschulflächen | 72 |
| 8.4 Grundrisse..... | 73 |
| 8.5 Querschnitt..... | 76 |
| 8.6 Ansichten | 77 |
| 8.7 Aufbau der Glasfassade | 79 |
| 8.8 Energiekonzept..... | 82 |
| 8.9 Details | 85 |
| 8.10 Visualisierung | 94 |
| 9. Bildnachweis | 99 |
| 10. Quellenverzeichnis | 103 |

1. EINLEITUNG

1.1 Motivation als Architekt

Öffentliche Projekte mit denen Architekten betraut werden versuchen meist einem Bedürfnis zu begegnen oder einen Mangel zu beseitigen. So entstehen Verkehrsbauten wie Flughäfen, Bahnhöfe und dergleichen aus dem Bedürfnis der Menschen nach Mobilität, Krankenhäuser und Kurzentren decken den Wunsch nach Heilung und Erholung, Kulturbauten wie Museen und Theater bereichern das Freizeitangebot und tragen zur Bildung der Bevölkerung bei,...

Der Architekt steht somit im Dienst der Öffentlichkeit und hat die ihm anvertrauten Angelegenheiten laut seinem geleisteten Eid „nach bestem Wissen und Gewissen“ zu besorgen.

Neben Wasser, Luft und Sonnenlicht gehört fruchtbarer Boden zu den natürlichen und unverzichtbaren Lebensgrundlagen für Pflanzen, Tiere und Menschen. Boden ist eine knappe nicht erneuerbare Ressource, die Umweltbelastungen unterworfen ist. Damit Wohlbefinden und Wohlstand der Gesellschaft gewährleistet werden können, muss für eine saubere und gesunde Umwelt und damit auch für intakte Böden gesorgt werden.

Hierauf wird im „6. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft“ vom 22. Juli 2002 wie folgt eingegangen:

Artikel 2 Punkt 2: (Zielsetzungen des Programms sind:) *„[...] Der Schutz, die Erhaltung, die Wiederherstellung und die Entwicklung der Funktionsweise natürlicher Systeme, natürlicher Lebensräume und der wild lebenden Flora und Fauna, damit der Wüstenbildung und dem Verlust an biologischer Vielfalt einschließlich der Vielfalt genetischer Ressourcen in der Europäischen Union und weltweit Einhalt geboten wird. [...]“*

Artikel 2 Punkt 3: *„Das Programm soll sicherstellen, dass die Umweltziele, die an dem für die Umwelt zu erreichenden Ergebnissen ausgerichtet sein sollten, mit den effizientesten und geeignetsten Mitteln verwirklicht werden. [...]“*

In Österreich ist der Bodenschutz nicht durch ein einheitliches Bundesgesetz geregelt, sondern liegt in der Kompetenz der Bundesländer. Stellvertretend wird hier das „Landesgesetzblatt für das Land Salzburg, Jahrgang 2001, Nr 80“ als das jüngste Ländergesetz zitiert. Es regelt erstmals nicht nur landwirtschaftliche, sondern weitgehend alle Böden:

§ 7 Maßnahmen zur Bodenverbesserung

„(1) Werden bei Bodenuntersuchungen gegebenenfalls zusammen mit Schad- oder Nährstoffgehalten, die die gemäß §15 Abs. 3 festgesetzten Prüfwerte überschreiten, [...] festgestellt, hat die Landesregierung dem Eigentümer der betroffenen Grundfläche bodenverbessernde Maßnahmen vorzuschreiben, wenn dadurch eine entscheidende Verbesserung der Bodenfunktionen zu erwarten ist. [...]“

Das vorliegende Projekt „Forschungs- und Informationseinrichtung für den Einsatz von Phytoremediation, errichtet in Passivhaus Technologie“ versucht dem oben erwähnten menschlichen Bedürfnis nach intakten Böden, sowie den erwähnten Beschlüssen und Gesetzen gerecht zu werden...

1.2 Ziele und Fragestellung

Intakter und fruchtbarer Boden zeichnet sich durch weitgehende Schadstofffreiheit sowie durch im richtigen Maße vorhandene Nährstoffe aus.

Belastete Böden versucht man heute mit teilweise sehr kostspieligen Methoden wie Bodenwaschung, thermischer Behandlung oder mittels Chemie zu reinigen, oder aber das belastete Erdreich wird durch Bodenaustausch beseitigt und deponiert.

In der Landwirtschaft gelangen durch die derzeitige Abwasserwirtschaft die kostbaren Nährstoffe aus den Böden in die Gewässer. Folglich müssen die Felder mittels Kunstdünger behandelt werden, der in seiner Herstellung sehr energieintensiv ist und nicht selten weite Wege von seinem Produktionsort bis aufs Feld zurücklegt.

Was aber sind nun die geeignetsten und effizientesten Mittel um nachhaltig gute Bodenqualität zu gewährleisten?

Die vorliegende Arbeit versucht eine Antwort auf diese Frage zu geben.

Vor einigen Jahren wurde die Methode der Phytoremediation bekannt. Hierbei wird versucht die schadstoffbelasteten Böden mittels Pflanzen zu reinigen. Diese Methode ist sehr vielversprechend, da hier mit der Natur und nicht gegen sie gearbeitet wird.

Wie kann ein Ort aussehen wo weiter nach dieser Methode geforscht wird, und von wo ausgehend sie natürlich auch angewandt wird?

Übergeordnetes Ziel ist der Entwurf eines Gebäudes, das die Leitlinien nachhaltiger Entwicklung berücksichtigt. Hierzu gehören die Ausführung des Gebäudes in Passivhaus Technologie sowie die Achtung auf geschlossene Wasser- und Nährstoffkreisläufe.

Das Projekt soll darüber hinaus weitgehend der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, damit die angewandten Technologien und Methoden der breiten Masse vermittelt werden können...

2. ATTLASTEN – PROBLEME UND POTENTIALE

2.1 Das Problem und seine Ursachen

Schadstoffe im Erdreich

Der Eintrag von Schadstoffen ins Erdreich ist einerseits eine Folge von natürlichen und geologischen Prozessen und andererseits von menschlichen Aktivitäten.

Zu den natürlichen Prozessen gehören [1]:

- Verwitterung
- Auswaschung von Mineralien und Metallen aus Felsen
- Absetzung von Schadstoffen aus dem Grundwasser und Bodenunterschichten
- Atmosphärische Ablagerungen von vulkanischen Aktivitäten
- Transport von Kontinentalstaub

Zu den menschlichen Aktivitäten gehören [1]:

- Entsorgung industrieller Abwässer und Schadstoffe in fester oder flüssiger Form
- Ausbringen von Klärschlamm
- Absatz von Industrieabgasen
- Absatz von Verkehrsabgasen
- Verwendung von Chemie in der Landwirtschaft
- Abfallentsorgung
- Abschwemmung von Schadstoffen von Verkehrsflächen und Metalloberflächen
- Energie und Treibstoffproduktion
- Bergbau

Die Belastung der Böden durch diese menschlichen Aktivitäten ist ungleich höher als die Belastung durch die natürlichen Prozesse.

Im Folgenden werden wichtige Begriffe zu diesem Thema beschrieben.

Unter **Altablagerungen** versteht man alte oder ehemalige Deponien jeglicher Art auf denen befugt oder unbefugt Abfälle abgelagert wurden [2], die den Boden nachhaltig schädigen.

Die Ablagerung von Müll in Deponien war lange Zeit die gängigste Methode der Abfallentsorgung. Leider wurden dabei oft keine ausreichenden Maßnahmen für den Umweltschutz getroffen.

Die fortlaufende Industrialisierung sowie die Mentalität der Wegwerfgesellschaft der letzten Jahrzehnte bedingten zudem einen drastischen Anstieg der Abfallmengen sowie deren Gefährlichkeit. [3] Die Auswirkungen dieser Entsorgungspraxis treten nun nach und nach zu Tage.



Abb. 1: Altablagerung

Altstandorte oder die im englischen so genannten *Brownfields* sind Flächen ehemaliger oder stillgelegter Industrie- und Gewerbestandorte sowie das in ihrem Einfluss stehende Umland, die aufgrund der vorangegangenen Schadstoffeinträge in den Boden für eine weitere Nutzung problematisch bzw. ungeeignet sind. Die verursachenden Betriebe haben sich in der Regel aus der Verantwortung für eine Sanierung „verabschiedet“. [3,4]



Abb. 2: Brownfield

Als **Verdachtsflächen** werden Altablagerungen und Altstandorte bezeichnet, von denen vermutet wird, dass von ihnen erhebliche Gefahren für Menschen und Umwelt ausgehen könnten. [2]

Eine **Altlast** liegt dann vor, wenn aufgrund von Untersuchungen festgestellt wurde, dass von Altablagerungen und Altstandorten erhebliche Gefahren für Mensch und Umwelt ausgehen. [2]



Abb. 3: Kontamination

2.2 Die Gefährdung

Die Schadstoffe, die sich im Boden befinden, können durch weitere Prozesse in das Grundwasser oder die Luft gelangen.

Auf belasteten Böden findet sich oft durch die ungünstigen Bedingungen eine spärlichere Vegetation. Dies wiederum begünstigt die Erosion und die Verwehung, wodurch die Schadstoffe in die Luft gelangen. Weiters können die gefährlichen Stoffe durch Versickerung in das Grundwasser geleitet werden.

Durch diese Anreicherung mit Schadstoffen der Medien Boden, Wasser und Luft kann es zu erheblichen negativen Auswirkungen für die menschliche Gesundheit sowie der Fauna und Flora kommen.

Die wichtigsten Gefährdungen sind [3]:

- Verunreinigtes Grundwasser durch kontaminierte Sickerwässer
- Orale Aufnahme von Schadstoffen durch direkten Kontakt
- Inhalation von staubgebundenen, flüchtigen Schadstoffen
- Anreicherung der gefährlichen Stoffe in Nutzpflanzen, die somit in die Nahrungskette gelangen.

Nicht nur die Lebensqualität und das soziale Wohlergehen der Bürger leiden unter dieser Entwicklung. Darüber hinaus verursachen diese Bodenbelastungen und Bodenschäden in Europa einen erheblichen ökonomischen Schaden, der jährlich mit mehreren Milliarden Euro beziffert werden muss. [4]

2.3 Die Dimensionen

Genauere Angaben über die Zahl der vorhandenen Altlasten lassen sich zu Zeit nur grob abschätzen. Es ist zwar eine große Anzahl von Verdachtsflächen bekannt, es fehlen jedoch großteils genaue Untersuchungsergebnisse, die Angaben über das Ausmaß der Gefährdung für Mensch und Umwelt ermöglichen würden.

EU weit wird die Zahl der kontaminierten Flächen auf 1,4 Millionen geschätzt. Vor allem für Osteuropa liegen sehr wenige Daten vor, obwohl gerade hier einige Gebiete (z.B. Kattowitz in Polen) ein ökologisches Desaster darstellen. Bei den Schadstoffen handelt es sich hauptsächlich um Schwermetalle, Öle, Dioxine, Pestizide und Radionuklide. [5]

In Österreich schätzt das Umweltbundesamt die Anzahl von Altablagerungen auf 10.000 und die der Altstandorte auf 70.000. Von diesen geschätzten Flächen sind jeweils lediglich 50% registriert.

| Bundesland | Altablagerungen | | | Altstandorte | | |
|------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------------------|--------------------|
| | bisher erfasst | geschätzte Gesamtanzahl | Erfasungsgrad in % | bisher erfasst | geschätzte Gesamtanzahl | Erfasungsgrad in % |
| Burgenland | 98 | 300 | 33 | 682 | 2.000 | 34 |
| Kärnten | 472 | 550 | 85 | 32 | 5.000 | 1 |
| Niederösterreich | 925 | 2.000 | 45 | 997 | 14.000 | 7 |
| Oberösterreich | 1.461 | 1.500 | 97 | 9.101 | 9.500 | 96 |
| Salzburg | 411 | 450 | 93 | 5.602 | 5.700 | 98 |
| Steiermark | 376 | 1.200 | 31 | 4.302 | 11.000 | 39 |
| Tirol | 644 | 700 | 92 | 1.449 | 6.000 | 24 |
| Vorarlberg | 12 | 350 | 3 | 5 | 3.000 | <1 |
| Wien | 340 | 400 | 85 | 14.498 | 16.000 | 91 |
| Summe | 4.739 | 7.450 | 63 | 36.668 | 72.200 | 51 |

Abb. 4: Vergleich der bisher erfassten Altablagerungen und Altstandorten mit der geschätzten Gesamtzahl

Bei wie vielen dieser Flächen ein Sanierungsbedarf besteht lässt sich erst nach umfangreichen chemischen und physikalischen Untersuchungen angeben.

Das Umweltbundesamt schätzt dazu: „Es ist mit einer Anzahl von 1.000 – 2.000 sanierungsbedürftigen Altlasten zu rechnen. Unter der Berücksichtigung der derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen ist mit einem finanziellen Gesamtaufwand von ca. EUR 4,4 Mrd. zur Sicherung/Sanierung dieser Altlasten zu rechnen.“

Hinzu kommt, dass in Österreich täglich etwa 20 Hektar Grün- und Ackerland durch Siedlungs- und Verkehrstätigkeiten versiegelt werden. Sie gehen dadurch dauerhaft verloren. Gleichzeitig fallen aber auch 3 Hektar Gewerbe- und Industrieflächen brach. [3]

2.4 Mögliche Potentiale

2.4.1 Revitalisierung

Würden diese brach liegenden Flächen revitalisiert werden, könnte ein beachtlicher Teil (rund 25%) des Flächenneubedarfs eingespart werden. Zudem ergeben sich Einsparungen von ca. 0,6 Millionen Euro pro Hektar für nicht zu tätige Aufschließungskosten. In vielen Gemeinden könnte somit der Bedarf an neuen Flächen durch die Wiedernutzung von anfallenden Brachflächen zur Gänze gedeckt werden. [4]

2.4.2 Positive Beispiele

Győr [6]

Für die Stadt Győr in Ungarn existiert ein Langzeit – Entwurfsentwurf, welcher die Wiedernutzung von 100 Hektar industrieller Brachfläche entlang der Donau vorsieht. Das Gebiet grenzt an das historische Stadtzentrum, welches somit erweitert wird. Außerdem wird durch dieses Projekt die Funktionalität der alten Stadtstrukturen für die Zukunft gesichert.

Die Pläne sehen ein dicht bebautes Wohngebiet mit 6.000 Wohnungen für 11.000 Einwohner sowie ein Einkaufszentrum und weitere Möglichkeiten für die Schaffung von insgesamt 5.000 Arbeitsplätzen vor.



Abb. 5: Industrielle Brachfläche in Győr



Abb. 6: Entwurf für die Revitalisierung

Einige alte Industriebauten bleiben bestehen, bekommen aber eine neue Funktion. So wird u.a. aus der alten Kantine eine Bibliothek und aus dem Kraftwerk ein Museum. Erhalten bleiben auch einige symbolische Strukturen wie der Wasserturm oder die alte Schule.

Trnava: [6]

Die Stadt liegt 50 km nordöstlich von Bratislava und ist die 7. größte Stadt der Slowakei. Trotz attraktiver Lage und Verkehrsanbindung stagniert die Bevölkerung durch die Abwanderung in die umliegenden Siedlungen seit 15 Jahren bei 70.000 Einwohnern.

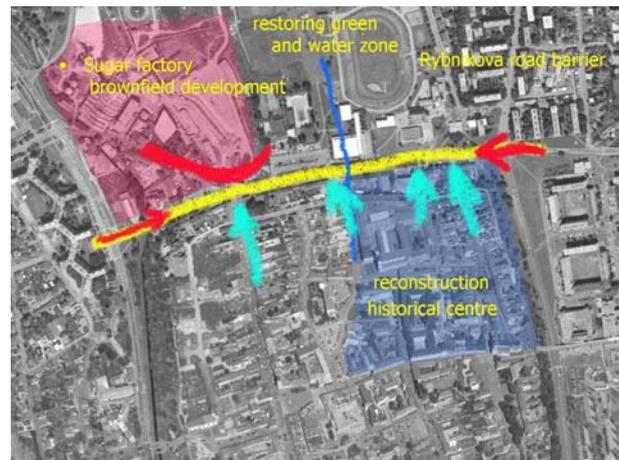


Abb. 7: Luftbild von Trnava

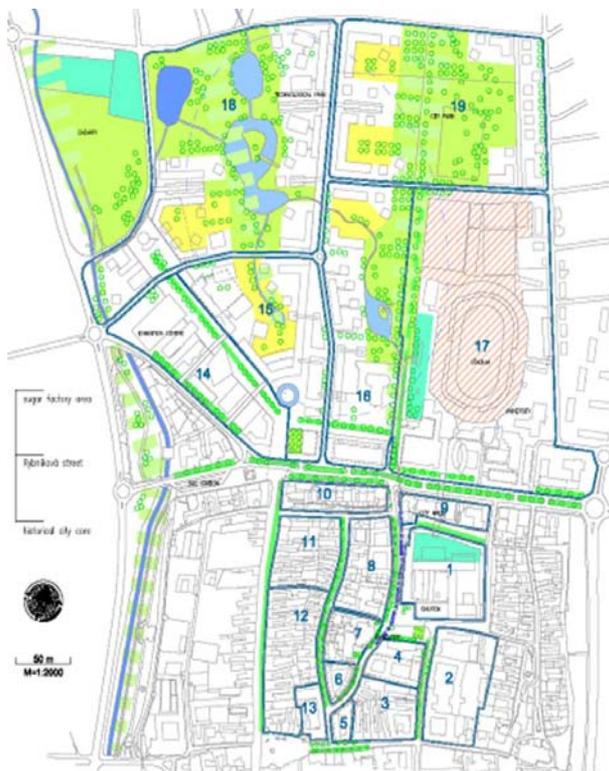


Abb. 8: Studie zur Stadterneuerung

Im Zuge einer Studie zur Stadterneuerung wird hier die Fläche einer alten Zuckerfabrik als eines von drei benachbarten Stadtgebieten revitalisiert. Auf dem Areal des Altstandortes sind ein Veranstaltungszentrum, ein Technologiepark, ein Universitäts-Campus, Dienstleistungseinrichtungen und Wohngebiete vorgesehen. Es werden somit Strukturen geschaffen, die ansonsten zukünftig im historischen Zentrum fehlen würden.

2.4.3 Hemmnisse und Barrieren

Eines der wesentlichsten Hindernisse für die Wiedernutzung dieser industriellen und gewerblichen Brachflächen stellen die möglichen Kontaminationen des Bodens durch die Vornutzun, und die damit verbundenen Untersuchungs- und Sanierungskosten dar. Diese ungewissen Mehrkosten für die eventuell notwendigen und kostenintensiven Sanierungsmaßnahmen sind es, die Nachnutzungsprojekte unattraktiv werden lassen. Vielfach wird dann, anstatt die brachliegenden Flächen zu nutzen, wieder Grünland versiegelt. [4]

3. ALTLASTENSANIERUNG

3.1 Konventionelle Sanierungsmethoden

Chemische Reinigung: [7]

Bei der chemischen Reinigung wird die kontaminierte Erde mit einer chemischen Lösung vermischt, um die Schadstoffe von ihrem festen Verband in eine flüssige Lösung zu übertragen. Anschließend werden die somit gereinigte Erde und die mit den Schadstoffen angereicherte Lösung wieder getrennt. Durch weitere Behandlung der Lösung können eventuell wertvolle Metalle oder Salze wieder zurückgewonnen werden. Dieses Verfahren eignet sich zur Behandlung des Bodens bei einer hohen Konzentration eines bestimmten Kontaminats.

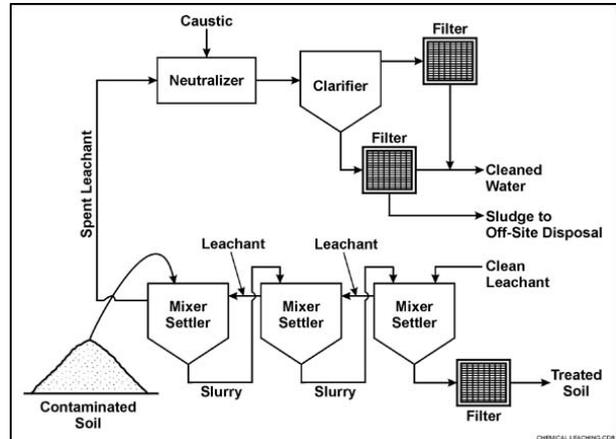


Abb. 9: Funktionsschema der chemischen Reinigung

Bodenwaschung: [7]

Dem Erdreich wird eine Reinigungs-lösung beigemischt und anschließend gründlich durchmischt. Die Schadstoffe werden somit durch Auflösung oder einstweilige Rückhaltung in die Reinigungslösung übertragen. Die angereicherte Lösung wird danach mit konventionellen Abwasserreinigungsmethoden behandelt.

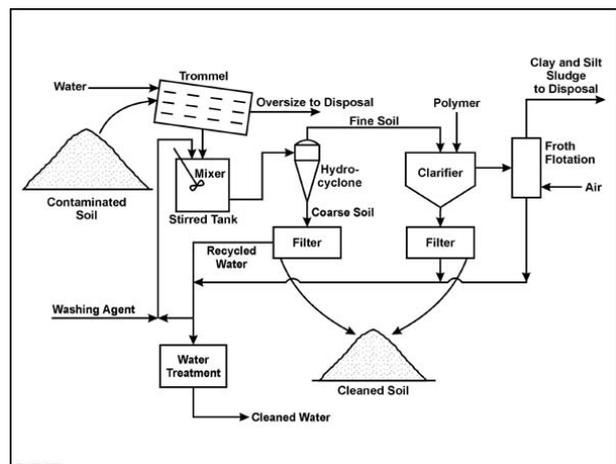


Abb. 10: Funktionsschema der Bodenwaschung

Thermische Behandlung: [7]

Hierbei wird die Erde erwärmt und gleichzeitig stetig umgewälzt, während sie einem Trägergas oder Vakuum ausgesetzt ist. Somit werden Wasser und Schadstoffe verflüchtigt und zur weiteren Behandlung abtransportiert. Durch die Regelung von Temperatur und Behandlungszeit können bestimmte Schadstoffe verflüchtigt werden.

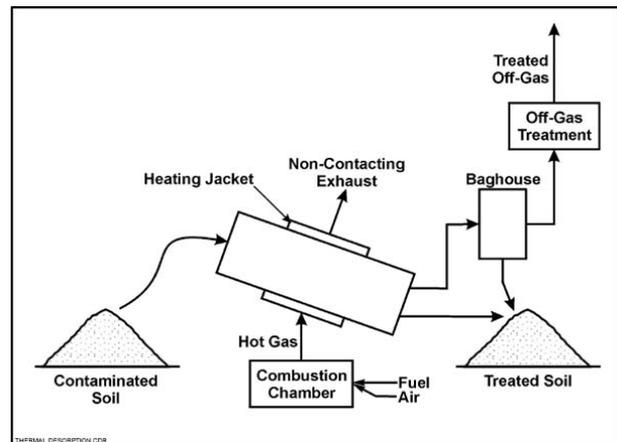


Abb. 11: Funktionsschema der Thermischen Behandlung

Bodenluftabsaugung [8]

Durch Erzeugung eines Unterdrucks und Absaugen der Luft werden dem Boden leicht flüchtige Schadstoffe entzogen. Liegt der Schadstoff im Untergrund nicht nur in gasförmiger sondern auch in flüssiger Form vor, so erfolgt durch das Absaugen eine laufende Neubildung der Gase aus der gesättigten Zone. Im Anschluss an die Absaugung wird die belastete Bodenluft behandelt.

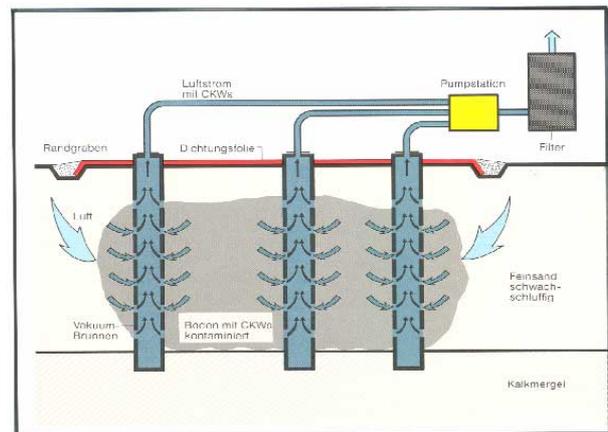


Abb. 12: Funktionsschema der Bodenluftabsaugung

Bodenaustausch:

Der kontaminierte Boden wird ausgehoben und als Abfall deponiert. Anschließend wird die Fläche mit schadstofffreiem Erdreich wieder aufgefüllt. Mit dieser Methode wird das Problem nicht behoben, sondern nur an einen anderen Ort verlagert. („dig and dump“)

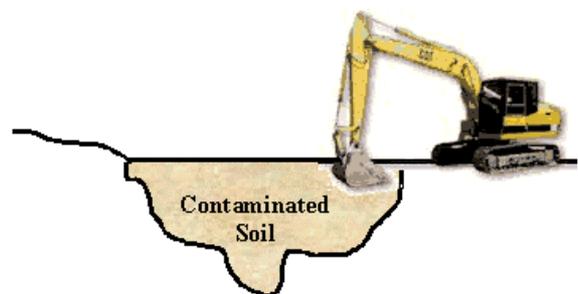


Abb. 13: Grafik Erdaushub

Überdeckung, Vermischung

Das belastete Erdreich wird mit nicht kontaminiertem Material überdeckt bzw. durchmischt. Damit wird die Konzentration der Schadstoffe verringert und somit können etwaige Grenzwerte unterschritten werden.



Abb. 14: Erdarbeiten zur Vermischung

3.2 Kritik an diesen Methoden [1]

Die zuvor beschriebenen Sanierungsmethoden werden einzeln, in Kombination oder nacheinander angewandt. Teilweise ist eine Ausgrabung notwendig (ex-situ) oder die Behandlung muss zusätzlich an einem anderen Ort durchgeführt werden (off-site).

Diese Sanierungsmaßnahmen geraten mehr und mehr unter Kritik, da sie zumeist mit hohem finanziellem Aufwand verbunden sind, die Bodenvitalität zerstören und sehr energieintensiv sind. Außerdem ist bei exponierter Lage und großer Ausdehnung mit logistischen Problemen zu rechnen. All das führt auch zu einem Anstieg der Unzufriedenheit in der Bevölkerung.

Dies stellt eine Möglichkeit für pflanzenorientierte Sanierungsmethoden dar, welche bestimmte Eigenschaften der Pflanzen nutzen:

- Die Fähigkeit Feuchtigkeit aus Boden und Grundwasser an die Atmosphäre abzugeben
- Produktion von Abbauenzymen
- Überlebensfähigkeit unter widrigen Verhältnissen
- Angetrieben von der Sonne
- Durchdringung in beachtliche Tiefen und Ausbildung von großen Wurzelzonen
- Speicherfähigkeit von bestimmten Schadstoffen (Hyperakkumulation)

3.3 Die Phytoremediation

Die Phytoremediation nutzt diese natürlichen Pflanzenattribute und stellt damit eine innovative und kostengünstige Sanierungsmethode dar.

Sie setzt gezielt Pflanzen zur Extraktion, zum Abbau oder zur Stabilisierung von Schadstoffen in Boden, Wasser und Sediment ein. Je nach Schadstofftyp und -lage greifen unterschiedliche Phytoremediationsmechanismen. [9]

3.4 Arten der Phytoremediation [9]

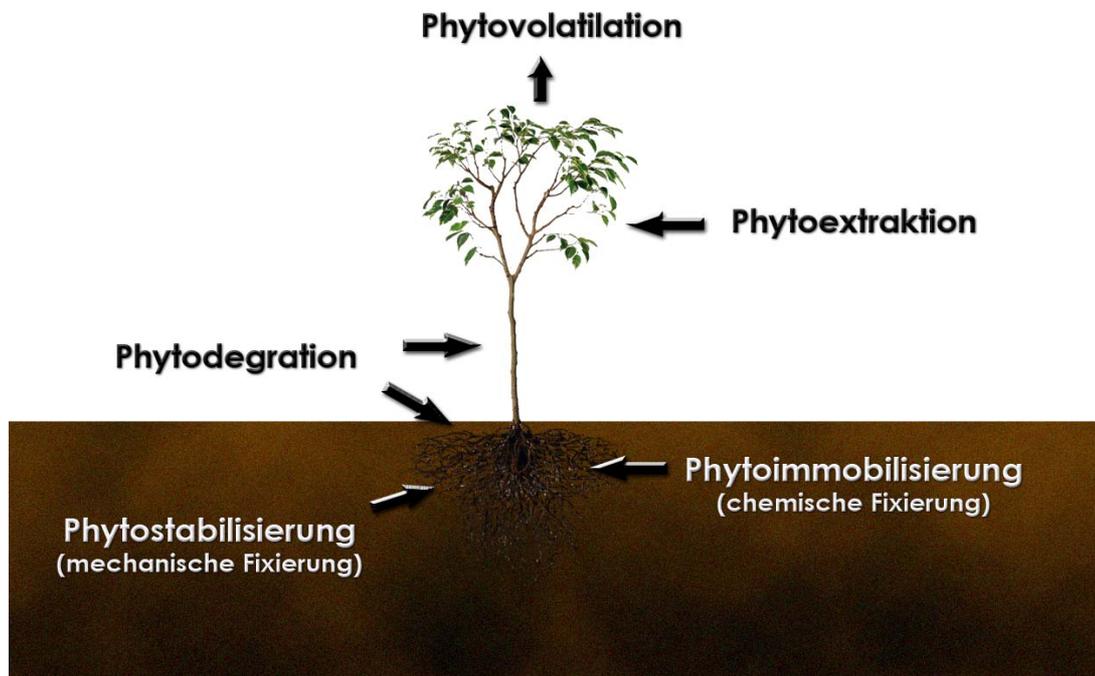


Abb. 15: Arten der Phytoremediation

Phytostabilisierung: (mechanische Fixierung)

Die Schadstoffe werden im Boden stabilisiert, indem sie an die Wurzeln der Pflanze gebunden werden. Dies verhindert die Wind- und Wassererosion.

Phytoimmobilisierung: (chemische Fixierung)

Schadstoffe reichern sich in den Wurzeln an, unlösliche Stoffe werden an die Wurzeln gebunden, oder die Bodenfaktoren, die die Schadstoffmobilität beeinflussen, werden durch die Pflanzen geändert.

Phytoextraktion:

Schadstoffe werden über die Wurzeln in die Pflanze aufgenommen und anschließend gespeichert.

Phytodegradation:

Mikrobielle Abbauprozesse werden durch die Pflanzen stimuliert. Die Bakterien- und Pilzpopulation wird angeregt.

Organische Schadstoffe werden in der Pflanze oder durch die Abgabe von Pflanzenenzymen im Boden ganz oder teilweise abgebaut.

Phytovolatilation:

Schadstoffe, die in flüchtigen Verbindungen vorliegen, werden von den Pflanzen aufgenommen und weiter in die Atmosphäre abgegeben.

4. DIE PHYTOEXTRAKTION

Für die Phytoextraktion kommen metallakkumulierende Pflanzen zum Einsatz. Das sind Pflanzen, die einen oder mehrere bestimmte Schadstoffe aus dem Boden in ihre oberirdische Biomasse aufnehmen und speichern können.

Die Möglichkeit einer Pflanze eine kontaminierte Fläche erfolgreich zu reinigen hängt dabei von der Menge der Schadstoffe ab, die von ihr gespeichert werden können, von ihrer Wachstumsrate und der möglichen Bepflanzungsdichte. Am geeignetsten für die Phytoextraktion sind Pflanzen mit großer Biomasseproduktion, die mehrmals pro Saison geerntet werden können. [1]

In Österreich wurden in Feldversuchen sehr gute Ergebnisse mit Weiden und Pappeln erzielt. Diese vereinen gute Schadstoffaufnahme mit großer Biomasseproduktion.



Abb. 16: Phytoextraktion mit Pappeln

4.1 Vorteile der Phytoextraktion

Das entscheidende Argument für den Einsatz von Phytoextraktion sind die geringen Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Sanierungsmethoden. Zudem wird die physikalische, chemische und ökologische Bodenqualität verbessert anstatt sie zu zerstören. Weitere Vorteile sind: [1]

- In situ
- Angetrieben von der Sonne
- Einfache Anwendung
- Anwendbarkeit auf eine große Anzahl von Schadstoffen
- Minimale Bodenzerüttung
- Die Biomasse kann zur Energiegewinnung verwendet werden
- Sehr geringe Rückstände bei Verbrennung und damit geringes Deponieaufkommen
- Wertvolle Metalle können aus der Asche zurückgewonnen werden
- Auch Grundwasser und Sedimente können gereinigt werden
- Geeignet zur Anwendung nach herkömmlichen Sanierungsmethoden (polishing step)
- Hohe Akzeptanz in der Bevölkerung durch Integration ins Landschaftsbild

Das größte Potential der Phytoremediation liegt in der Behandlung extensiver Flächen, wo andere Sanierungsmethoden aus Kostengründen nicht möglich sind. [9]

4.2 Einschränkungen von Phytoextraktion [1]

Obwohl die Phytoextraktion eine Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Sanierungsmethoden bietet, sind unter realistischer Betrachtung auch einige Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Viele metallakkumulierende Pflanzen können nur ein bestimmtes Element speichern. Dies führt zu Problemen bei gestreuter Schadstoffbelastung.
- Probleme bei nicht einheimischen Pflanzen. Mögliche Auswirkungen auf das Ökosystem müssen berücksichtigt werden. Außerdem sind viele geeignete Pflanzen unter den klimatischen Bedingungen vor Ort nicht überlebensfähig.
- Viele Pflanzen haben zwar eine gute Speicherfähigkeit, besitzen aber eine zu geringe Wachstumsrate. In diesem Fall spricht man von Hyperakkumulatoren.
- Eine Behandlung über einen entsprechend langen Zeitraum ist notwendig. Dies schließt einen Einsatz bei akuten Fällen oder beim Wunsch nach baldiger Nutzung der Fläche aus.
- Bei zu starker Konzentration der Schadstoffe sind die Pflanzen nicht überlebensfähig.

4.3 Vergleich der Phytoextraktion zu anderen Technologien [10]

| Sanierungsverfahren | Kosten (US\$/ha) | Relativ zu 1 |
|---------------------------------|------------------|--------------|
| 1. Ausräumung / Verbrennung | 6,375.000 | 100 |
| 2. Ausräumung / Deponierung | 2,250.000 | 35.7 |
| 3. Bodenwäsche | 1,030.000 | 16.1 |
| 4. Bodenspülung (in situ) | 860.000 | 13.5 |
| 5. Abdeckung | 160.000 | 2.5 |
| 6. In situ Immobilisierung | 60.000 | 0.9 |
| 7. Kont. Phytoextraktion | 76.000 | 1.2 |

Abb. 17: Kostenvergleich

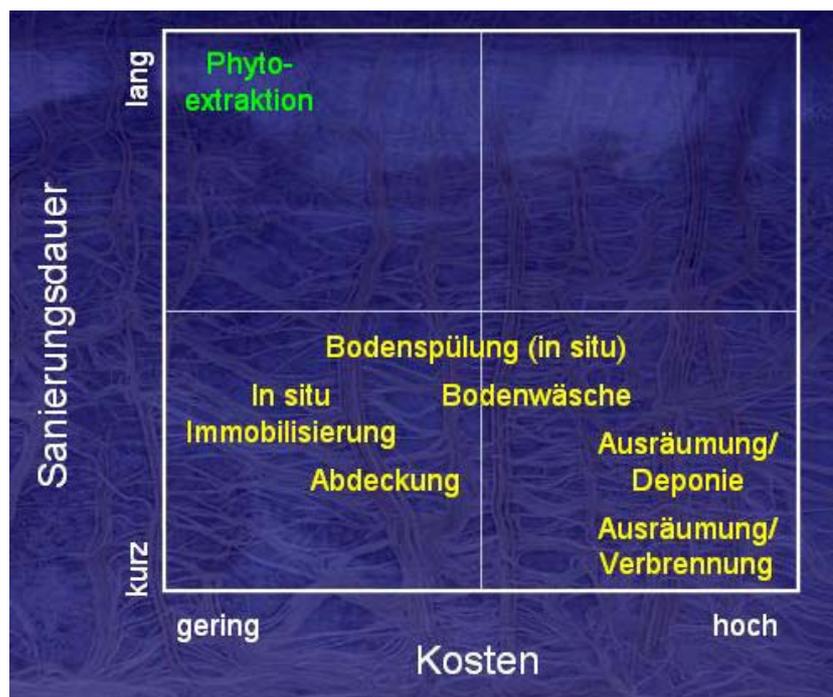


Abb. 18: Kosten vs. Sanierungsdauer

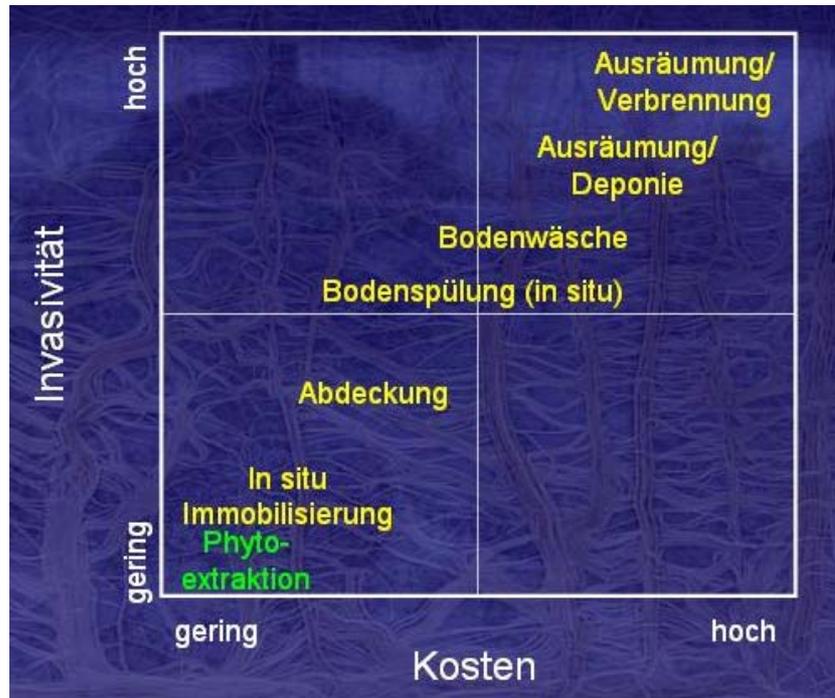


Abb. 19: Kosten vs. Invasivität

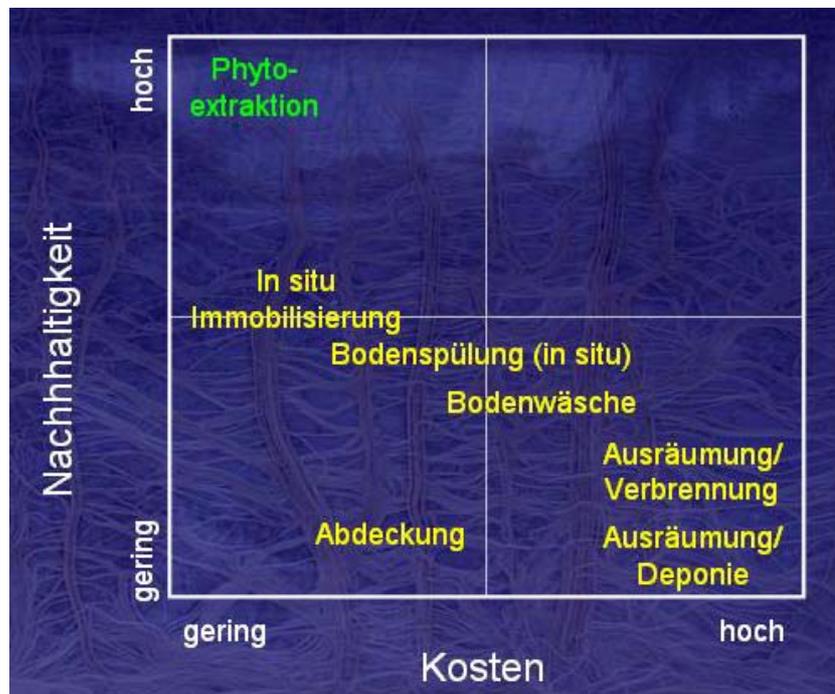


Abb. 20: Kosten vs. Nachhaltigkeit

4.4 Derzeitiger Stand der Forschung

Grundsätzlich spricht man bei der Phytoextraktion von einem kontinuierlichen Vorgang, bei dem metallakkumulierende Pflanzen eingesetzt werden. Es sind bereits mehr als 400 Pflanzenarten bekannt, die bestimmte Schadstoffe besonders gut (bis zum tausendfachen des Normalwertes) speichern können. Es werden dabei in der Biomasse Metallkonzentrationen von einem Prozent und mehr erreicht. Das Problem ist, dass es sich bei vielen dieser geeigneten Pflanzen um Kräuter und Gräser mit niedriger Wachstumsrate handelt. Der Nettoentzug von Schadstoffen aus dem Boden ist somit einfach zu gering. Als Abhilfe wurde die Methode der induzierten Phytoextraktion entwickelt, bei der auch herkömmliche Nutzpflanzen mit großer Biomasseproduktion, wie Mais oder Raps, verwendet werden können. Hierbei wird bei Höchststand der Pflanze der Boden mit Chelatoren (z.B. EDTA) behandelt. Diese bewirken eine bessere Wasserlöslichkeit der Metallionen, die somit leichter von der Pflanze aufgenommen werden können. Nach ein paar Tagen können die angereicherten Pflanzen dann geerntet werden. Leider werden diese Chelatoren von den Mikroben im Erdreich nur sehr langsam abgebaut und verbleiben mehrere Wochen und Monate im Erdreich. Ein Gewitterregen könnte dann bereits dazu führen, dass die Stoffe durch Versickerung das Grundwasser gefährden. Ein möglicher Ausweg wären hier abbaubare, natürliche Chelatoren. [5]

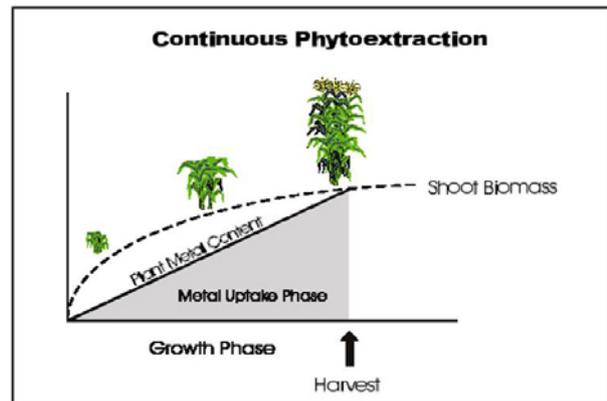


Abb. 22: kontinuierliche Phytoextraktion

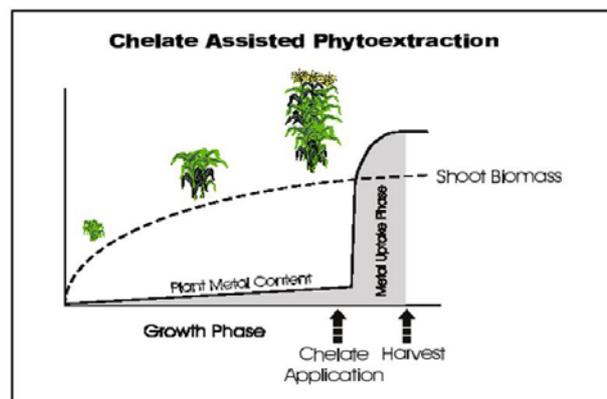


Abb. 21: induzierte Phytoextraktion

Aber nicht nur niedrige, krautige Pflanzen kommen als Hyperakkumulatoren in Frage. Das Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur Wien stellte fest, dass auch verschiedene Bäume wie Weiden, Pappeln oder Birken in der Lage sind bestimmte Schadstoffe zu akkumulieren. [11]

Die Vorteile von Weiden und Pappeln sind: [5]

- hohe Wachstumsrate (5t Blätter pro Hektar nach 3 Jahren)
- hohe Metallaufnahme (bis zu 0,5% Konzentration in den Blättern)
- leicht zu vermehren und zu züchten
- große ökologische Anpassungsbreite (feuchte bis trockene Böden)
- geographisch weit verbreitet

Feldstudien in Arnoldstein (A), Kutna Hora (CZ) und Mezica (SLO) werden zur Zeit durchgeführt.

Eine weitere Methode zur Verbesserung der Aufnahmeleistung ist die Impfung der Bäume mit Mykorrhiza Pilzen und Bakterien. Im Rahmen eines Versuches wurden Bakterien aus dem mit Wurzeln durchwachsenen Bereich (Rhizosphäre) einer mit *Salix caprea* (Sal-Weide) bewachsenen, kontaminierten Fläche isoliert. Danach wurden weitere Baumarten mit den isolierten Bakterien und den Pilzen geimpft. Das Ergebnis: Die Impfung führt zu einer erhöhten Metallaufnahme in den Blättern. (siehe Abb. 23) [5]

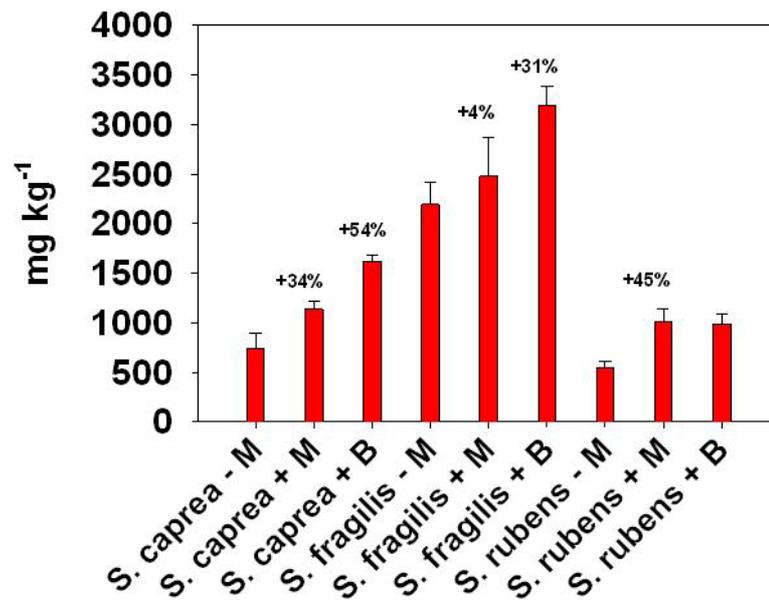


Abb. 23: Die Impfung mit Mykorrhiza Pilzen (+M) und Bakterien (+B) führt zu erhöhter Metallaufnahme

4.5 Einflüsse auf den Entwurf

Mit dem Entwurf soll ein Ort geschaffen werden, an dem effektiv weiter nach der viel versprechenden Sanierungsmethode der Phytoextraktion geforscht werden kann, und von wo ausgehend sie auch zu Bodensanierungszwecken angewandt wird. Die Reichweite der Einrichtung für die praktische Anwendung kann dabei weit über die Grenzen Österreichs hinaus reichen. Mit entsprechender Öffentlichkeitsarbeit soll zudem die Bevölkerung über die Methode der Phytoextraktion aufgeklärt und informiert werden.

4.5.1 Ablauf einer Behandlung mit Phytoextraktion mit z.B. Weiden und Pappeln

Zunächst muss die zu behandelnde Fläche auf eine mögliche Sanierung mit Phytoextraktion analysiert werden. Folgende Fragen sind dabei zu beantworten:

- Welche Ausmaße hat die Fläche?
- Wie ist die Lage und Zugänglichkeit?
- Welche Schadstoffe sind im Boden?
- Wie hoch ist deren chemische Verfügbarkeit?
- Wie stark sind die Schadstoffe konzentriert?
- Welche Sanierungsziele werden verfolgt?
- Welche Nachnutzung ist für die Fläche vorgesehen?
- Nach welchem Zeitraum soll die Sanierung abgeschlossen sein?
- Wie hoch sind die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel?

Wird die Phytoextraktion als geeignete Sanierungsmaßnahme angesehen, werden im Frühjahr die Stecklinge der Weiden und/oder Pappeln in der benötigten Bepflanzungsdichte ausgesetzt. Die Setzlinge sind vorzugsweise Klone von Pflanzen mit denen in Test besonders gute Ergebnisse erzielt wurden. Sie werden im Labor gezüchtet und müssen anschließend im Glashaus (4-6 Wochen) unter idealen Bedingungen und auf einem Feld unter natürlichen Bedingungen anwachsen.

Durch das herabfallende Laub im Herbst würden die in den Blättern angereicherten Schadstoffe wieder zurück in den Boden gelangen. Um das zu verhindern muss entweder der ganze Neuaustrieb vor dem Blattfall geerntet werden, oder aber die Blätter werden mit Laubsaugern gesammelt. [12] Eine weitere Alternative, die jedoch erst auf ihre Praxistauglichkeit untersucht werden muss, ist der Einsatz einer Vlies-Matte, die eine Tonmineralschicht enthält und unter den Bäumen ausgebreitet wird. Die Tonmineralien binden die freigesetzten Schwermetalle aus den herabfallenden Blättern an Ort und Stelle bevor sie wieder ins Erdreich gelangen können. Mit dieser Methode könnte der Prozess der Phytoextraktion über den ganzen Sanierungszeitraum sich selbst überlassen werden. [13]

Wird die Biomasse geerntet, so muss diese natürlich auch entsprechend entsorgt werden. Eine Möglichkeit ist die Verbrennung des Materials im nächstgelegenen mit Biomasse befeuerten Blockheizkraftwerk. Auf diese Weise könnte zusätzlich zum Sanierungserfolg auch noch Energie und Wärme gewonnen werden. Als Option könnten die Schwermetalle aus der Asche durch weitere Behandlungen wieder zurückgewonnen werden. Dies würde z.B. bei Nickel durch seinen hohen Marktwert auch wirtschaftlich Sinn machen.

Wird das Material kompostiert, so kann eine Tonmineralschicht am Boden der Kompostieranlage die Schwermetalle binden, die bei der Verrottung freigesetzt werden. [13]

4.5.2 Benötigte Infrastruktur und Geräte

Im Folgenden werden die Räumlichkeiten und Flächen aufgelistet die für den Betrieb einer Forschungs- und Informationseinrichtung für den Einsatz von Phytoextraktion benötigt werden.

Für den Bereich Forschung werden benötigt:

- Laborflächen (nasschemisch) ca. 60-70m²
- Kühlraum ca. 10m²
- Büro (Auswertungen/Prognosen) 20m²
- Lagerraum ca. 20m²

Für den Bereich Anwendung werden benötigt:

- Anwachsflächen auf sauberen Boden ca. 3-5 Hektar
- Glashaus 350m² (= ca. 200m² Nettopflanzenfläche)
- Lagerraum 70m²
- „Spritzkammer“ 10m²
- Manipulationsräume 2x20m²
- Garage für landwirtschaftliche Maschinen 40m²
- Kompostieranlage 20m²

Für den Bereich Information werden benötigt:

- Präsentationsraum ca. 40m²
- Büro für Öffentlichkeitsarbeit 20m²

Haustechnik:

- Wasseraufbereitung
- Lüftung
- Sprühnebel
- Kältemaschine
- Verdunstungskühler

4.5.3 Standort

Der Standort muss nach folgenden Kriterien ausgewählt werden:

- Es ist eine Fläche von 3-5 Hektar notwendig. Der Boden dieser Fläche darf keine großen Belastungen aufweisen, da er fast ausschließlich als Anwachsfläche für die Stecklinge benötigt wird.
- Der Standort muss eine ausreichende natürliche Belichtung aufweisen, um das rasche Gedeihen der Pflanzen nicht zu beeinträchtigen.
- Ein Standort in Ostösterreich wäre von Vorteil, da potentielle Anwendungsgebiete außerhalb Österreichs vor allem in Osteuropa vorzufinden sind.

5. WASSER- UND NÄHRSTOFFKREISLÄUFE

Neben dem Bestreben den Boden von Schadstoffen frei zu halten, bzw. ihn von allfälligen Schadstoffen zu reinigen, ist es auch wichtig auf die Erhaltung der Fruchtbarkeit zu achten. Fruchtbarer Boden muss genügend Nährstoffe enthalten, damit Pflanzen auf ihm wachsen können. Die heutigen Abwasserentsorgungssysteme führen aber zu einer Minderung der Bodenfruchtbarkeit, da die wertvollen Nährstoffe und Spurenelemente, die in den menschlichen Ausscheidungen enthalten sind in der Regel nicht in die Landwirtschaft zurückgeführt werden. Zudem wird eine Unmenge an kostbarem Trinkwasser, das letztendlich nur als Trägermedium dient, vernichtet. Eine stoffstromorientierte Kreislaufwirtschaft von Wasser und Nährstoffen kann als Lösung dieses Problems dienen.

5.1 Konventionelle Abwasserentsorgung

Die herkömmliche Form der zentralen Abwasserentsorgung ist die Schwemmkanalisation mit nachgeschalteten mehrstufigen Wasserreinigungsanlagen. Diese Form wird in den entwickelten Industriestaaten immer noch als Standard angesehen. Steigende Investitionskosten, hohe Betriebs- und Wartungskosten und hoher Wasserverbrauch stellen dieses Verfahren aus ökologischer und ökonomischer Sicht immer mehr in Frage. Darüber hinaus werden wertvolle Nährstoffe vernichtet oder in die Gewässer geleitet, die dann wiederum in der Landwirtschaft fehlen. Auch wenn Klärschlämme landwirtschaftlich genutzt werden, so wird doch nur ein kleiner Teil der Nährstoffe in die belebte Bodenschicht zurückgeführt. Außerdem ist dies problematisch, da die Klärschlämme aus den zentralen Abwassersystemen oft zu hohe Konzentrationen an Schwermetallen und anderen Schadstoffen aufweisen. Konventionelle Abwasseranlagen stellen also weitgehend lineare end-of-pipe-Systeme dar. In diesen Systemen wird Trinkwasser dazu missbraucht Schmutzfrachten in den Wasserkreislauf zu befördern, wo sie wiederum zu Umweltschäden und hygienischen Risiken führen. [14]

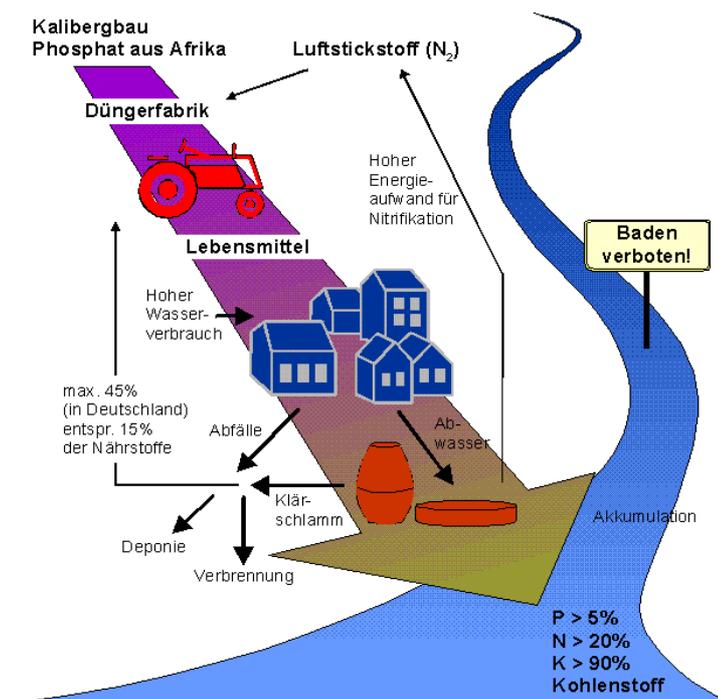


Abb. 24: end-of-pipe-Technologie

Zusammenfassend haben herkömmliche Abwasserkonzepte mit Spültoilette und Schwemmkanalisation folgende Nachteile: [15]

- Hoher Wasserverbrauch durch Einsatz von Wasser als Transportmittel
- Vermischung von Fäkalwasser mit dem restlichem Brauchwasser
- Hoher Energieverbrauch bei herkömmlicher Abwasserreinigung
- Belastete Klärschlämme als Abfallprodukt, deren landwirtschaftliche Entsorgung problematisch ist
- Ständige Nährstoffverluste vom Boden in die Gewässer mit daraus resultierender Nährstoffbelastung und langfristiger Akkumulation im Meer
- Hoher Energieverbrauch für die Herstellung stickstoffhaltiger Handelsdünger, die als Ausgleich in der Landwirtschaft benötigt werden
- Keine geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreisläufe

5.2 Kreislaforientiertes Wassermanagement

Ein Mensch produziert jährlich etwa 500 Liter Urin und 50 Liter Fäkalien. Würden diese geringen Mengen ohne oder nur mit geringer Verdünnung gesammelt werden, könnten sie relativ einfach zu Energie (Biogas) oder natürlichen Düngemitteln umgewandelt werden.

Der Sündenfall im Umgang mit Wasser und Nährstoffen ist die Einführung der Spültoilette. Durch die Vermischung von Fäkalabwasser und dem restlichen Hausabwasser gibt es große Schwierigkeiten das Wasser wieder sinnvoll zu verwenden. [16]

Um ein nachhaltiges Sanitärkonzept zu schaffen muss daher von einer Differenzierung der unterschiedlichen Teilströme ausgegangen werden. Folgende Teilströme werden unterschieden: [15]

- Schwarzwasser: Sanitärabwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien mit Spülwasser)
- Gelbwasser: Urin aus Urinseparationstoiletten und Urinalen mit oder ohne Spülwasser
- Braunwasser: Schwarzwasser ohne Urin bzw. Gelbwasser
- Grauwasser: Häusliches Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Waschmaschine usw. (ohne Fäkalien und Urin)

Diese Abwasserteilströme müssen bereits an ihrem Entstehungsort separat erfasst werden, damit sie einer gezielten Behandlung und Nutzung zugeführt werden können.

Urinseparierende Toiletten sammeln das Gelbwasser mit möglichst geringer Verdünnung. Da der überwiegende Nährstoffanteil im Urin enthalten ist, kann dieses Gelbwasser direkt in der Landwirtschaft als Dünger verwendet werden. Die Nährstoffzusammensetzung eignet sich für viele Bodenarten. Das Braunwasser wird verrottet und kann anschließend als Humusdünger verwendet werden.



Abb. 25: Trenntoilette

Die Umstellung auf ein kreislauforientiertes Abwassersystem braucht natürlich seine Zeit. Seit ca. hundert Jahren werden nun zentrale „end-of-pipe“ Systeme eingesetzt und optimiert. Ihre Schwächen wurden dabei lange Zeit übersehen oder in Kauf genommen. Erfolgreiche Demonstrationsprojekte zeigen erst seit einigen Jahren wie nachhaltig mit Wasser und Abwasser umgegangen werden kann und dass bei richtigem Umgang eine Vielzahl von Problemen gelöst werden kann.

Leider gibt es aber auch Hemmnisse, die einen Umstieg stark behindern: [14]

- Die bestehende Infrastruktur soll sich erst amortisieren
- Die Ver- und Entsorgungswirtschaft ist mit den derzeitigen Strukturen eingespielt und muss sich bei veränderten Stoffflüssen umstrukturieren
- Rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigen die neuen Möglichkeiten nicht oder behindern diese sogar (z.B. Anschluss- und Benutzerzwang)
- In der Bevölkerung herrscht mangelnde Akzeptanz beim Umgang mit den als schädlich oder ekelerregend empfundenen Stoffen

Ausgeführte Beispiele, wie die im Kapitel 5.4 vorgestellten Projekte sind daher sehr wichtig, da nur sie zeigen können, was möglich ist und wie sich wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen anpassen müssen.

5.3 Förderung kreislauforientierter Abwassersysteme

In Österreich werden von der Umweltförderung des Bundes (Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005) kreislauforientierte Abwassersysteme gefördert. [18]

Sie werden wie folgt definiert: [18]

„Kreislauforientierte Abwassersysteme sind Sanitärsysteme, deren Ziel es ist, Stoff- und Wasserkreisläufe mit möglichst geringem Aufwand an Stoffen und Energie durch Teilstrombehandlung zu schließen.“

Es werden „Mehraufwendungen im Bereich der Inneninstallationen (vgl. §3 Abs. 2 Z 2)“ je nach Konzept A-E (siehe unten) gefördert:

- extra Urinleitung
- Urinspeicher
- Zyklonabscheider
- Rottetrommel
- Grauwasseraufbereitungsanlage (im Keller)
- Trenntoilette (Separationstoilette, Vakuumtoilette, Komposttoilette)

Das Förderungsausmaß entspricht dem Ausmaß für andere Maßnahmen der Abwasserentsorgung:

- Einzelanlagen >50 EW₆₀: bis zu 30% der förderfähigen Investitionskosten, höchstens jedoch im Ausmaß der Landesförderung
- Einzelanlagen bis 50 EW₆₀: 2.500 Euro bis 15 EW₆₀, zusätzlich 140 Euro je weiterem EW₆₀; 20 Euro pro förderfähigem Laufmeter Kanal außerhalb des Objektes [18]

Varianten für kreislauforientierte Abwassersysteme für Einzelanlagen gem. §5 Abs. 1 Z 5:

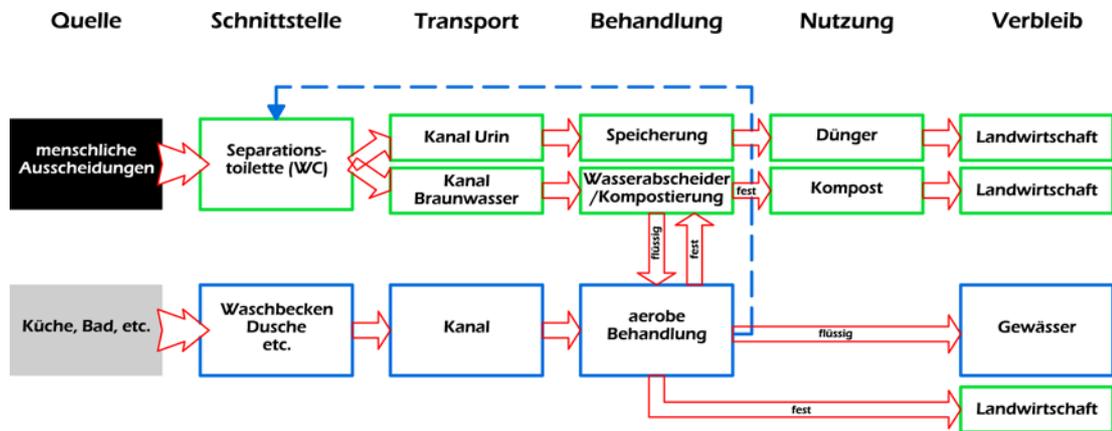


Abb. 27: Konzept A

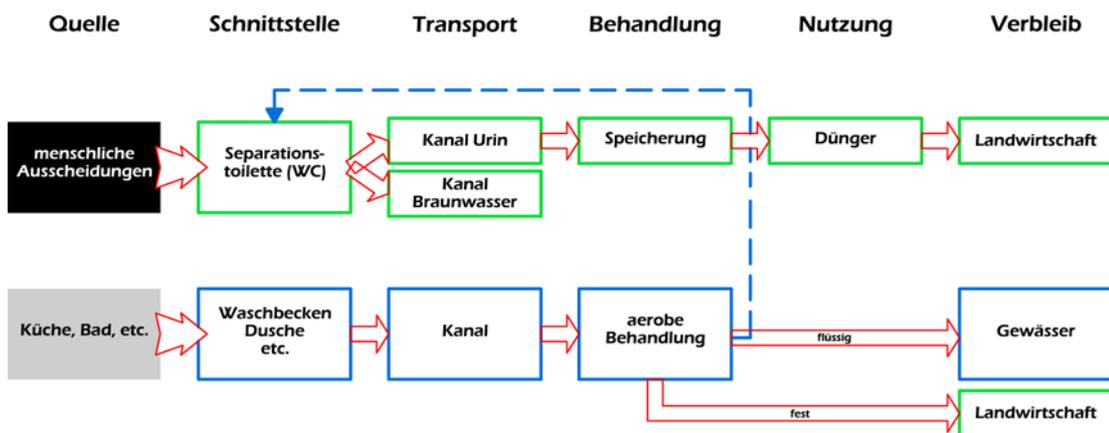


Abb. 28: Konzept B

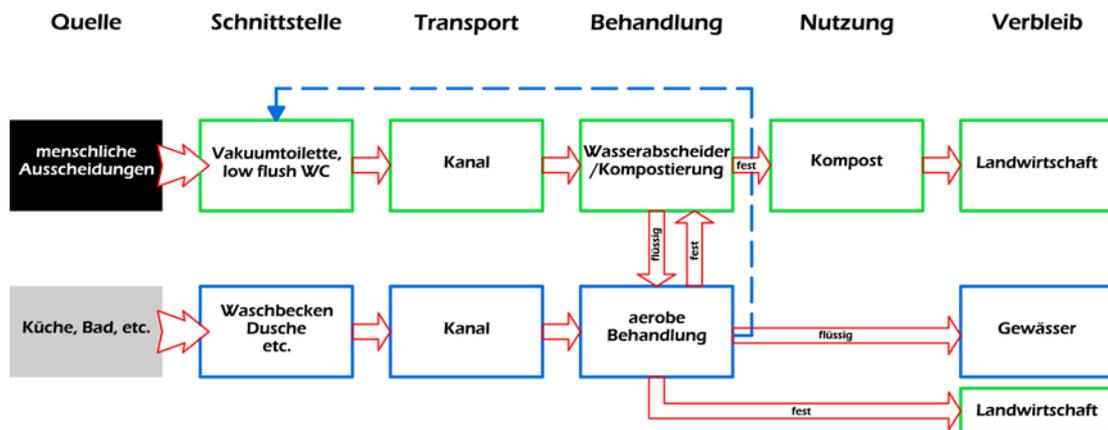


Abb. 29: Konzept C

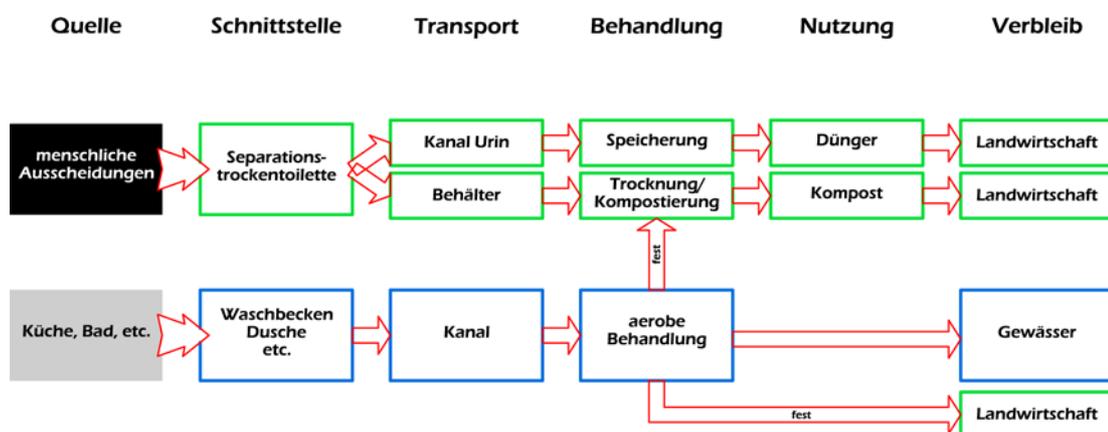


Abb. 30: Konzept D

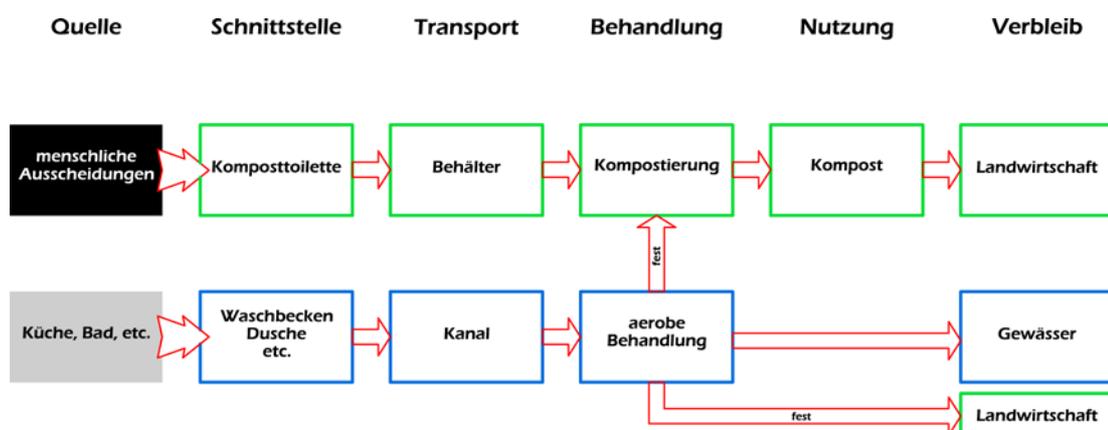


Abb. 31: Konzept E

5.4 Projektbeispiele

5.4.1 solarCity Linz

In der solarCity Linz in Oberösterreich wurden im Rahmen des Pilotprojekts „Abwasserfreie Siedlung“ bei der Schule und bei 106 Wohneinheiten eine Urinseparation mit konventionell zu bedienenden Toiletten durchgeführt. Geplant ist die Ausbringung des Urins als Flüssigdünger in die Landwirtschaft. Weiters vorgesehen ist, dass Braunwasser und Grauwater in einem Rottebehälter filtrierte und die Feststoffe unter Zugabe von Strukturmaterial vorkompostiert werden, während der Überlauf in einer Pflanzenkläranlage gereinigt wird. Danach soll das gereinigte Wasser in kleine Vorfluter abgeleitet werden. Die Reststoffe könnten nach einem Jahr auf einem Kompostplatz nachkompostiert und schließlich als Kompost für die Landschafts- und Gartenpflege bzw. als Dünger in der Landwirtschaft verwendet werden. [19]



Abb. 32: Modellfoto

Derzeit behindert jedoch eine angeblich zu hohe Hormonbelastung der Teilströme eine Zulassung für den Einsatz in der Landwirtschaft. Deshalb werden nach der Separation die Teilströme wieder zusammengeleitet und dem öffentlichen Abwassernetz zugeführt. Diese Blockade muss jedoch insofern hinterfragt werden, als herkömmlicher Dünger der von Kühen und Schweinen stammt wohl nicht minder mit Hormonen belastet ist. Es bleibt zu hoffen, dass das entsprechende Gutachten mit dem Nachweis einer einwandfreien Nachbehandlung dieses Hindernis wieder aufhebt.

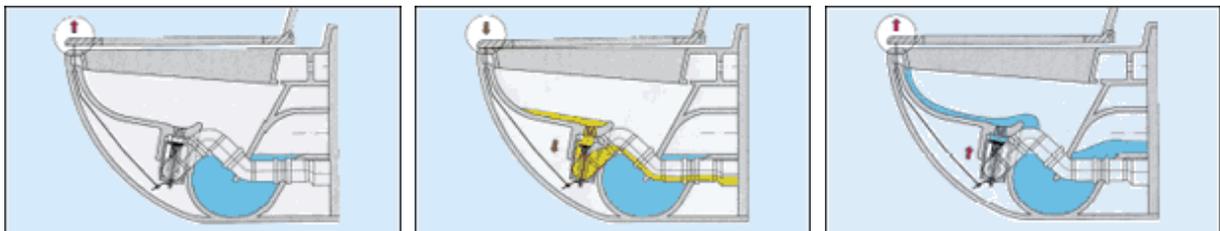


Abb. 33: Durch das Setzen auf den Toilettensitz wird eine Mechanik betätigt, die den Verschluss des Urinablaufs öffnet. Urin wird über den separaten Ablauf weggeleitet. Erhebt man sich vom Sitz, wird der Urinablauf wieder geschlossen und es kann gespült werden.

Auch der nachhaltige Umgang mit Regenwasser wurde in die solarCity integriert. Das anfallende Regenwasser wird am Ort der Entstehung in einem oberflächennahen, dezentralen System bewirtschaftet. Mittels Rinnen, Gräben, Retentions- und Versickerungsmulden, welche in die Gestaltung der Freianlagen integriert sind, wird das Regenwasser abgeleitet, gesammelt und abgewirtschaftet. Somit kann mindestens das 10-jährige Regenerignis zurückgehalten werden. [19]

5.4.2 Pilotprojekt Lambertmühle zu Burscheid

Die Lambertmühle ist eine Wassermühle im Wiembachtal, die unter Denkmalschutz steht.

Im Zuge des Umbaus zu einem Museum war auch die Sanierung des Abwassersystems erforderlich. Das hier angewandte System stellt für Einzelhäuser und kleinere Siedlungen ein kostengünstiges und wartungsarmes System dar.



Abb. 34: Lambertmühle zu Burscheid



Abb. 35: Separationstoilette

Mittels separierender Toiletten werden Urin (Gelbwasser) und Fäkalien (Braunwasser) getrennt. Während das Gelbwasser über eine gesonderte Leitung in einem Speicher gelagert wird, bis es für die Nutzung in der Landwirtschaft abgeführt wird, gelangt das Braunwasser in einen Rottebehälter. Hier werden die Fäkalien vorkompostiert. Nach einem Jahr wird das Rottegut aus dem Behälter entnommen und zusammen mit Bioabfällen aus Küche und Garten nachkompostiert. Das Resultat ist ein Humusdünger mit lang anhaltender Düngewirkung, welcher zur Gartenpflege eingesetzt werden kann.



Abb. 36: Komposter

Bei der Fäkalientwässerung im Rottebehälter fällt ein flüssiges Filtrat an, welches durch die Urinseparation nährstoffarm ist. Es kann daher in der Grauwasseranlage mitbehandelt werden.

Das Grauwasser wird nach der Vorreinigung in einem Sedimentationsbecken zusammen mit dem Filtrat aus dem Rottebehälter zu einer vertikal durchströmten Pflanzenkläranlage gepumpt. Je nach Bedarf kann das gereinigte Wasser anschließend zur Bewässerung im Garten eingesetzt, versickert oder in die örtliche Vorflut eingeleitet werden. [15]



Abb. 37: Bodenfilter

5.4.3 Ökologische Wohnsiedlung Lübeck – Flintenbreite

Für die Wohnsiedlung Flintenbreite wurde ein zukunftsweisendes Abwasserkonzept integriert, das neben der Wassereinsparung auch die Rückführung von Nährstoffen und den Energieinhalt berücksichtigt. Das 3,5 ha große Areal wurde nicht mit einer Kläranlage verbunden.

In den Wohnungen kommen Vakuumtoiletten, die einen sehr geringen Wasserverbrauch haben, zum Einsatz. Urin und Fäkalien (Schwarzwasser) und das restliche Abwasser (Grauwasser) werden innerhalb der Wohnung getrennt abgeleitet und behandelt. Das Grauwasser, welches nur schwach mit Nährstoffen belastet ist, wird von Grobstoffen gereinigt und einer Pflanzenkläranlage zugeführt. Danach wird das gereinigte Wasser, das Badewasserqualität aufweist, in den nachgeschalteten Teich geleitet, bzw. zu Bewässerungszwecken im Siedlungsgebiet genutzt.



Abb. 38: Modell der Siedlung



Abb. 39: Vakuumtoilette

Da Vakuumtoiletten pro Spülung nur 1 bis 1,2 Liter Spülwasser benötigen, liegt das Schwarzwasser als hochkonzentrierter Abwasserstrom vor, welcher durch Vakuumleitungen zur anaeroben Behandlungsanlage (Biogasanlage) gesaugt wird. Dasselbe geschieht mit dem gesammelten und anschließend zerkleinerten Biomüll. Schwarzwasser und Biomüll werden also gemeinsam in der Anaerobanlage vergärt, womit der Energiegehalt beider Teilströme genutzt wird. Das entstehende Biogas kann zur Wärmeversorgung oder zur Energieerzeugung genutzt werden.

Als Restprodukt bei der anaeroben Behandlung entsteht Flüssigdünger, welcher fast alle im Abwasser enthaltenen Nährstoffe beinhaltet. Dieser wird in Speicherbehälter gesammelt und an die Landwirtschaft abgegeben. Der Nährstoffkreislauf wird damit geschlossen.

Das von Dächern und befestigten Oberflächen abgeleitete Regenwasser wird in Mulden, die in die vorhandenen Freiflächen integriert sind, versickert oder bei extrem starken Regenereignissen einem Teich zugeleitet. [15]



Abb. 40: Reihenhaus

6. NACHHALTIGES BAUEN

Am 24. November 2005 erklärte der US-amerikanische Erdölspezialist Professor Kenneth S. Deffeyes diesen Tag zum „World Oil Peak Day“. An diesem Tag wurde seiner Meinung nach der Höhepunkt der weltweiten Ölförderung erreicht.

In einem Interview mit der TAZ am 24.11.05 erklärte er weiters: „Klar, es gibt in meiner Prognose eigentlich eine gewisse Zeitspanne, aber die liegt bei nur wenigen Wochen. Entscheidend ist: Von nun an geht die Ölförderung weltweit zurück, erst langsam, dann immer schneller.“ [20]

Unbestritten ist, dass die meisten Ölquellen bereits entdeckt wurden. Neue große Quellen werden schon lange nicht mehr gefunden – nur noch Kleinere. Das Bohren nach diesen Quellen wird zusätzlich immer aufwändiger und damit teurer. [21]

Zurzeit verbrauchen 6,3 Milliarden Menschen an einem Tag soviel Kohle, Gas und Öl wie die Natur in 500.000 Tagen angesammelt hat. [22] Diese Misswirtschaft von 1:500.000 lässt keinen Zweifel zu, dass unsere Reserven an fossiler Primärenergie nicht von Dauer sind.

Neben der Verknappung der fossilen Primärenergiestoffe haben wir noch mit einem weiteren Problem, das in unmittelbarer Verbindung zu diesen Energien steht zu kämpfen. Durch die Verbrennung von Kohle, Gas und Öl gelangen Treibhausgase in die Atmosphäre, die durch den Treibhauseffekt zur globalen Erwärmung beitragen. Neueste Ergebnisse einer Auswertung eines Eiskerns des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung zeigen, dass die Treibhausgas Konzentrationen in den letzten 650.000 Jahren noch nie so hoch waren wie heute. [21] Während der letzten 650.000 Jahre betrug der Kohlenstoffanteil der Atmosphäre relativ stabil zwischen 170 und 290 Teilen Kohlenstoff pro Million Teilen (ppm) Luft. Erst in den letzten 200 Jahren, also in der Zeit in der fossile Rohstoffe in immer größerem Ausmaß verbrannt wurden, stieg der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre auf 370ppm. Die 25 wärmsten Jahre seit dem Beginn der Temperaturlaufzeichnungen im Jahr 1866 lagen alle in der Zeit nach 1975. Die Auswirkungen der Erderwärmung sind verheerend. Die Umweltkatastrophen der letzten Jahre lassen erahnen, was auf die Menschheit zukommt. Laut den Chefmathematikern der Münchner Rückversicherung reicht, bei nicht Aufhaltung des Treibhauseffektes, in etwa 50 Jahren das Bruttonationalprodukt der Welt nicht mehr aus um die Naturschäden zu finanzieren. [22]

Die Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung sind somit unbestrittene Herausforderungen für die weitere Entwicklung der Gesellschaft und sind möglicherweise entscheidend für deren Überleben.

Die Beheizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser- und Stromversorgung von Gebäuden hat mit etwa einem Drittel einen hohen Anteil am Gesamtenergieverbrauch. Einsparungen in diesem Bereich können somit einen wirksamen Beitrag zur Lösung des Gesamtproblems leisten. Technische Optimierungen an Geräten und Anlagen ermöglichen zwar einen Teil der Einsparungen, sie sind aber besonders wirksam, wenn sie auf der Basis eines klimagerecht konzipierten Gebäudes erfolgen, welches auf die Zusammenhänge zwischen lokalem Klima und Energieverbrauch eingeht. [23] Dies bringt nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile mit sich, denn schließlich verursachen entwerferische Intelligenz und Kenntnis keine zusätzlichen Kosten.

6.1 Kleinklima

Unter Klima versteht man die Zusammenfassung der typischen erdnahen und die Erdoberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraums. Je nach Größenordnung unterscheidet man zwischen Zonenklima (z.B. Mitteleuropa), Regionalklima (z.B. Flussregion), Lokalklima (z.B. Tal) und Kleinklima (z.B. Baugrundstück). [24]

Während sich ein Gebäude den standortspezifischen Klimaeigenschaften hinsichtlich Lokal-, Regional- und Zonenklima unterordnen muss, ist es möglich durch gezielte Eingriffe das Kleinklima positiv zu beeinflussen. Im Folgenden wird auf die Kleinklima bestimmenden Faktoren näher eingegangen.

6.1.1 Oberflächenart

Die Strahlung der Sonne alleine führt kaum eine Lufterwärmung herbei. Erst wenn die Sonnenstrahlen auf eine Oberfläche treffen, werden diese in Wärme umgewandelt und durch Konvektion an die angrenzenden Luftschichten weitergegeben. So prägt die Art der Oberfläche das örtliche Klima.

Folgende Oberflächeneigenschaften können das Kleinklima entscheidend beeinflussen: [25]

- Farbe über Absorption und Reflexion

Helle Reflexionswände, gegebenenfalls auch mit Glasverspiegelung, können zur Belichtung und Aufhellung dunkler Hinterhöfe und Gassenbereiche beitragen. Durch helle Fassadenanstriche können überwärmte Stadtbereiche ihre Temperaturen in gewissen Bereichen absenken.

- Materialart und -zusammensetzung über Wärmeleitung, Wärmespeicherung, Dämmung, Wassergehalt und Verdunstungsgröße

Dunkle Absorptionswände und -böden geben als Speichermassen die aufgenommene Wärme zeitlich verzögert wieder an ihre Umgebung ab. Bewegliche Dämmelemente oder Glasvorbauten können diesen Effekt verstärken, da sie den Wärmefluss nach innen lenken und so vor nächtlicher Wärmeabstrahlung schützen.

Speichermassen wie Steine, Gehbeläge, Stützmauern und dergleichen wirken als punktuelle, nächtliche Wärmespeicher und Frostschutz im Freibereich des Gebäudes. Durch Überdeckungen aller Art als Ausstrahlungsschutz kann dieser Effekt noch verstärkt werden.

- Struktur über Rauigkeit und Windbremsung

Mit der verringerten Windgeschwindigkeit an der Oberfläche verringern sich auch die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste.

- Lage und Neigung zur Sonne

Sie sind entscheidend für den Energieeintrag durch die Sonne, vor allem bei der aktiven Nutzung der Sonnenenergie durch Kollektoren und Photovoltaik.

6.1.2 Geländeform

Einen wesentlichen Einfluss auf das Lokal- und Kleinklima üben die topographischen Verhältnisse aus. Vordergründig ist natürlich die Höhenlage ausschlaggebend. Mit zunehmender Höhenlage nehmen auch Niederschläge und Windgeschwindigkeit zu, jedoch erhöht sich auch die direkte Einstrahlung durch geringere Reflexion und Streuung in der Atmosphäre. Außerdem nimmt die Lufttemperatur mit steigender Höhe ab.

Das Kleinklima ist aber auch sehr stark von der Lage eines Gebäudes im Gelände abhängig. Die Umgebungstemperaturen an Südhängen oder in geschützter Lage sind wesentlich höher als in freien Kuppenlagen oder Bodensenken, wo die schwerere kalte Luft zusammenströmt und einen Kaltluftsee bildet. Aufgrund der windgeschützten Lage in Bodensenken bilden sich hier gleichzeitig auch Staubseen, da Schadstoffe und Gase der verunreinigten Luft schlecht abströmen können.

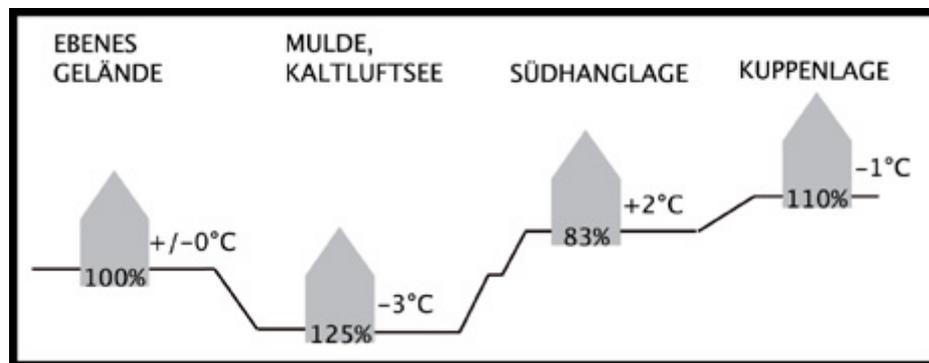


Abb. 41: Wärmeverluste und Temperaturen in Abhängigkeit von der Lage im Gelände

Je nach Orientierung und Neigung erhalten Hänge einen größeren bzw. kleineren Anteil an direkter Sonneneinstrahlung. So erhalten Südhänge 10% - 30% mehr Gesamtstrahlung als Nordhänge, während die Unterschiede der direkten Strahlung noch höher sind. Die optimale Neigung eines Hanges hängt vom jahreszeitlichen Zenitstand der Sonne ab. Sie beträgt im Sommer ca. 16° und im Winter ca. 60°. [24,25]

6.1.3 Windverhältnisse

Starke Winde wirken sich besonders im Winterhalbjahr negativ auf den Energiebedarf zur Heizung eines Gebäudes aus. Es steigen einerseits die Lüftungswärmeverluste durch erhöhten Winddruck und andererseits die Transmissionswärmeverluste, weil die wärmere Luft an der Gebäudeoberfläche schneller abgeführt wird.

Faktoren, die die Windgeschwindigkeit beeinflussen sind vor allem die Höhenlage, eine exponierte Lage auf Geländekanten und Bergkuppen sowie bestimmte Geländeformen, die eine Düsenwirkung hervorrufen können (z.B. Täler). Um das Kleinklima eines Standortes positiv zu beeinflussen ist es ratsam auftretende Winde zu drosseln. Sind keine natürlichen Windbremsen wie Waldstücke, Bodenwellen und dgl. vorhanden, kann man auch vor Ort noch Maßnahmen ergreifen. Eine Möglichkeit wäre es das Gebäude 45° gegen die winterliche Hauptwindrichtung zu orientieren, um dem Wind möglichst wenig Angriffsfläche zu bieten. [24]

Die Planung einer Windschutzanlage in unmittelbarer Nähe eines Standortes erfordert Umsicht. Eine feste Mauer beispielsweise drosselt zwar den Wind um 75%, jedoch reicht diese Wirkung nicht weit und es bilden sich zudem Luftwirbel hinter der Wand. Außerdem werden die dahinter liegenden Bereiche beschattet, was bei tief liegender Wintersonne eher zu Nachteilen führt. Besser sind hier winddurchlässige Zäune oder Hecken. Sie schwächen zwar den Wind etwas weniger ab, jedoch reicht die windberuhigte Zone bis zu einer Entfernung, die der 8-fachen Höhe des Hindernisses entspricht. Hinsichtlich der gewünschten Sonnenstrahlung bieten Laubgehölze, wie die als Heckenpflanze ideale Hainbuche, einen brauchbaren Kompromiss. Da sie im Herbst ihr Laub verlieren, sind sie für die Sonnenstrahlung durchlässiger. Sie treiben erst dann wieder neue Blätter, wenn die Sonne wieder höher steigt und somit die beschattete Zone wieder schrumpft oder eine Beschattung als Sonnenschutz ohnehin erwünscht ist. [26] Eine Windschutzhecke begünstigt zudem noch andere, das Kleinklima betreffende, Faktoren. (siehe Abb. 42.)



Abb. 43: Windschutzhecke

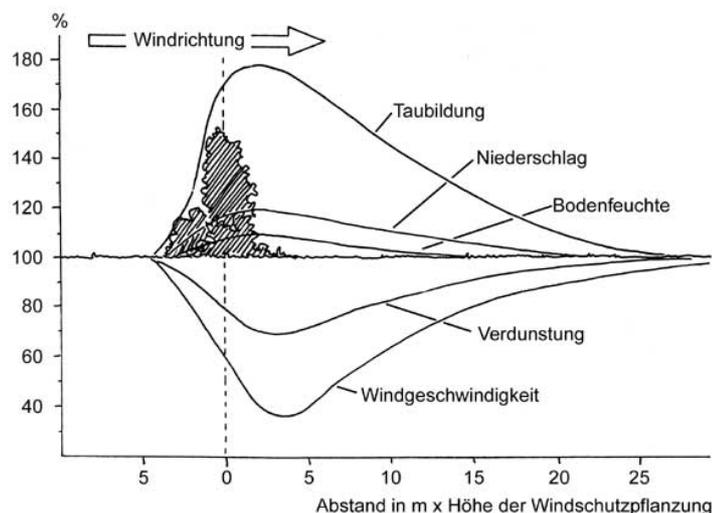


Abb. 42: Winddiagramm

6.1.4 Niederschläge

Feuchte Luft leitet die Wärme besser als trockene. Deshalb kommt es in Gebieten mit höherer Luftfeuchtigkeit, bedingt durch häufige Niederschläge oder die Nähe zu Gewässern, zu größeren Wärmeverlusten. Weiters verringert häufiger auftretender Nebel die Sonnenscheindauer. [24]

Unter Beachtung der Hauptwindrichtung lassen sich durch geringfügige Veränderungen, wie Sträucher, Zäune oder Spalier, an Haus- und Gartenzonen, Bereiche schaffen, in denen sich Schnee und Regen vermehrt oder vermindert niederschlagen, was große Auswirkungen auf das Kleinklima haben kann. [25]

6.1.5 Wasserflächen

Der gezielte Einsatz von Wasserflächen von mindestens 1m Tiefe verbessert das Klima der in ihrem Einfluss stehenden Flächen wesentlich. Wasser mäßigt durch seine phasenverschobene Erwärmung und Abkühlung die Temperaturschwankungen ihrer Umgebung. So kann 1m³ Wasser von 10°C 3.000m³ Luft von -10°C auf 0°C erwärmen. Wasserflächen bieten damit in den Übergangszeiten einen effektiven Frostschutz für Spät- und Frühfröste in den Übergangszeiten, auf einem Gebiet, das dem der zehnfachen Wasseroberfläche entspricht. Bei Gewässern ab 300m Durchmesser bilden sich bereits lokale Land- Wasser- Luftzirkulationen in Form von spürbaren Winden aus. Wird eine Kaltluftzufuhr aus der Umgebung durch entsprechenden Schutz verhindert, entstehen so optimierte Klimabereiche. [24]

Mittels Stauvorrichtungen an Bächen können individuell steuerbare Bedingungen geschaffen werden, die beispielsweise auf bevorstehenden Frost eingehen, da der Schutzbereich

des Gewässers dementsprechend vergrößert wird. Um maximalen Wärmeeintrag in das Wasser zu ermöglichen muss bei stehenden Gewässern die Ufervegetation, vor allem in den Bereichen von flach einfallender Strahlung (Ost und West), auf ein Minimum reduziert werden um Verschattungen zu vermeiden. [25]

Neben der willkommenen Entschärfung von Kältespitzen in den Übergangszeiten, bieten Wasserflächen auch bei sehr hohen Temperaturen einen gewissen Schutz. Durch die Verdunstungskälte wird die Zuluft für die Sommerbelüftung von Gebäuden abgekühlt, wenn sie über das Wasser streicht.

Aber nicht nur auf die Lufttemperaturen üben Wasserflächen einen positiven Einfluss aus, sie verstärken auch durch die Reflexionen der Sonnenstrahlen an der Wasseroberfläche den Strahlungseintrag auf lageplanmäßig abgestimmte Gebäudefassaden. Die Reflexion ist umso größer je flacher die Sonne steht, also kann dieser Effekt optimal für das Winterhalbjahr genutzt werden.



Abb. 44: Biotop

Abb. 45: Die Wasserfläche erhöht durch Reflexion den Strahlungseintrag auf die Photovoltaik-Fassade



6.1.6 Vegetation

Zwischen Klima und Vegetation besteht eine vielseitige Wechselbeziehung, sowohl in aktiver als auch passiver Hinsicht. Pflanzen passen sich dem örtlichen Klima an und sind in ihrem Wachstum von den Witterungsverhältnissen abhängig. Auf der anderen Seite wirken sie nachhaltig auf das Klima ein: [25]

- Gräser befestigen den Boden und halten Regenwasser zurück
- Niedrige Büsche bedecken den Boden und halten Feuchtigkeit
- Hohe Büsche bieten Windschutz und beschatten den Boden
- Laubbäume bilden Humus, beschatten im Sommer, dienen als Windbrecher und bieten Schutz bei Unwettern
- Nadelbäume erzeugen kühle Brisen, schützen vor Windstürmen und beschatten den Boden

Grundsätzlich weisen Grünflächen tagsüber erheblich tiefere Temperatur auf als bebaute Gebiete. Dies liegt am erhöhten Wärmebedarf, den die Pflanzen für die Transpiration und Oberflächenverdunstung benötigen. Dieser Kühlungseffekt ist aber sehr stark von der Höhe des Vegetationsbestandes abhängig. Flächen, auf denen Bäume und Sträucher wachsen, kühlen wesentlich besser als eine Rasenfläche, die sich mitunter sogar erwärmen kann. Während der Nacht drehen sich diese Verhältnisse wieder um. So kühlt eine Rasen- oder Wiesenfläche wesentlich schneller aus als baum- und strauchbewachsene Flächen, deren hoher und vielseitiger Bewuchs vor einer Wärmeausstrahlung schützt. [25]

Neben der günstigen Beeinflussung der Temperaturen rund um ein Gebäude, können Pflanzen auch direkt positiv auf das Gebäude wirken. Hierbei sind besonders der Windschutz und die Beschattung zu erwähnen, aber auch die staubfilternde Wirkung von Pflanzen ist nicht zu verachten. Positive Effekte lassen sich bereits mit Fassadenbegrünungen erzielen.

Eine Sonderform der Bepflanzung stellt die Dachbegrünung dar. Gründächer wirken lärm- und temperaturisolierend und halten große Teile des Niederschlages vom Dach zurück, was die Lebensdauer der Dachabdichtung verdoppeln kann. [27] Außerdem wird der Natur ein Teil der durch den Baukörper versiegelten Fläche wieder zurückgegeben. Da Dachkonstruktionen nur eine beschränkte Belastung zulassen, muss stets auf die Statik des Gebäudes Rücksicht genommen werden.



Abb. 46: Gründach

Es gibt zwei Begrünungsformen von Dächern die sich durch ihre Vegetationsdichte unterscheiden: [28]

- Die **Extensivbegrünung** ist eine dünne, pflegearme und trockenresistente Begrünung mit niedrigen Pflanzen wie Gräsern und Moosen. Die Dicke der Wachstumsschicht liegt bei 5 bis 12 cm.
- Die **Intensivbegrünung** besteht aus einer 10 bis 30 cm starken Wachstumsschicht. Hier ist eine aufwendigere Bepflanzung mit größerem Grünvolumen aus Rasen, Stauden, Kleingehölzen und punktuellen Büschen möglich. Eine systematische Pflege ist bei dieser Begrünungsform unumgänglich.

6.1.7 Stadtklima

Eine neue, vom Menschen geschaffene Einheit von Klima entsteht bei dicht bebauten Gebieten mit einer entsprechenden Größenausdehnung – das Stadtklima. Das Temperaturverhalten in Stadtregionen wird durch ein Zusammenspiel folgender Effekte ausgelöst: [25]

- Gebäude und Straßen wirken als Speichermassen mit enormer Kapazität und geben nachts die gespeicherte Wärme wieder an ihre Umgebung ab.
- Durch Mehrfachreflexion und Absorption wird der Eintrag der Sonnenstrahlen erhöht ohne dass dieser genutzt wird.
- Durch die gegenseitige Abschirmung und die Reflexion an Gebäuden und der stark verschmutzten Luft wird eine nächtliche Ausstrahlung der Wärme vermindert.
- Da Vegetation nur geringfügig vorhanden ist oder überhaupt fehlt, kann der Luft auch keine Wärme durch Verdunstung entzogen werden.
- Regenwasser wird schnell und unterirdisch abgeführt, daher fehlen Wasserflächen die als Puffer wirken könnten.
- Eine Durchlüftung und Abkühlung durch Freilandwinde ist kaum vorhanden, da sie von den Gebäuden abgeschirmt werden und somit ein stehendes Luftkissen entsteht.
- Eine Stadt hat durch Industrie und Verkehr eine hohe Eigenwärmeproduktion.

Im Jahresdurchschnitt sind Städte um 1 bis 2 Grad wärmer als ihre ländliche Umgebung. Bei sonnigem Wetter können durch oben genannte Einflüsse lokale Erwärmungen in Form von 6 bis 12 Grad höheren Temperaturen oder mehr auftreten. In kleineren Städten wird der Effekt der Erwärmung noch als angenehm empfunden, weil dadurch in den Übergangszeiten und im Winter Temperaturminima gemildert werden und die Erwärmungen im Sommer noch nicht zu groß sind. In Großstädten wird bei der Kombination von Windstille, hohem Staubgehalt und hoher Luftfeuchtigkeit diese Überwärmung als unerträgliche Schwüle empfunden, die durch die eingeschränkte Ausstrahlung auch in der Nacht kaum abgemindert wird. Zudem führt diese Überwärmung zu Aufwinden, die zusammen mit der verunreinigten Luft über der Stadt eine Dunstglocke hervorrufen können. Bei zu hohen Schadstoffbelastungen kann dies zu extrem gesundheitsschädlichem Smog führen. [25]



Abb. 47: Smog über Santiago in Chile

Maßnahmen für die Verbesserung des Stadtklimas sind eine konsequente Vermeidung von Luftverunreinigungen und Abwärme. Dies kann vor allem durch die Schaffung von ausreichenden Vegetations- und Wasserflächen, durch Dachgärten, Grasdächer und Fassadenbegrünungen erreicht werden, da so die Luftzirkulation und die Frischluftzufuhr entscheidend verbessert werden können. Die aktive und passive Nutzung der Sonnenenergie kann zudem durch die sinnvolle Abfuhr der Strahlungswärme Überwärmungen vermindern. [24]

6.2 Die Passivhaus Technologie

Die Passivhaus Technologie bezeichnet einen Gebäudestandard, bei dem der maximale jährliche Heizwärmebedarf höchstens 15 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr betragen darf.

Um das zu erreichen sind eine thermisch optimierte, wärmebrückenfreie und luftdichte Gebäudehülle, hochdämmende Passivhausfenster und eine effiziente Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung, die für permanente Frischluft sorgt, nötig. Somit wird, ganz ohne aktives Heizsystem, ein Höchstmaß an Behaglichkeit im Winter wie auch im Sommer sichergestellt.

6.2.1 Kriterien und Richtwerte [29]

- **Wärmeschutz und Wärmebrückenfreiheit des Baukörpers:**
Alle Bauteile der Außenhülle des Hauses (exklusive Fenster) müssen einen U-Wert kleiner als 0,15 W/(m²K) aufweisen. Dies wird mit Dämmstärken zwischen 25 und 40cm erreicht.
- **Fenster und Türen:**
Fenster und Türen sollen einen U-Wert von 0,8 W/(m²K) nicht überschreiten. Dafür sind hochwertige 3-Scheibenverglasungen und speziell gedämmte Rahmen notwendig.
- **Luftdichtheit des Gebäudes:**
Der Luftwechsel bei 50 Pascal Druckdifferenz darf nicht mehr als das 0,6-fache des gesamten Luftvolumens pro Stunde betragen. Zur Feststellung der Luftdichtheit wird bei jedem Passivhaus nach der Fertigstellung der so genannte Blower Door Test durchgeführt.
- **Wärmerückgewinnung:**
Mittels Wärmepumpe oder Wärmetauscher wird der Abluft die Wärme entzogen und der Frischluft zugeführt. Der Wärmerückgewinnungsgrad sollte 80% nicht unterschreiten.

6.2.2 Vorteile der Passivhaus Technologie

Behaglichkeit

Durch die besonders gute Dämmung der äußeren Gebäudebauteile ist die raumseitige Oberflächentemperatur der Wohnräume annähernd gleich hoch wie die Raumlufttemperatur. Kalte Wände sind nicht mehr möglich. Auch die Fenster strahlen keine Kälte mehr in den Raum. Wohnkomfort und Behaglichkeit sind damit bedeutend höher als bei konventionell gebauten Häusern.

Frische Luft

Die Qualität der Raumluft wird nicht nur durch Aktivitäten wie Rauchen, Kochen oder Putzen beeinflusst, darüber hinaus geben Baumaterialien, Einrichtungsgegenstände, haustechnische Geräte und Textilien ständig eine Vielzahl von Schadstoffen und Gerüchen ab, welche die Raumluft belasten. Hohe Raumluftqualität ist eine Voraussetzung für Wohlbefinden und zeichnet sich durch die Abwesenheit dieser Luftschadstoffe aus.

Durch die kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage, welche ein zentraler Bestandteil des Passivhauses ist, wird bei der sehr dichten Bauweise eine hygienisch einwandfreie Raumluftqualität garantiert. Optional können auch Filter für Pollen und andere Allergene in die Lüftungsanlage eingebaut werden. Die Luftqualität ist bei Häusern mit kontrollierter Wohnraumlüftung somit wesentlich besser als bei Häusern mit Fensterlüftung. [30]

Anfang Jänner 2006 wurde vom Umweltministerium und der Österreichischen Akademie der Wissenschaft eine Richtlinie zu Bewertung der Innenraumluft herausgegeben. Hierbei werden die Innenräume je nach CO₂-Konzentration in unterschiedliche Güteklassen eingeteilt. Als Konsequenz ist zu erwarten, dass in Zukunft der Belüftung von Zonen geringeren Luftwechsels (z.B. Schlafzimmer) oder dichter belegten Räumen (Schulklassen, Vortragssäle) größerer Wert beigemessen werden muss. Mit reiner Fensterlüftung können in diesen Bereichen die Vorgaben der Richtlinie in der Regel nicht erfüllt werden. [31] Wohingegen ein in Passivhaus Technologie errichtetes Gebäude durch die kontrollierte Lüftungsanlage stets höchste Raumluftqualität gewährleistet.

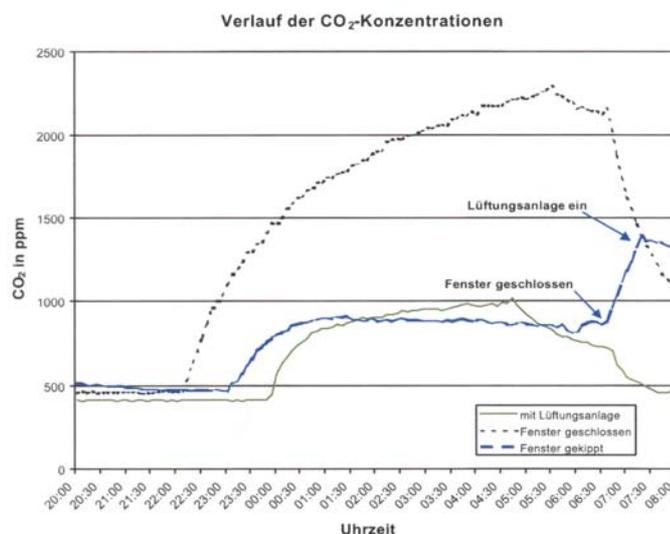


Abb. 48: Zeitlicher Verlauf der CO₂-Konzentration in einem Schlafzimmer mit verschiedenen Lüftungsvarianten

Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit

Für die Errichtung eines Gebäudes in Passivhaus Technologie sind Mehrkosten unvermeidlich. Diese beinhalten höhere Dämmstärken, bessere Fenster, eine Wohnraumlüftung sowie eine exakte Planung und Ausführung.

Trotzdem ist der Passivhausstandard unter genauer Betrachtung für Bauherren die ihr Eigenheim planen, nicht nur durch die höhere Wohnbauförderung als die kostengünstigste Lösung anzusehen. Dies wird klar, wenn man die monatlichen Kosten betrachtet. Diese setzen sich aus drei Teilen zusammen:

1. Kreditraten (rund 20 bis 30 Jahre lang)
2. Rückzahlungen der Wohnbauförderung
3. Betriebskosten und dabei vor allem Kosten für Warmwasser und Heizung

Die durch die Mehrkosten verursachten höheren Kreditraten, werden durch die geringen Kosten für Warmwasser und Heizung (ca. 75% Einsparung im Vergleich zu Neubauten nach der Bautechnikverordnung) mehr als kompensiert. Die Errichtung eines Gebäudes in Passivhaus Technologie rechnet sich also bereits vom ersten Tag an.

Hält man sich vor Augen, dass sich die Heizkosten bei der derzeitigen Entwicklung in den nächsten 25 Jahren vervierfachen werden (wobei die Heizkosten weit schneller steigen werden als die Inflation), werden die Vorteile von energiesparendem Bauen noch deutlicher. [32]

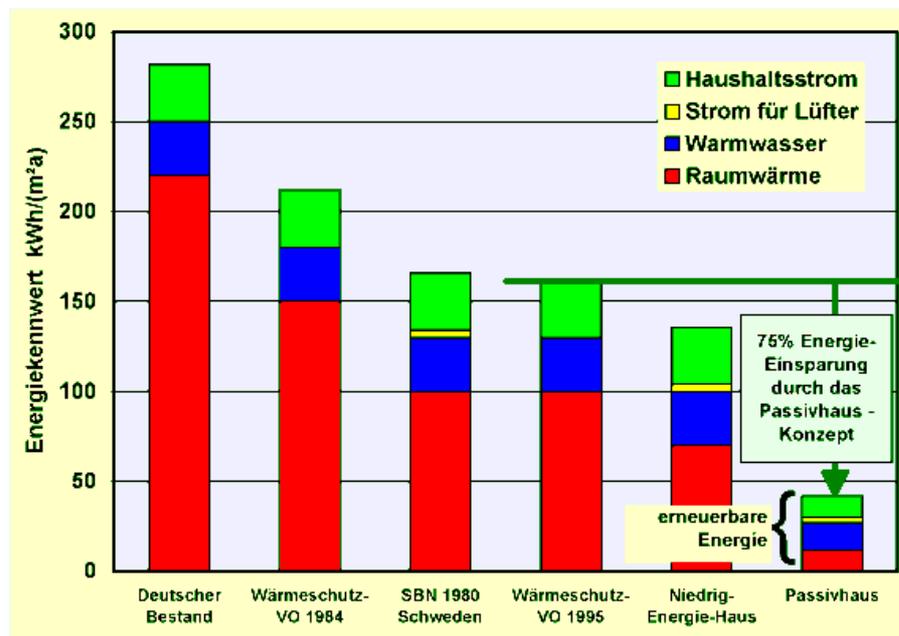


Abb. 49: Energieverbrauch bei Gebäuden verschieden Standards

Sommertauglichkeit

Auf Grund des Wärmeschutzes der Gebäudehülle und durch den Einbau von energieeffizienter Haustechnik bleibt ein Passivhaus während der heißen Sommermonate im Vergleich zu herkömmlich ausgestatteten Gebäuden auch ohne den Einsatz von Klimageräten angenehm kühl. Der Erdkollektor, welcher im Winter die Frischluft vorwärmt, bietet nun über die Lüftungsanlage einen sanften Kühleffekt. Natürlich brauchen große Südverglasungen einen konstruktiven Sonnenschutz wie zum Beispiel einen ausreichenden Dachüberstand.

Ökologische Aspekte

Durch den äußerst geringen Heizenergiebedarf reduzieren sich einerseits Umweltbelastungen wie CO₂- und Schwefeldioxid-Emissionen, wodurch das Global Warming Potential gesenkt wird. Andererseits wird der Verbrauch von wertvollen Ressourcen (Primärenergie, etc.) um rund 90% über die gesamte Lebensdauer reduziert.

Krisensicherheit

Passivhäuser sind krisensicher, da sie nur sehr langsam auskühlen. Selbst bei Totalausfall der Heizung über einen längeren Zeitraum unterschreiten sie kaum jemals die Schwelle von 15°C. Jede kleinste Notheizung sorgt für ausreichend Wärme, so reichen beispielsweise für die Beheizung eines 15m² großen Zimmers während kalter und sonnenloser Tage 150 Watt Heizleistung. Die Heizleistung eines Teelichtes beträgt zum Vergleich 30 Watt. Für die Beheizung eines 15m² großen Zimmers würden also fünf Teelichter ausreichen. Ein Passivhaus funktioniert also selbst bei Energiekrisen (wie Erdöl, Erdgas etc.) und verringert so die Abhängigkeit von Energielieferanten.

6.2.3 Die Technologien im Detail

Lüftungstechnik

Die für Passivhäuser erforderliche Wärmerückgewinnung aus der Abluft wird erst durch die automatische Frischluftzufuhr ermöglicht. Neuere Lüftungsanlagen zeichnen sich durch sehr geringe Betriebskosten aus und sind einfach bedienbar, kompakt und überschaubar. Natürlich bedeutet eine automatische Belüftung nicht, dass die Fenster immer geschlossen bleiben müssen. Um in Ausnahmefällen für ausreichend Frischluft sorgen zu können, sollte in jedem Wohnraum ein offenbares Fenster vorgesehen werden. Üblicherweise wird vor die Wärmerückgewinnungsanlage ein Erdwärmetauscher (Erdkollektor) angeordnet. Dieser bewirkt, dass im Winter die Frischluft mindestens 5°C aufweicht und somit Energie für die Erwärmung eingespart werden kann. An besonders heißen Sommertagen hingegen trägt der Erdkollektor zur Kühlung der Frischluft bei.

Sinnvollerweise werden die Lüftungsleitungen unter die Decke verlegt. Keinesfalls sollte an den Lüftungsquerschnitten gespart werden, hingegen sollte durch eine bedachte Planung die Leitungslänge auf ein Minimum reduziert werden. Weiters sind schall- und strömungstechnische Aspekte unbedingt zu berücksichtigen. Um störendes Rauschen und unangenehme Zugserscheinungen zu vermeiden, muss die Strömungsgeschwindigkeit in den Leitungen unter 3 m/s und im Bewegungsraum von Personen unter $0,25\text{ m/s}$ liegen. Für den Betrieb einer Lüftungsanlage ist ein gewisser Wartungsaufwand, wie zum Beispiel das regelmäßige Wechseln der Luftfilter, erforderlich. [33]

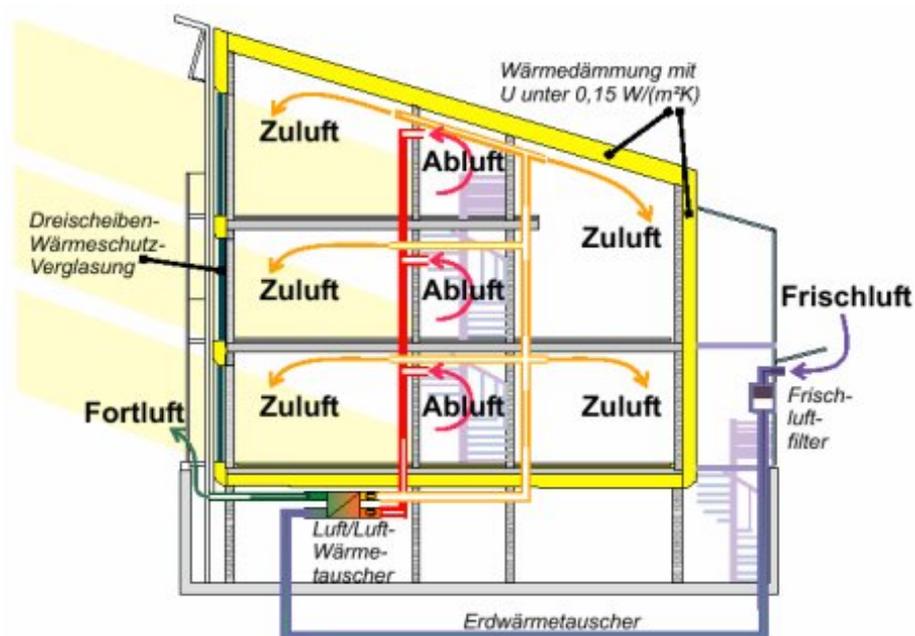


Abb. 50: Lüftungsschema eines Passivhauses

Heizungstechnik

Damit die Wärme aus der verbrauchten Abluft wieder zurückgewonnen werden kann, verfügt die Lüftungsanlage über einen Wärmetauscher, der mit der gewonnenen Wärme die kalte Frischluft wieder aufwärmt. In diesen Wärmetauscher ist sinnvollerweise auch eine Heizapparatur integriert, damit bei extremen Wettersituationen eine zusätzliche Erwärmung ermöglicht werden kann. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Frischluft nicht über 55°C erwärmt wird, da ansonsten Staubpartikel verschwelen können. Alternativ könnte die nötige zusätzliche Erwärmung auch über kleine Heizkörper erfolgen. [33]

Warmwasserbereitung in Kombination mit Sonnenenergie

Auch in unseren Breiten kann die solare Strahlung dazu genutzt werden um Wärme zu erzeugen. Sonnenenergie steht unbegrenzt und kostenlos zur Verfügung. Sie ist umweltfreundlich, bietet Unabhängigkeit und erlaubt eine dezentrale Energieversorgung.

Durch die Installation einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung lässt sich der Energieaufwand erheblich reduzieren. Wichtigster Bestandteil einer Solaranlage ist der Sonnenkollektor, der die Globalstrahlung in Wärme umwandelt und an ein Trägermedium (z.B. Wasser) abgibt.

Mögliche Bauformen sind:

- Kunststoffabsorber (z.B. für die Schwimmbaderwärmung)
- Flachkollektoren
- Vakuumröhrenkollektoren (für die Trinkwassererwärmung und die Heizungsunterstützung)

In einem Solarstaudspeicher wird im unteren Drittel die solar gewonnene Energie mittels Wärmetauscher übertragen. Das erwärmte Wasser steigt schnell nach oben auf. Hat es bereits die gewünschte Temperatur erreicht, ist eine weitere Erwärmung des Wassers durch den oberen Wärmetauscher, der mit konventioneller oder erneuerbarer Energie betrieben wird, nicht mehr nötig. [34]

Bei Häusern, die in Passivhaus Technologie errichtet sind, haben thermische Solaranlagen (Sonnenkollektoren) einen besonderen Stellenwert. Der Wärmebedarf für die Wassererwärmung ist hier nämlich ähnlich groß wie der Heizwärmebedarf. Somit erbringt eine Solaranlage, die 50% des Warmwasserbedarfs deckt, bereits eine 25%-ige Deckung des Gesamtwärmebedarfs.

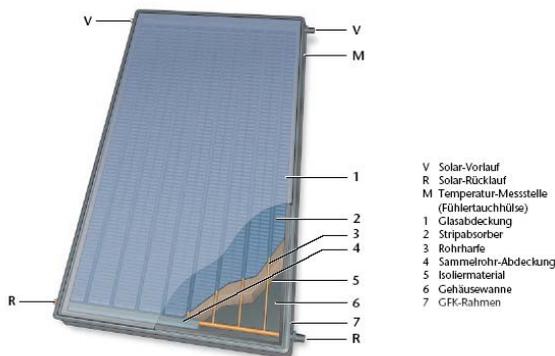


Abb. 52: Aufbau eines Flächenkollektors

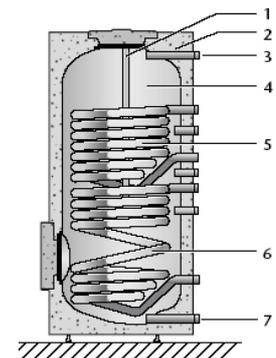


Abb. 51: Solarspeicher

1. Magnesiumanode
2. Wärmeschutz
3. Warmwasseraustritt
4. Speicherbehälter
5. oberer Wärmetauscher für die Nachheizung
6. Solarwärmetauscher
7. Kaltwassereintritt

Stromversorgung in Kombination mit Sonnenenergie

Die Technologie der Photovoltaik bedeutet die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Längst ist sie keine utopische Vision mehr, sondern wird in vielen Bereichen erfolgreich praktiziert. Derzeit gibt es auf dem Markt nur Solarzellen auf der Basis von Silizium, welches aus Quarzsand gewonnen wird. Ein Wehrmutstropfen ist der derzeit noch relativ geringe Wirkungsgrad von 5 bis 17%, was bedeutet, dass nur dieser Anteil der eingestrahelten Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Folgende Solarzellen sind erhältlich:

- Amorphe Solarzellen (Wirkungsgrad 5 bis 6%)
- Multikristalline Solarzellen (Wirkungsgrad bis zu 14%)
- Monokristalline Solarzellen (Wirkungsgrad bis zu 17%)

Trotz des eher geringen Wirkungsgrades können Solarzellen zur Unterstützung der Stromversorgung rentabel eingesetzt werden, da sie eine lange Lebensdauer von etwa 35 Jahren besitzen und der Rohstoff Sonnenlicht ohnehin kostenlos ist. Der erzeugte Strom kann direkt vom Verbraucher genutzt werden und wird bei Überschuss an das öffentliche Netz abgegeben.

Die am häufigsten eingesetzte Methode Solaranlagen zu installieren ist die Montage auf Dächern oder die Integration in die Dachfläche, da diese durch fertige Module auch am günstigsten realisierbar ist. Einer individuellen Gestaltung mit den sehr vielseitig einsetzbaren Solarzellen sind jedoch keine Grenzen gesetzt. So können Solargeneratoren durchscheinend, semitransparent, nicht durchscheinend, rund, elliptisch, etc. gestaltet werden. Bei vertikal montierten Anlagen ist aber mit deutlichen Einbußen gegenüber Anlagen, die im idealen Neigungswinkel von 30 bis 40 Grad und nach Süden ausgerichtet sind, zu rechnen. [34]



Abb. 53: Wohnhaus mit Solaranlage



Abb. 54: Berufsschule in Tirol

7. ENTWURFSGRUNDLAGEN

7.1 Entwurfsgedanke

Mit dem Entwurf soll ein Ort geschaffen werden, an dem es möglich ist weiter intensiv nach der Methode der Phytoremediation und im Besonderen der Phytoextraktion zu forschen. Diese Einrichtung soll aber auch Ausgangspunkt für Sanierungstätigkeiten mittels Phytoextraktion sein. Die zu diesem Zwecke notwendige Infrastruktur an Glashäusern und Baumschulen zur Pflanzenzucht ist die prägendste Komponente des Entwurfs.

Weiters soll hier intensive Aufklärungsarbeit geleistet werden, damit die Öffentlichkeit über die eingesetzten Technologien informiert werden kann. Da die Passivhaus Technologie als der Gebäudestandard der Gegenwart und Zukunft angesehen wird, soll die Errichtung des Gebäudes in eben dieser Technologie durchgeführt werden.

7.2 Historische Entwicklung barocker Orangerien und Gewächshäuser [35]

Mit dem naturwissenschaftlichen Denken der Renaissance entstand auch das Interesse an der kontrollierten Pflanzenzucht. Ab Mitte des 16. Jahrhunderts waren die botanischen Gärten, die an den norditalienischen Universitäten gegründet wurden, die Zentren der Pflanzenzucht. Sie dienten der Sammlung und Erforschung neu entdeckter Pflanzen.

Im 16. und vor allem im 17. Jahrhundert gewannen die in Italien heimischen Zitrusgewächse nördlich der Alpen rasch an Beliebtheit und wurden weit verbreitet.

Um das Problem der Überwinterung im rauen Klima nördlich der Alpen zu lösen, wurden im Spätherbst abschlagbare Pomeranzenhäuser („Pomeranzen“ = Bitter-Orangen) als Holzverschläge über den im Boden ausgesetzten Pflanzen errichtet und im Frühjahr wieder abgebaut („abgeschlagen“). Als ältestes Beispiel gilt der Pomeranzengarten im herzoglichen Lustgarten zu Stuttgart von 1559. Hier wurde auf einer mit Fenstern versehenen Gartenmauer ein im Frühjahr abnehmbares Dach

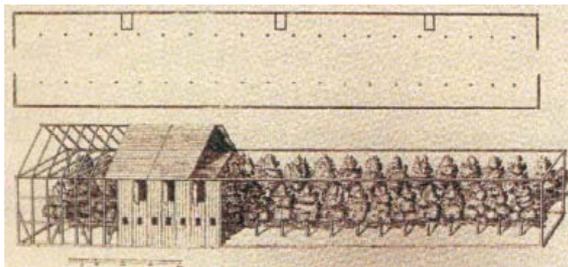


Abb. 55: Pomeranzenhaus von Samuel de Caus

errichtet. Ein weiteres frühes Beispiel ist von Salomon de Caus überliefert. Er entwarf 1620 ein 80m langes mit Brettern verkleidetes Fachwerkgerüst, das jeden Winter neu aufgestellt werden musste. Seine Erklärung, dass man in diesem Gebäude im Winter spazieren gehen könne, ohne die Kälte fürchten zu müssen, gilt als frühes Beispiel für den Gedanken des Wintergartens. Aufgrund des hohen Aufwandes des Auf- und Abbaus wurden Versuche angestellt die beweglichen Teile zu verringern.

Ein ebenfalls von Samuel de Caus nicht ausgeführter Entwurf zeigt ein gemauertes Pomeranzenhaus, bei dem nur noch das Dach und die Fensterelemente abschlagbar waren.

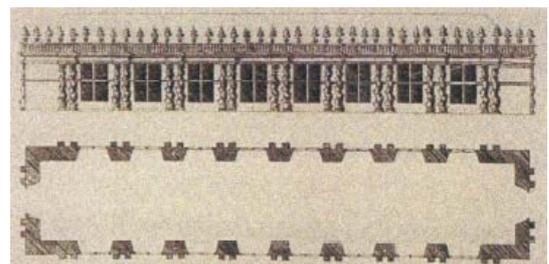


Abb. 56: Teilweise gemauertes Pomeranzenhaus

Das Feigenhaus von Kremsmünster welches 1638 bis 1640 erbaut wurde, ist das älteste in seiner Bausubstanz noch erhaltene Gewächshaus Österreichs. Während Rück- und Seitenwände fest gemauert waren, wurde die Südfassade durch eine Pfeilerfront gebildet. Über den Winter wurden das Dach und die Südfassade geschlossen und das Gebäude über eine Rauchkanalheizung beheizt.

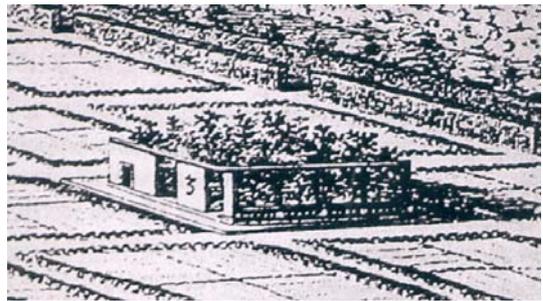


Abb. 57: Feigenhaus von Kremsmünster

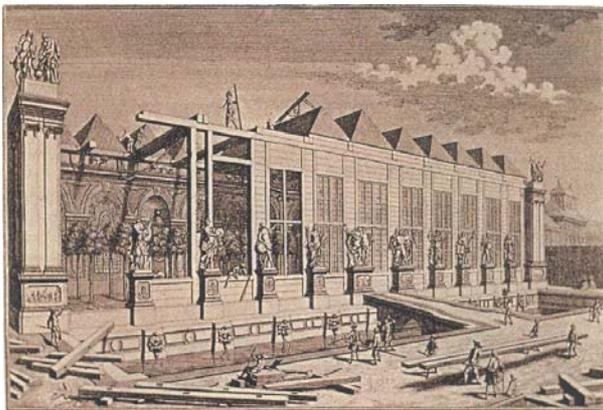


Abb. 58: Abschlagbares Pomeranzenhaus des
Belvederegartens in Wien

Anfang des 18. Jahrhunderts baute Johann Lukas von Hildebrandt ein technisch und baukünstlerisch hoch entwickeltes Beispiel eines gemauerten, abschlagbaren Pomeranzenhauses im Orangeriegarten des unteren Belvedere. Auf drei Seiten war die Bepflanzung von Mauern umgeben, während die Südfassade von einer abschlagbaren Holzkonstruktion gebildet wurde. Das Dach wurde im Herbst auf Rollen über die Anlage gerollt.

Vor allem die nachteiligen hohen Kosten für den Auf- und Abbau sowie die Schwierigkeit diesen Bautypus mit den gestalterischen Anforderungen der barocken Gartenarchitektur in Einklang zu bringen führten dazu, dass das abschlagbare Pomeranzenhaus Anfang des 18. Jahrhunderts durch das feste Orangeriegebäude und das barocke Glashaus verdrängt wurde.

Das aufwändig gestaltete Orangeriegebäude wurde in die Komposition von Schloss und Garten miteinbezogen und diente neben der Überwinterung empfindlicher Pflanzen der höfischen Präsentation. Das Gebäude wurde hierzu als Festsaal für Bankette, Konzerte und Theateraufführungen genutzt. Ein bedeutendes österreichisches Beispiel stellt das Orangeriegebäude der kaiserlichen Residenz Schönbrunn in Wien dar. 1755 vermutlich nach den Plänen von Jean Nicholas Jadots errichtet, ist es eines der größten Orangeriegebäude Europas.

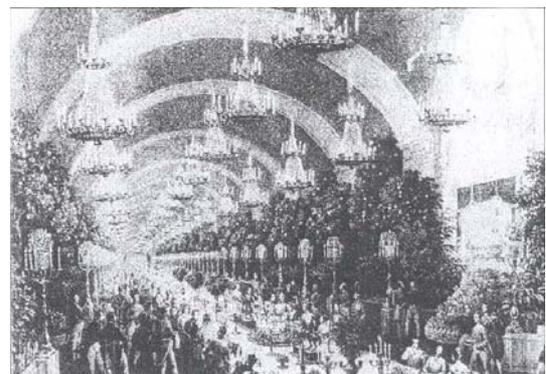


Abb. 59: Fest für den russischen Thronfolger
in der Schönbrunner Orangerie

In Österreich währt die Hochblüte des Orangerietypus nur relativ kurz. Ab etwa 1730 ist das barocke Nutzwachshaus die vorherrschende Gebäudeform. Frühestes Beispiel ist das von Johann Lukas Hildebrandt 1717 bis 1719 erbaute große Glashaus von Schloss Belvedere, welches heute in ein Wohnhaus umgewandelt ist.

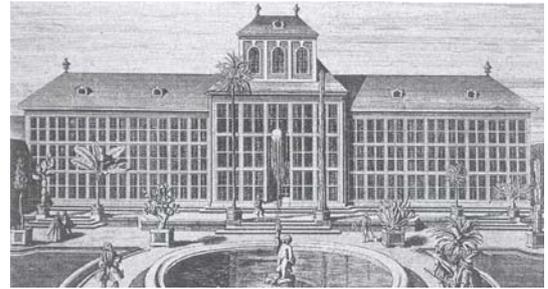


Abb. 60: Großes Glashaus im Belvedere

Der Typus des Sonnenfanghauses entwickelte sich ab 1730 und wurde zur meist verbreiteten Bauform Österreichs. Die

Seitenwände sowie die nach Norden gerichtete Wand sind massiv gemauert. An der Nordfassade befinden sich der Heizgang und allfällige Nebenräume, die als Pufferraum die Wärmedämmung verbessern. Eine vollständig verglaste und schräg gestellte Holzbalkenkonstruktion bildet die Südfassade. Die gebräuchlichste Dachform war ein nach Norden abfallendes Pultdach. Bei größeren Anlagen

verwendete man ein Satteldach oder Walmdach. Die Glasfassade mündet zur Traufe hin in einem weit vorgewölbten Putzgesims, dem so genannten „Sonnenfang“ oder „Schwanenhals“. Er diente zum Schutz der Glasfassade vor Regen und Hagel und sollte weiters das Abziehen der warmen Luftschicht vor der Glasfassade verhindern.

Da Sonnenstrahlen, die schräg auf das Glas auftreffen, stärker reflektiert werden, wurde die Glasfront geneigt, damit das Licht möglichst ungebrochen einfallen kann.

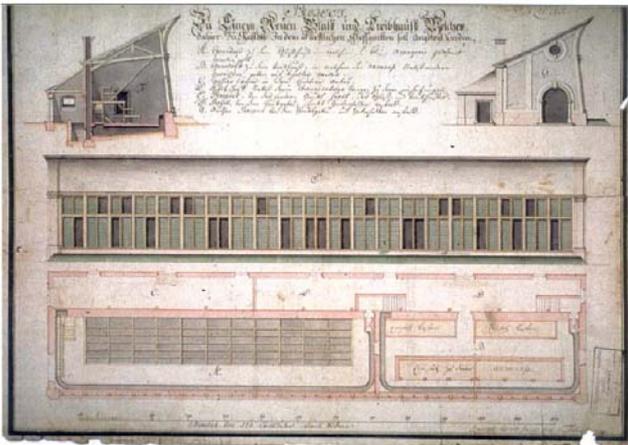


Abb. 61: Entwurf für ein Sonnenfanghaus von
Ignaz Krohmer, 1774

Der Physiker Herman Boerhaave, der 1709 bis 1730 Direktor des botanischen Gartens in Leyden war, war der Erste der Untersuchungen über den günstigsten Neigungswinkel anstellte. Er berechnete jenen Winkel der Glasfront, bei dem am kürzesten Tag des Jahres das Licht genau senkrecht auftrifft. Ähnliche Überlegungen führten Anfang des 19. Jahrhunderts George Mackenzie und John Claudius Loudon zum Entwurf des sphärischen Glashauses, das zu jeder Jahreszeit ein senkrecht auf Auftreffen der Sonnenstrahlen auf Teilbereiche der Verglasung gewährleistet.

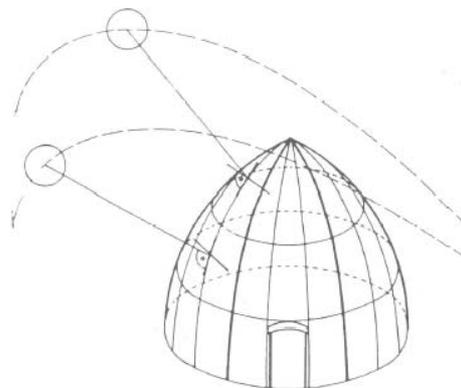
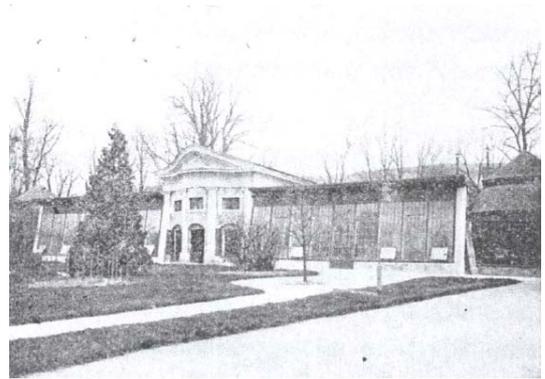
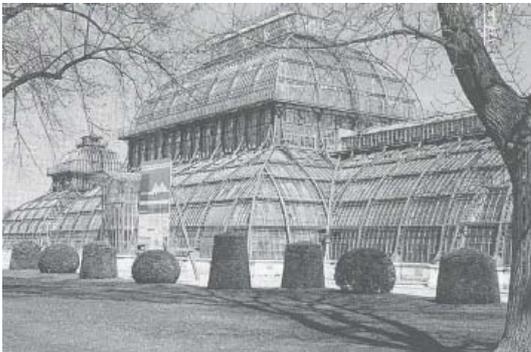


Abb. 62: Schemaskizze sphärisches
Glashaus

Barocke Gewächshäuser eigneten sich aufgrund ihrer rein nutzorientierten äußeren Gestaltung nicht zur Aufstellung in repräsentativen Gartenteilen. Deshalb entwickelte sich der Bautyp, bei dem ein Mittelpavillon zwischen zwei Nutzglashaussflügeln eingeschoben wurde. Dieser Pavillon war oft reich verziert und übernahm die Funktion des Orangeriesalons.



*Abb. 63: Gewächshausanlage mit
Mittelpavillon, Schloss
Weikersdorf*



*Abb. 64: Palmenhaus, Schloss
Schönbrunn, Wien*

Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden die Palmenhäuser in den Schlossgärten des Adels. Diese oft sehr imposanten Bauten kennzeichnen die Hochblüte der barocken Glashaussarchitektur.

7.3 Anforderungen an den Entwurf

Im Bereich Forschung ist es notwendig Glashaussabteile in verschiedenen Größen vorzusehen. Diese müssen von einander thermisch getrennt ausgeführt werden, damit verschiedene atmosphärische Bedingungen simuliert werden können. Insgesamt sollte hier eine Glashaussfläche von ca. 90m² entstehen.

Für den Bereich Anwendung ist eine Glashaussfläche von ca. 250m² notwendig. Hier werden Serien von Pflanzensetzlingen zur Aufzucht gebracht, die dann zur Speicherung auf die Anwachflächen ausgesetzt oder direkt auf eine zu sanierende Fläche gepflanzt werden. In diesem Glashauss muss ein einheitliches, frostfreies Klima vorherrschen.

Die Glasfassade der Glashaussflächen sollte maximalen Strahlungseintrag über das ganze Jahr ermöglichen. Eine Schrägverglasung mit Punkthaltesystem wird diesen Anforderungen gerecht. Da die Pflanzen auf Tischen stehen, ist eine Sonneneinstrahlung erst ab ca. 90cm Höhe notwendig.

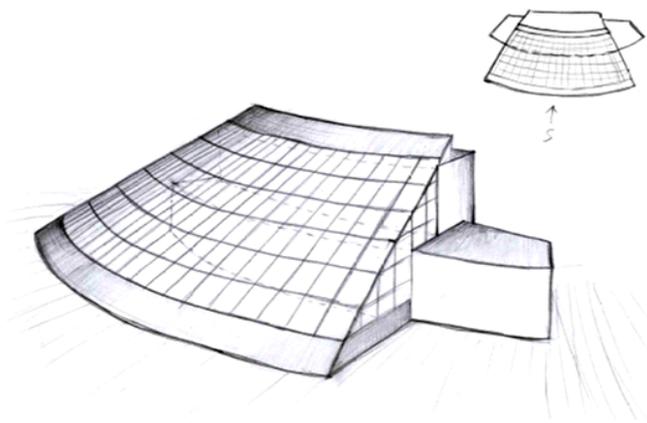


Abb. 65: Entwurfsskizze - Perspektive

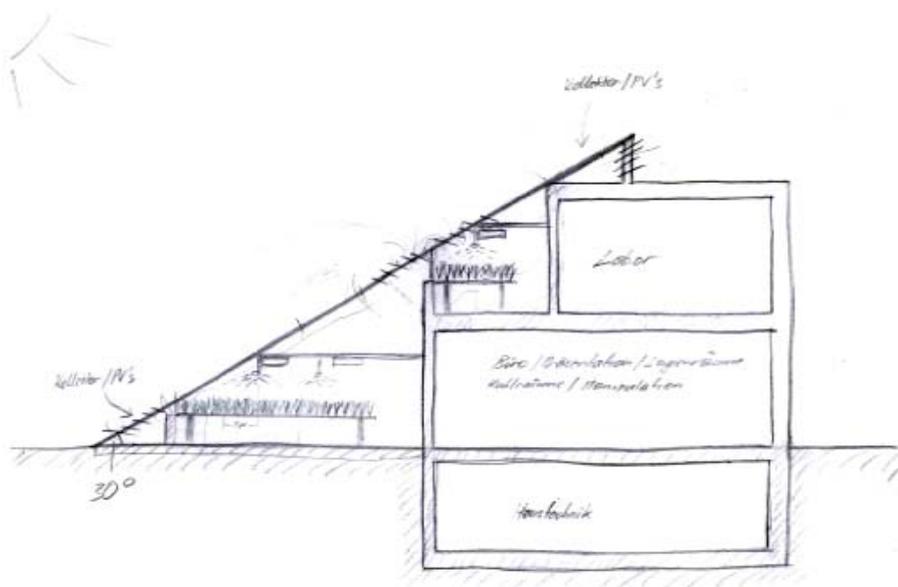


Abb. 66: Entwurfsskizze - Systemschnitt

In Gesprächen mit Experten auf dem Gebiet der Phytoextraktion und der Glashaustechnologie wurde folgendes Raumprogramm erarbeitet:

UG: Räume für die Haustechnik

- Lüftung/Heizung
- Wasseraufbereitung/Sprühnebel
- Kältemaschine/Verdunstungskühler

zusammen ca. 80m²

EG: Bereich Anwendung / Information

- | | | |
|---|---|-----------------------|
| - | Glashausfläche | ca. 250m ² |
| - | Lagerraum | ca. 60m ² |
| - | Manipulationsraum 1 | ca. 20m ² |
| - | Manipulationsraum 2 | ca. 20m ² |
| - | Kühlraum | ca. 10m ² |
| - | „Spritzkammer“ (Lager für Dünger, Pestizide, udgl.) | ca. 10m ² |
| - | Garage für landwirtschaftliche Geräte und Maschinen | ca. 40m ² |
| - | Büroraum | ca. 20m ² |
| - | Präsentationsraum | ca. 30m ² |
| - | Teeküche | ca. 12m ² |
| - | Abstellraum | ca. 4m ² |
| - | Sanitarräume | ca. 12m ² |

OG: Bereich Forschung

- | | | |
|---|----------------|----------------------|
| - | Glashausfläche | ca. 80m ² |
| - | Laborflächen | ca. 60m ² |
| - | Lagerräume | ca. 20m ² |
| - | Büroraum | ca. 20m ² |

gesamt: ca. 748m²

Um die Kriterien der Passivhaus Technologie zu erfüllen ist eine Kombination von verlustminimierenden- und gewinnmaximierenden Maßnahmen vorzusehen.

Verlustminimierende Maßnahmen:

- Bauteildämmung
- kompakte Baukörper
- geringe Fensterflächen in der Nordfassade
- Gründach

Gewinnmaximierende Maßnahmen:

- große Fenster in der Südfassade
- ausreichende Speichermassen
- Sonnenkollektoren
- Photovoltaikmodule
- Erdkollektor

7.4 Stilverwandte Architekturbeispiele

In diesem Kapitel werden Projekte vorgestellt, die zeigen wie andere Architekten mit dem Thema Schrägverglasung umgegangen sind.

7.4.1 Thomas Herzog: Wohnanlage in München 1979 - 1982

Der Bauherr dieses Projektes wünschte sich ein prototypisches Gebäude, das gläsern, leicht und transparent wirken sollte und zudem die Möglichkeit der Installation solartechnischer Anlagen vorsieht. Der Architekt reagierte auf diese Anforderungen mit einer nach Süden ausgerichteten Schrägverglasung, die sich über die gesamte Länge und Höhe der Anlage erstreckt.

Das Energiekonzept folgt dem „Haus-im-Haus-Prinzip“. So hat das eigentliche Wohnhaus im Bereich der Schräge eine zweite Hülle, wodurch auf der ganzen Länge des Gebäudes ein Zwischentemperaturbereich entsteht. Große Lüftungsöffnungen am Fußpunkt und am First des Gebäudes sowie eine Beschattungsanlage ermöglichen eine individuelle Steuerung der Wirkung dieses Zwischenbereichs. Im Winter erwärmt er sich bei Sonneneinstrahlung und wirkt somit als Pufferraum, wodurch der Heizbedarf gesenkt werden kann. Gegen die Überhitzung im Sommer wird der Sonnenschutz hochgefahren und zusätzlich die aufgeheizte Luft durch Öffnung der Lüftungskappen abgeführt. [36]



Abb. 67: Wohnanlage in München

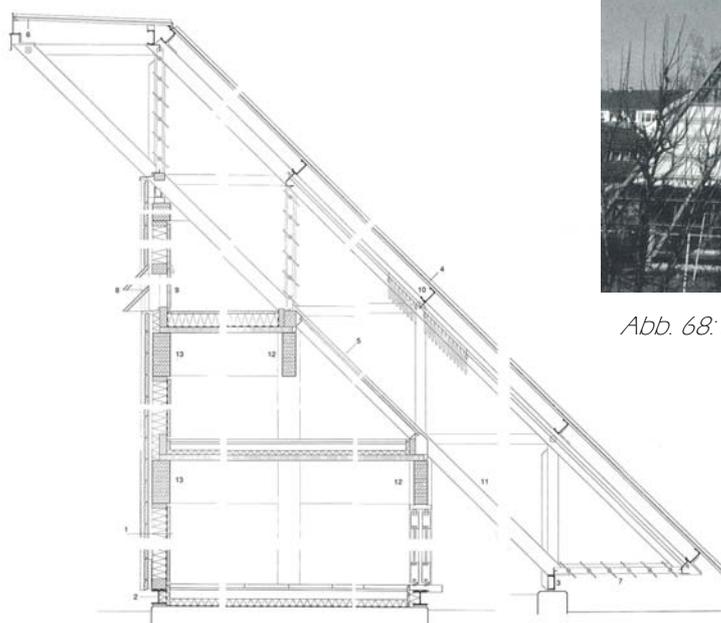


Abb. 69: Konstruktionsdetails



Abb. 68: Beschattungsanlage

7.4.2 Heinrich Eissler: Energiesparendes Studentenwohnheim in Kaiserslautern 1986

Dieses Projekt wurde von Studenten der Fachrichtung Architektur als Selbstbauexperiment bearbeitet. Es steht auf einem Hügel am Gelände der Universität Kaiserslautern und ist nach süd-südost orientiert. Auch hier beruht das Energiesparkonzept auf dem „Haus-im-Haus-Prinzip“. Ein als Sonnenkollektor dienendes Glashaushschließt die massiv gebauten Schlafeinheiten ein. Sie sind in drei Geschoßen terrassenförmig gestaffelt übereinander angeordnet, um eine bestmöglich Sonneneinstrahlung zu garantieren. Zudem schließt die äußere Gebäudehülle einen ganzjährig begrünten Garten ein. Er dient nicht nur als erweiterter Wohnraum, sondern auch der natürlichen Klimaregulierung. Die Wohneinheiten werden über die Klimahülle mit vortemperierter Frischluft belüftet. Das Glashaushselbst wird über automatisch gesteuerte Lüftungsklappen in der schrägen Südwand und der Nordwand belüftet. [24]



Abb. 70: Studentenwohnheim



Abb. 71: Gartenbereich

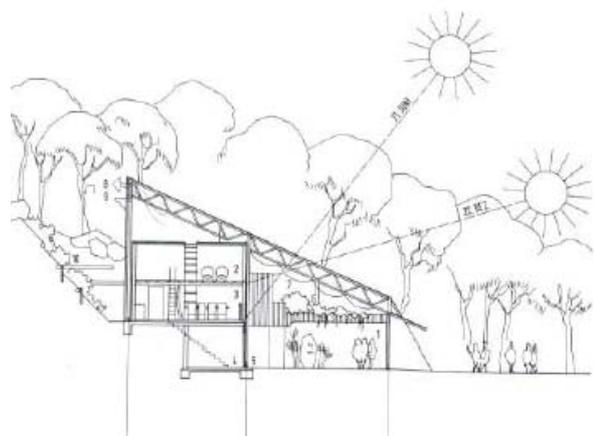


Abb. 72: Querschnitt

7.4.3 LOG ID Dieter Schremp et. al.: **Sektion für unfallchirurgische Forschung und Biomechanik der Universität Ulm 1989**

Das Kerngebäude besteht aus einem U-förmigen massiven Baukörper, welcher gut wärmegeklämt ist und als Wärmespeicher dient. Es wird von einem großen, nach Süden orientierten Glashaus umschlossen, in dem sich das Auditorium, die Küche und einige Besprechungsplätze befinden. Die Begrünung des Glashauses mit subtropischen Pflanzen, welche direkt in das Erdsustrat gepflanzt sind, bewirkt eine bessere Klimaregulierung, da die Pflanzen eine sauerstoffreiche und staubarme Luft produzieren und den Raum kühlen.

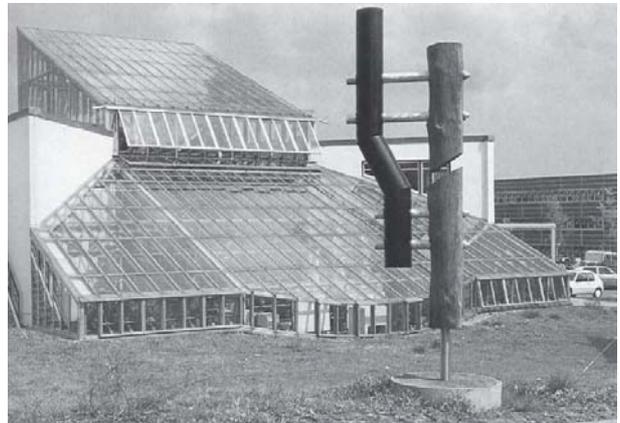


Abb. 73: Glashaus Südansicht

Alle Räume sind zum Glashaus hin orientiert und mit großen Faltenfenstern versehen. Somit können diese Räume die Überschusswärme des Glashauses zur Beheizung nutzen. Scheint im Winter keine Sonne, werden die Faltelemente geschlossen und die Räume mittels Fernwärme geheizt. Um eine Überhitzung des Glashauses im Sommer zu verhindern, sind neben thermostatgesteuerten Lüftungskappen in der Süd- und Nordwand sowie im Dachbereich zusätzlich zwei große Deckenventilatoren installiert, die für eine ausreichende Luftumwälzung sorgen. 1992 wurde das Gebäude im Norden, Osten und Westen erweitert, woraus nun der kreisförmige Grundriss resultiert. [24]

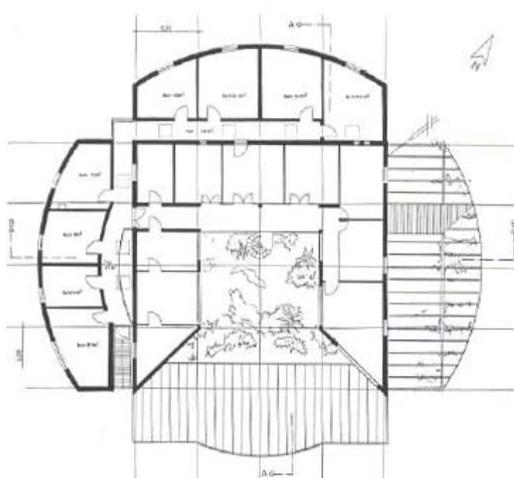


Abb. 74: Grundriss mit Erweiterung

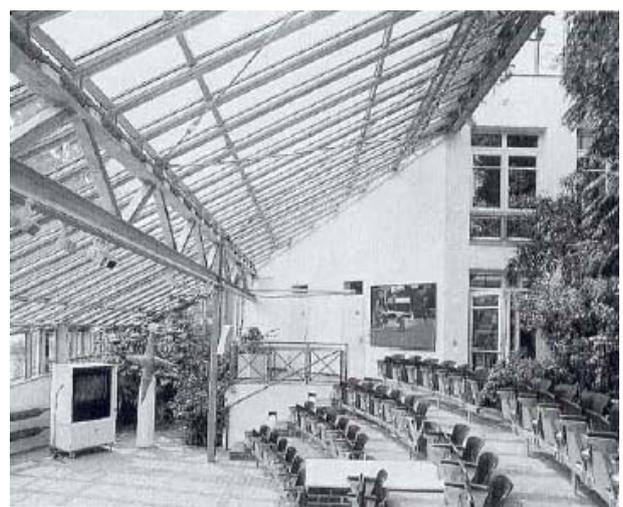


Abb. 75: Auditorium

7.4.4 Volker Giencke: „Ödorfer“, Klagenfurt 1989 – 1992

Das Gebäude wurde für einen Sanitärgrößhändler entworfen und vereinigt die Funktionen einer Ausstellungshalle und eines Betriebsgebäudes mit großer Lagerhalle. Das 75m lange und 20m breite Glasdach ist unter 30 Grad nach Norden geneigt und kann in zwei Sektionen über seine gesamte Länge geöffnet werden. Die optimale Regulierung des Klimas wird somit gewährleistet.



Abb. 76: Ansicht von Westen



Abb. 77: Ansicht von Nord-Ost

Unter der Schrägverglasung befindet sich der Ausstellungsbereich sowie die Kundenbetreuung. Hier reflektieren herabhängende Aluminiumfächer das künstliche Licht und erzeugen so interessante Effekte.



Abb. 78: Ausstellungsbereich und Kundenbetreuung

7.4.5 Helmut Richter: Doppelhauptschule, Wien 1994

Die Bildungsstätte ist teilweise in einen Südhang eingegraben und im Süden durch ein großes Glasschrägdach abgeschlossen. Drei zweibündige Schultrakte schließen sich nach Norden an die verglaste Eingangs- und Pausenhalle, den Pausenhof und die 48m lange 4 bis 7m tief in den Boden eingegrabene Dreifachturnhalle an.



Abb. 79: Südansicht

Die Schrägverglasung wurde im patentierten Punkthaltesystem Litewall ausgeführt. Der Isolierglasaufbau besteht aus einer 8mm starken Außenscheibe aus grünlich getöntem ESG, einem Luftzwischenraum von 12mm sowie einer 16mm starken Innenscheibe aus VSG, deren Innenseite mit einem zu 30% deckendem weißen Punktraster bedruckt ist. Der U-Wert dieses Verglasungssystems beträgt $1,8W/m^2K$. Durch traufen- und firstnahe Lüftungsöffnungen können die Hallen natürlich belüftet werden. Sollte diese Lüftungsform nicht ausreichen, wird eine mechanische Stützlüftung zugeschaltet. [37]



Abb. 80: Innenansicht Turnhalle

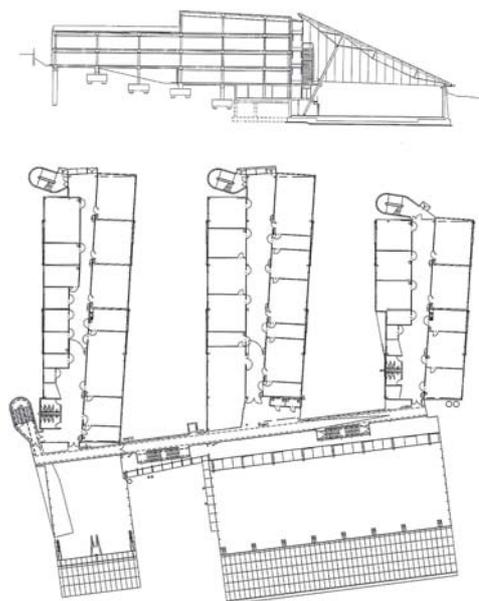


Abb. 81: Grundriss, Schnitt

7.4.6 Uwe Kiessler + Partner: Technologiezentrum im Wissenschaftspark Gelsenkirchen 1995

Das dreigeschossige Hauptgebäude, welches auch als Erschließungsachse für neun ebenfalls dreigeschossige Pavillons dient, ist durch eine geneigte Verglasung an der Westfassade abgeschlossen. So wird eine Pufferzone in Form einer 300m langen Arkade gebildet, welche die eingestrahelte Sonnenenergie für die Erwärmung der Arkade und der Büros nutzt. Bei besonders tiefen Außentemperaturen ist eine Bodenheizung vorgesehen. Im Sommer kommen die außenliegenden Stoffrollos zum Einsatz und das untere Drittel der Glasfassade, welches aus Hubelementen besteht, wird hochgefahren. Dadurch kann Außenluft in die Arkade einströmen, die durch die Klappflügel im First wieder ins Freie gelangt. Diese Luftströmung kann auch zur Kühlung der Gebäudespeichermassen während der Nacht dienen. [38]



Abb. 82: Westfassade

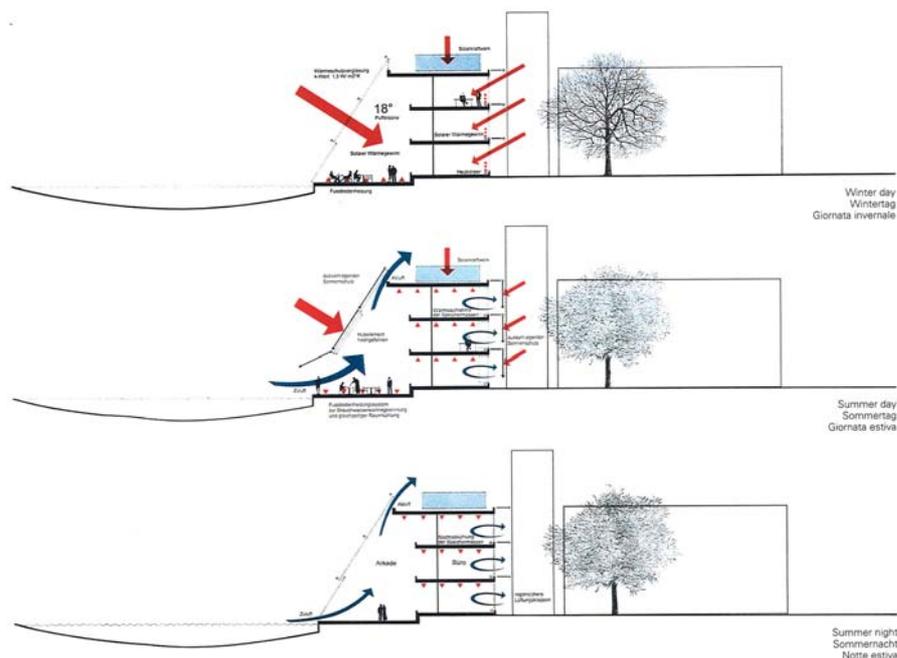


Abb. 83: Klimakzept: Wintertag - Sommertag - Sommernacht

8. ENTWURF

8.1 Standortbeschreibung

Als Standort des Entwurfs ist das Interuniversitäre Department für Agrarbiotechnologie, die IFA in Tulln, vorgesehen. Hier sollen in Form einer Erweiterung die nötigen Voraussetzungen für die Umsetzung des Entwurfes geschaffen werden. Der Standort zeichnet sich einerseits durch die vorhandene Forschungsinfrastruktur (Technologie Park) sowie durch die Nähe zu Wien und somit auch zu Osteuropa, welches als potentiell Einsatzgebiet angesehen wird, aus. Andererseits sind genügend Freiflächen vorhanden, die der Pflanzenzucht dienen können. Auch möglicherweise notwendige Erweiterungen der Anwachsf lächen stellen kein Problem dar.



Abb. 84: Anlage der IFA-Tulln

Daten des Standortes:

Adresse: Niederösterreich
3430 Tulln
Konrad Lorenz Straße 20

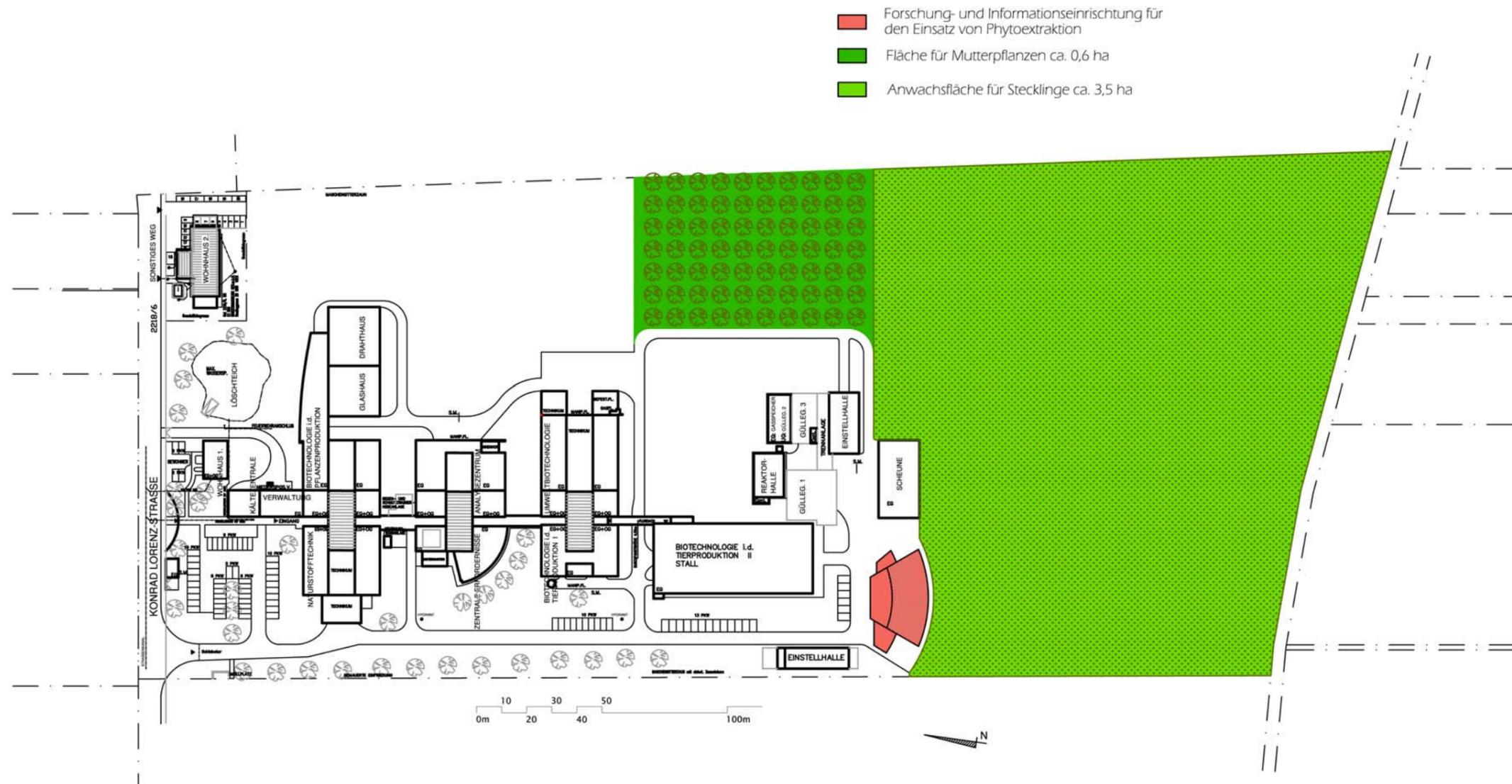
Koordinaten: 48°19' n.Br. / 16°03' ö.L.
Seehöhe: 172m

Klima:

- Subkontinentales Übergangsgebiet mit pannonischem Klimaeinfluss (warm-trockene Sommer)
- Die langjährige Jahresmitteltemperatur beträgt 8,6°C
- Durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge sind 837mm
- Die Durchschnittswerte für die Vegetationszeit, Mai bis September liegen bei 16°C bzw. 450mm

8.3 Baumschulflächen

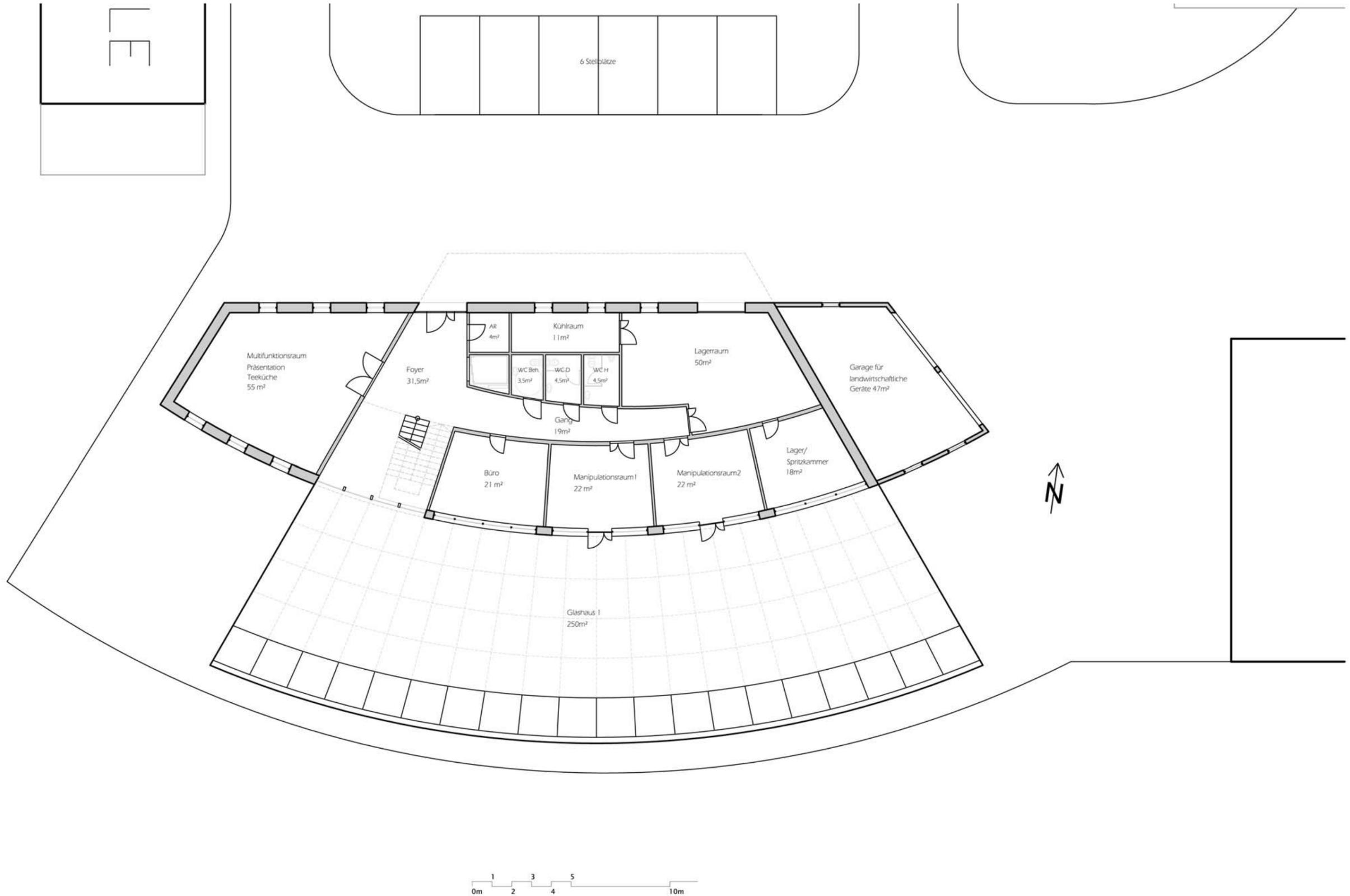
M 1:2000



8.4 Grundrisse

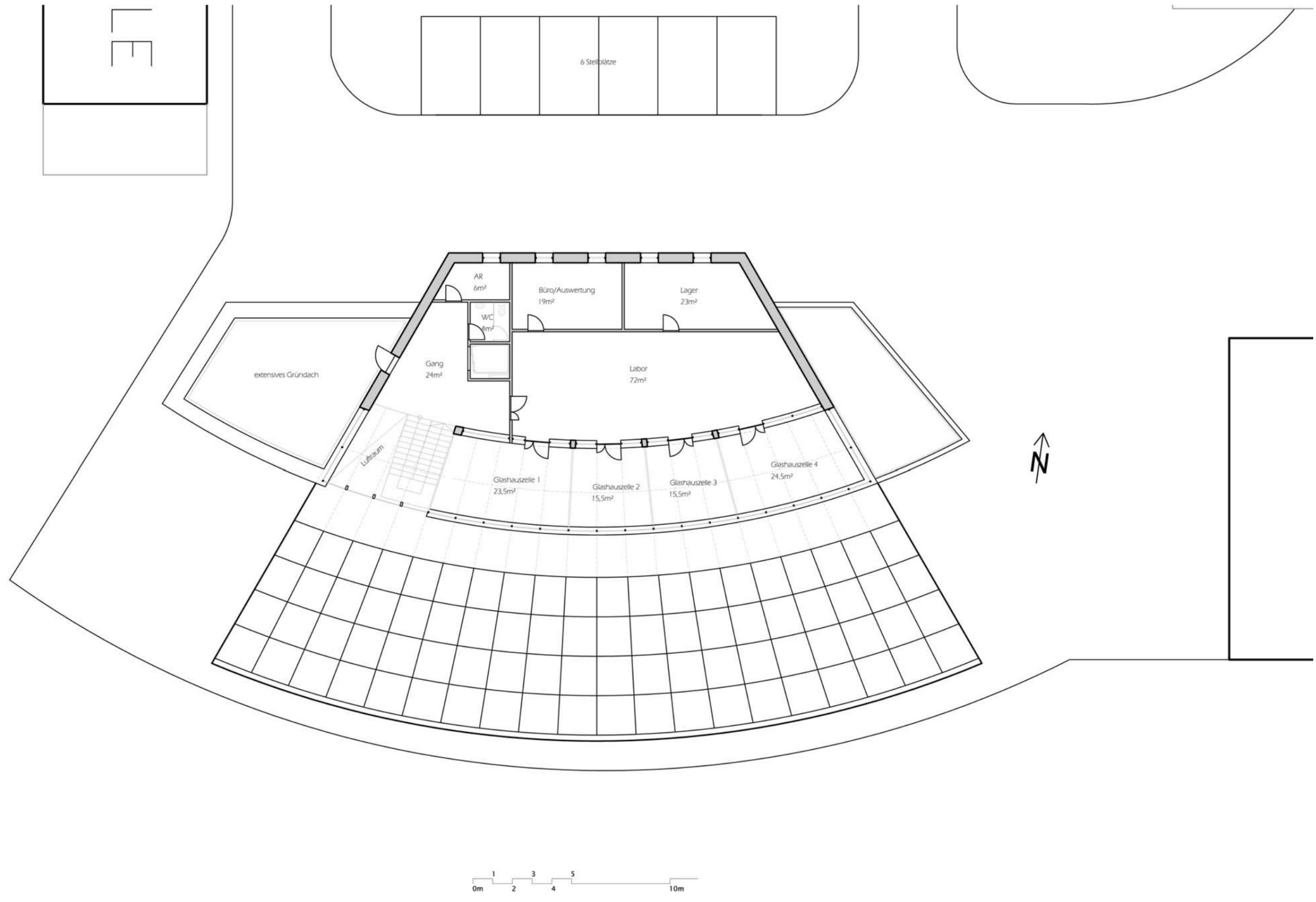
Grundriss Erdgeschoss

M 1:200



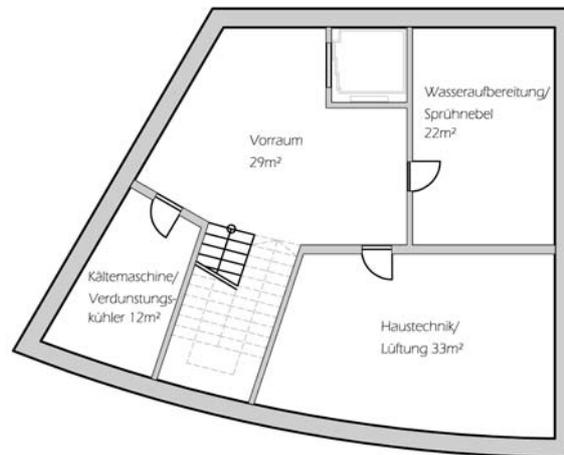
Grundriss Obergeschoss

M 1:200



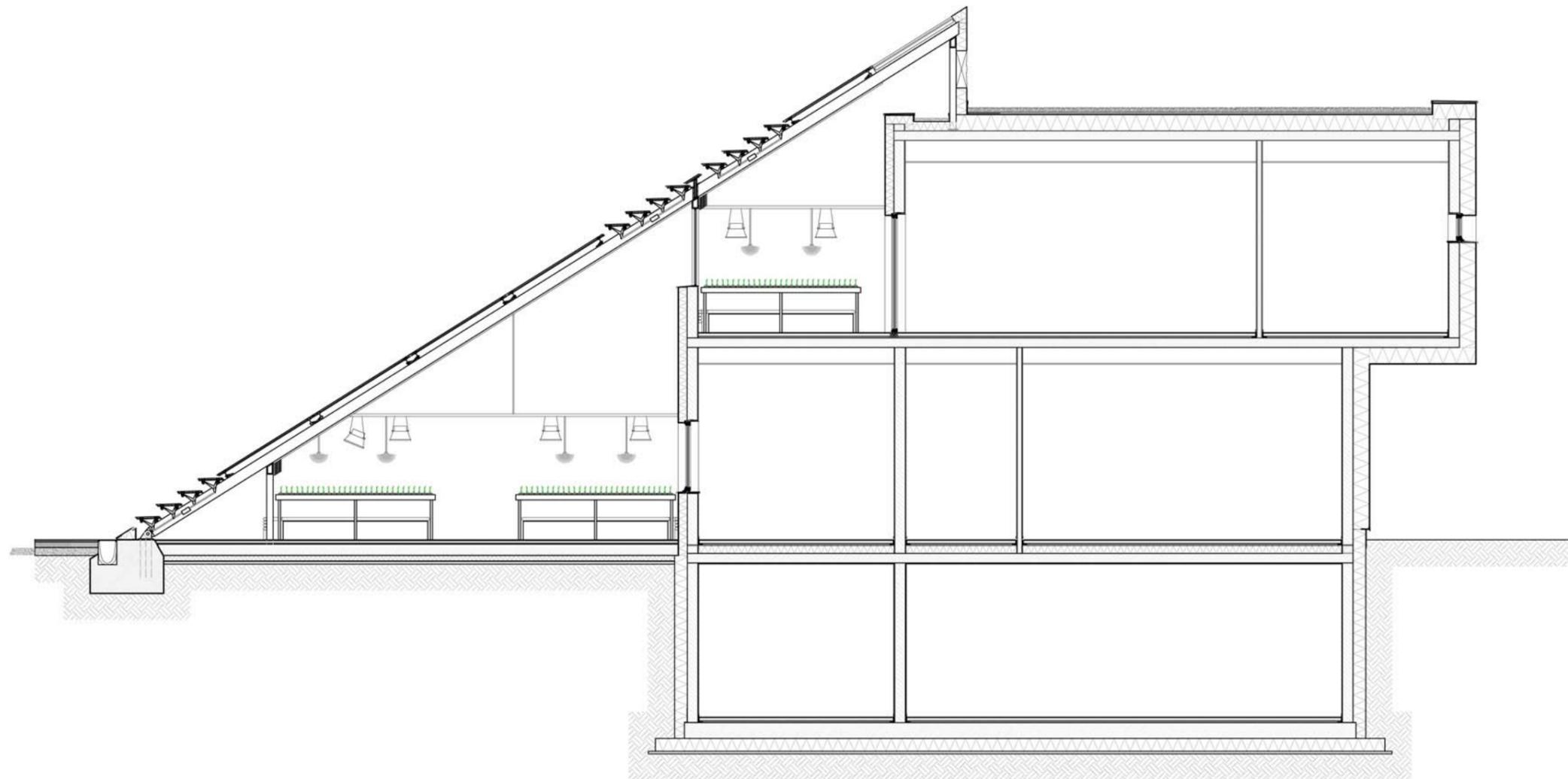
Grundriss Untergeschoss

M 1:200



8.5 Querschnitt

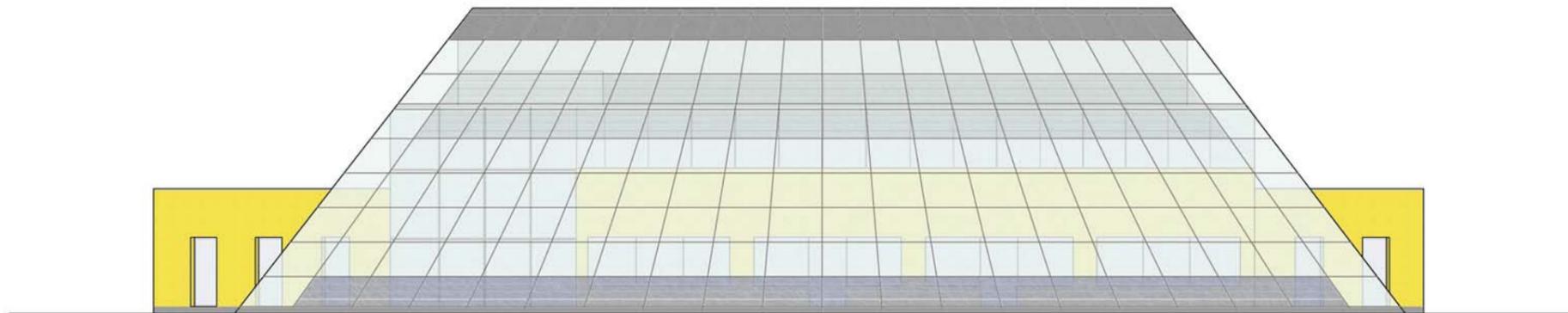
M 1:100



8.6 Ansichten

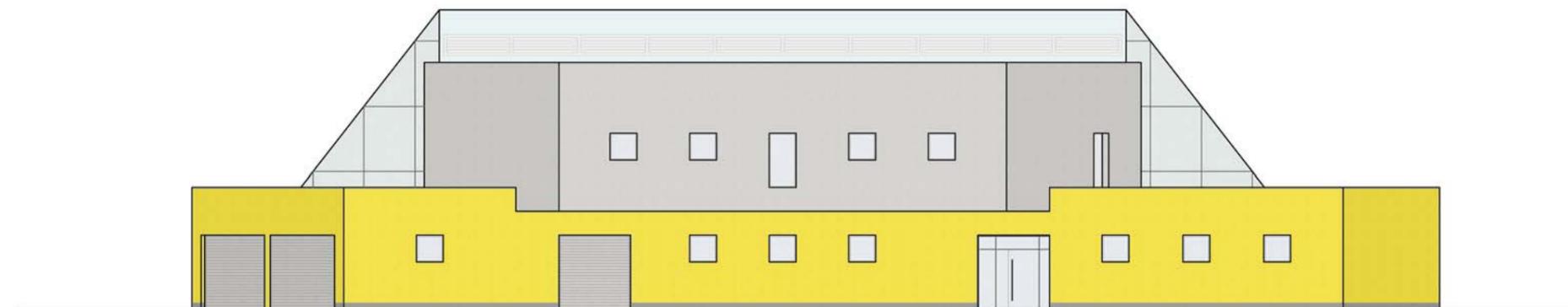
Ansicht Süden

M 1:200



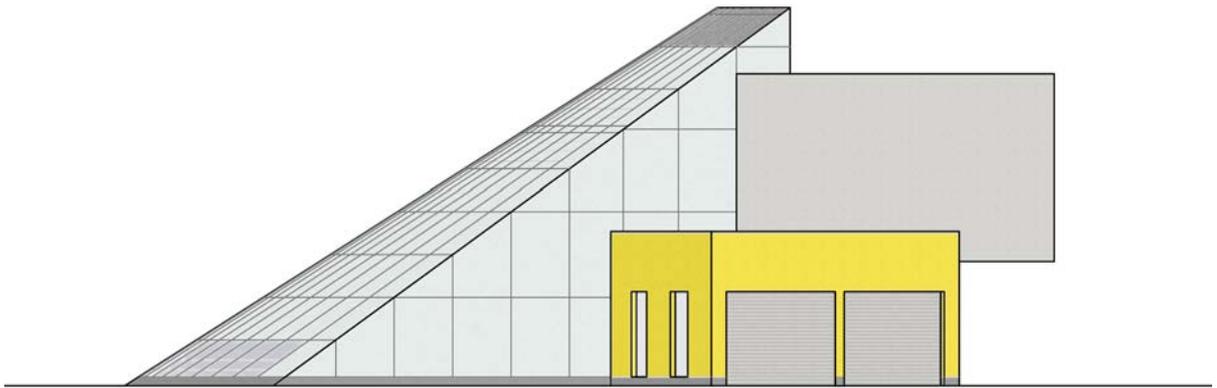
Ansicht Norden

M 1:200



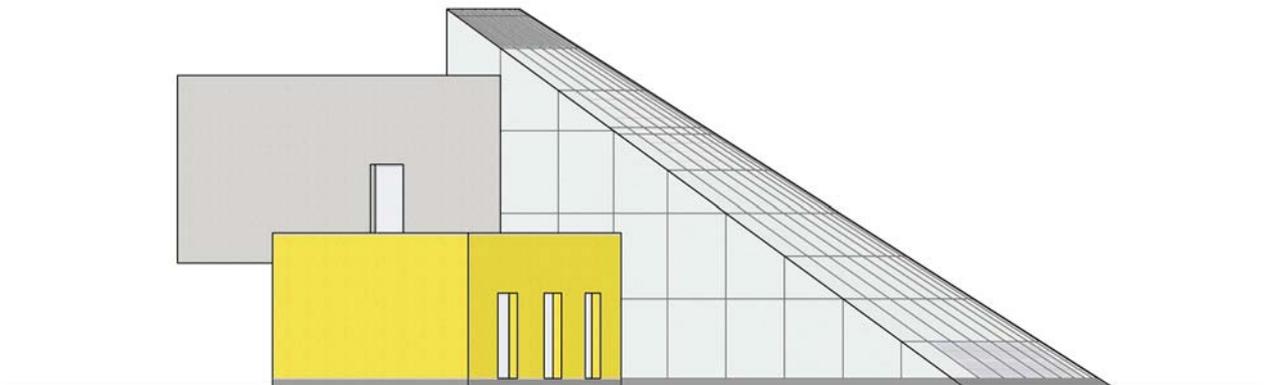
Ansicht Osten

M 1:200



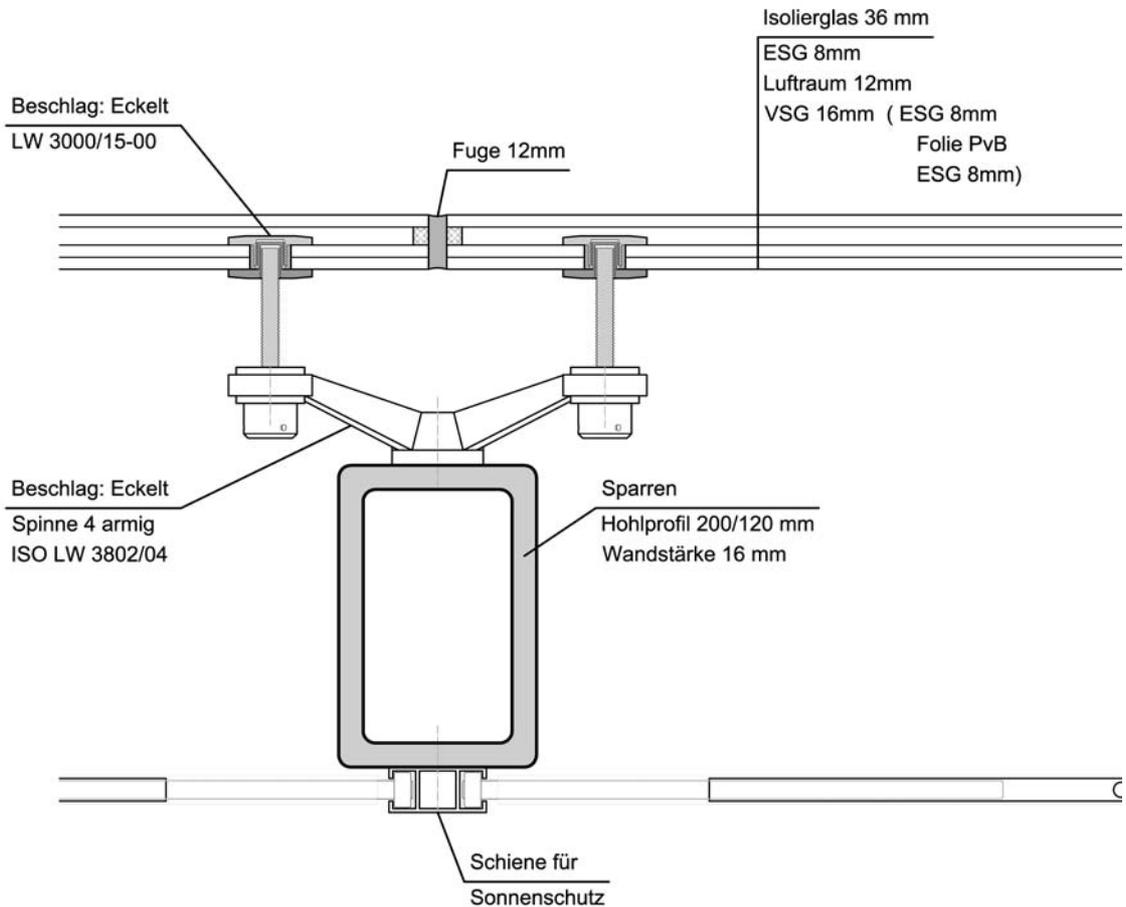
Ansicht Westen

M 1:200



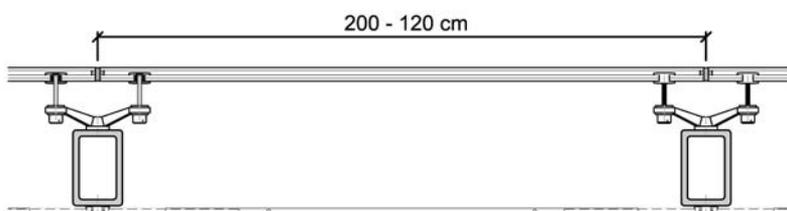
8.7 Aufbau der Glasfassade

Isolierverglasung mit
Punkthaltesystem M 1:5



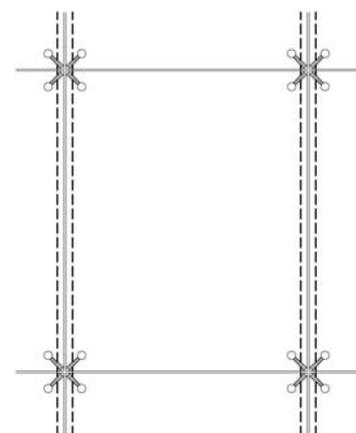
Punkthaltesystem M 1:20

Der Sparrenabstand von anfänglich 200cm verringert sich mit zunehmender Höhe auf 120cm



Punkthaltsystem M 1:50

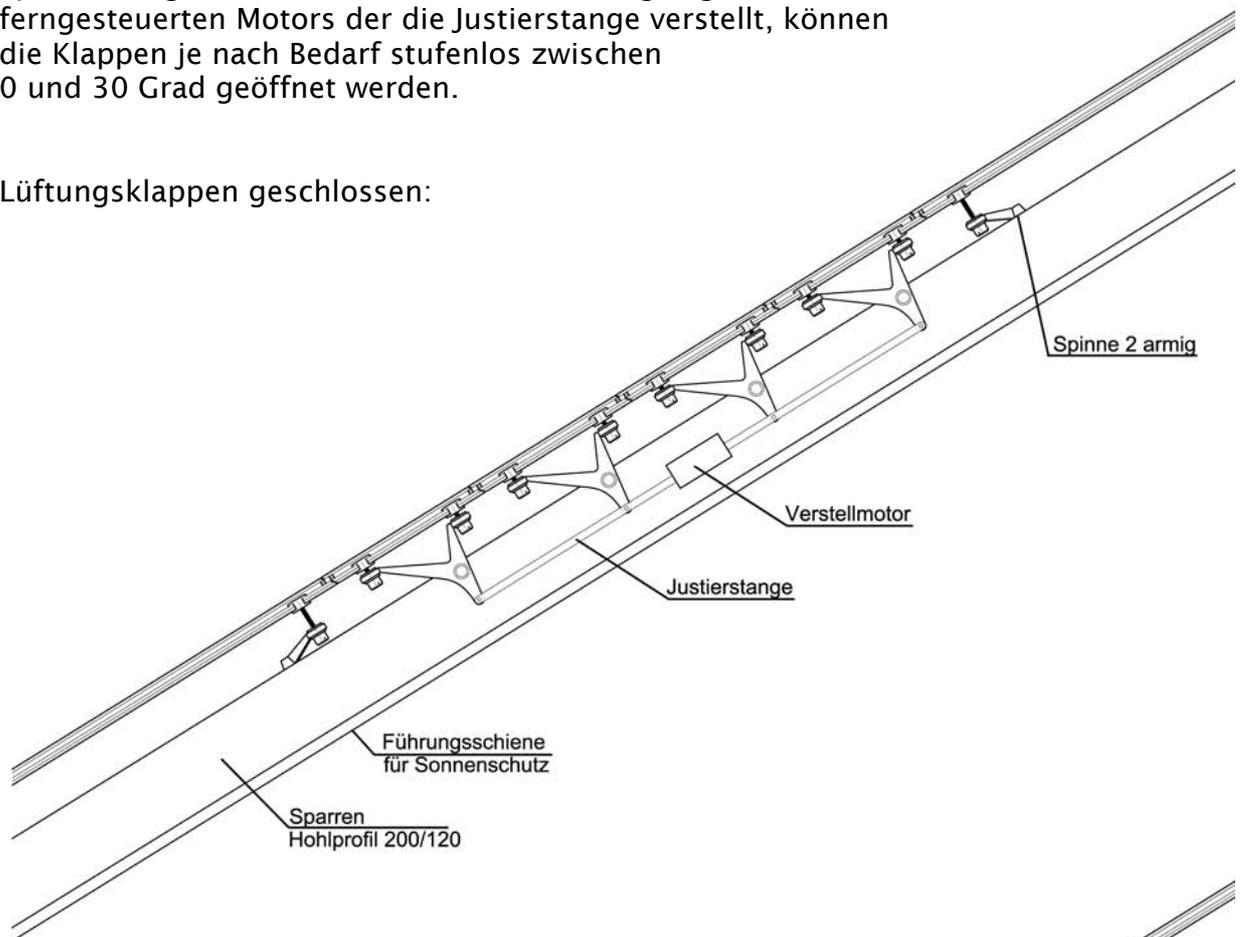
Draufsicht



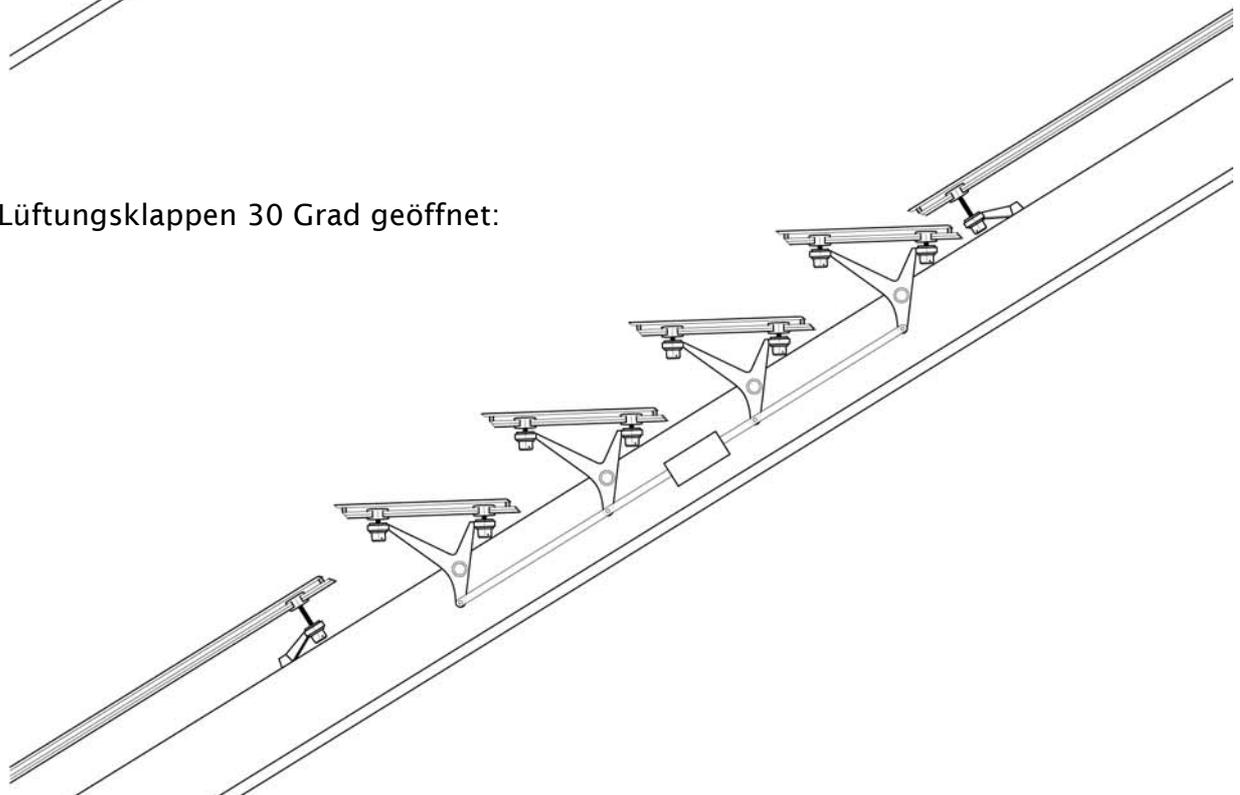
Lüftungsklappen M 1:20

Jede Klappe wird von 2 Y-förmigen Beschlägen gehalten, die jeweils um ein auf den Sparren aufgeschweißtes Rohrstück drehbar gelagert sind. Mittels eines ferngesteuerten Motors der die Justierstange verstellt, können die Klappen je nach Bedarf stufenlos zwischen 0 und 30 Grad geöffnet werden.

Lüftungsklappen geschlossen:

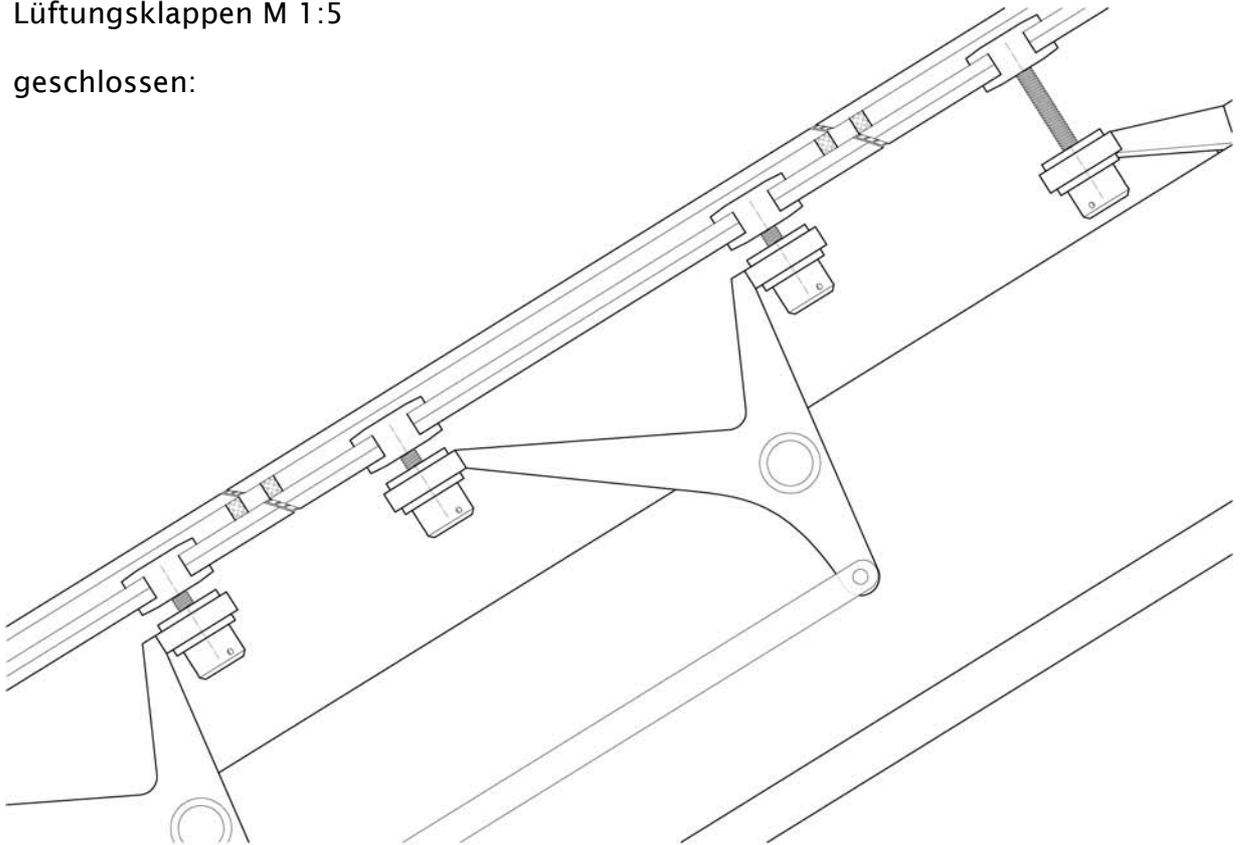


Lüftungsklappen 30 Grad geöffnet:

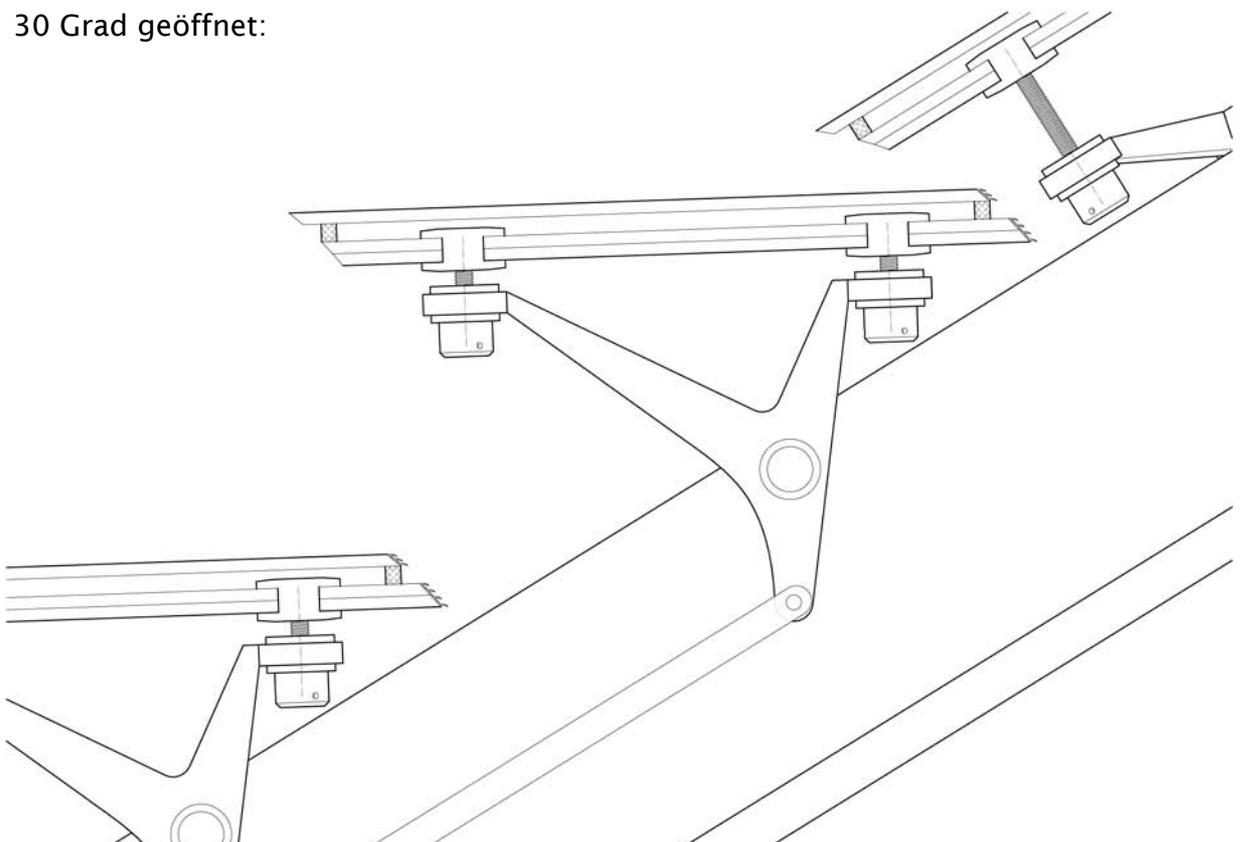


Lüftungsklappen M 1:5

geschlossen:



30 Grad geöffnet:



8.8 Energiekonzept

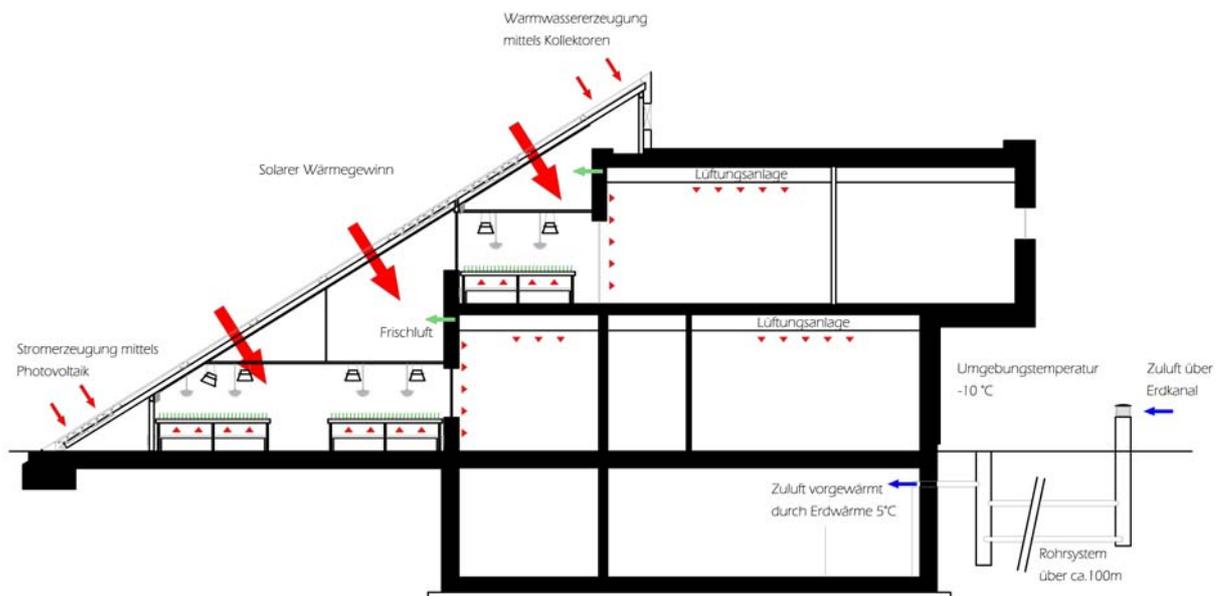
Wintertag

Die Sonnenstrahlen treten ungehindert durch die Glasfläche und wärmen somit sowohl die Luft als auch die Speichermassen des Gebäudes auf. Nach Sonnenuntergang wird die gespeicherte Wärme wieder an die Räume abgegeben.

Die Frischluft wird über den Erdkollector zugeführt. Durch die relativ konstante Temperatur des Erdreichs in 1,5 - 3 Meter Tiefe wird die Zuluft vorgewärmt und es ist folglich weniger Energie für deren Erwärmung notwendig.

Zum Energiekonzept des Gebäudes gehört zum einen eine Photovoltaikanlage die in die untersten Lüftungsklappen integriert ist (in dieser Höhe wird noch keine Sonneneinstrahlung für die Pflanzen benötigt). Zum anderen wird mittels Hochleistungs-Flachkollektoren, die unter dem Giebel installiert sind Warmwasser erzeugt.

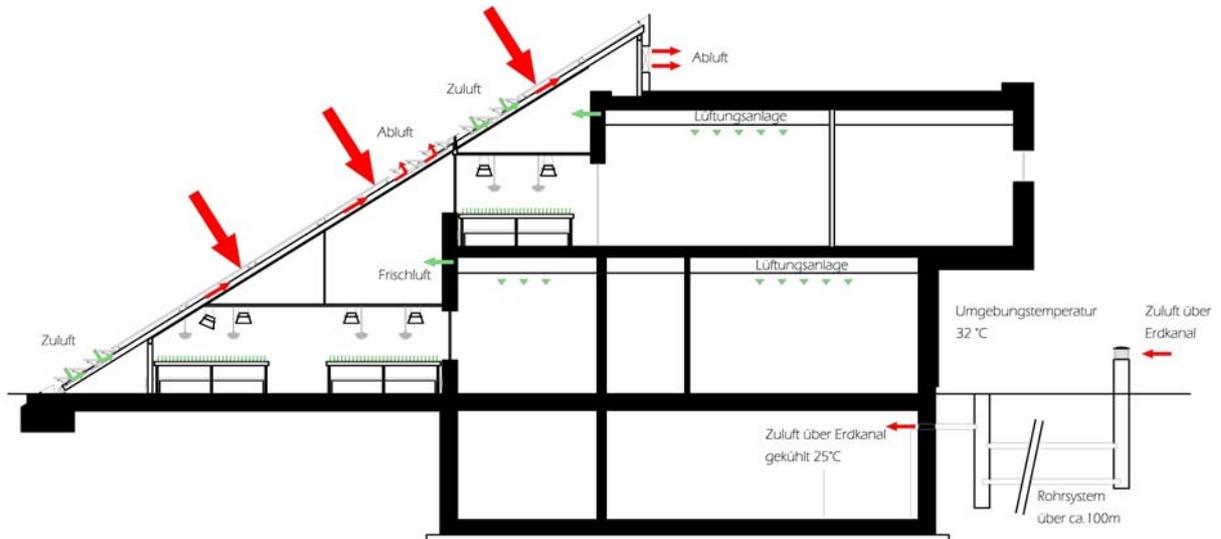
An sehr kalten Tagen werden die Pflanzentische von unten mittels Warmwasser führenden Rohren beheizt.



Sommertag

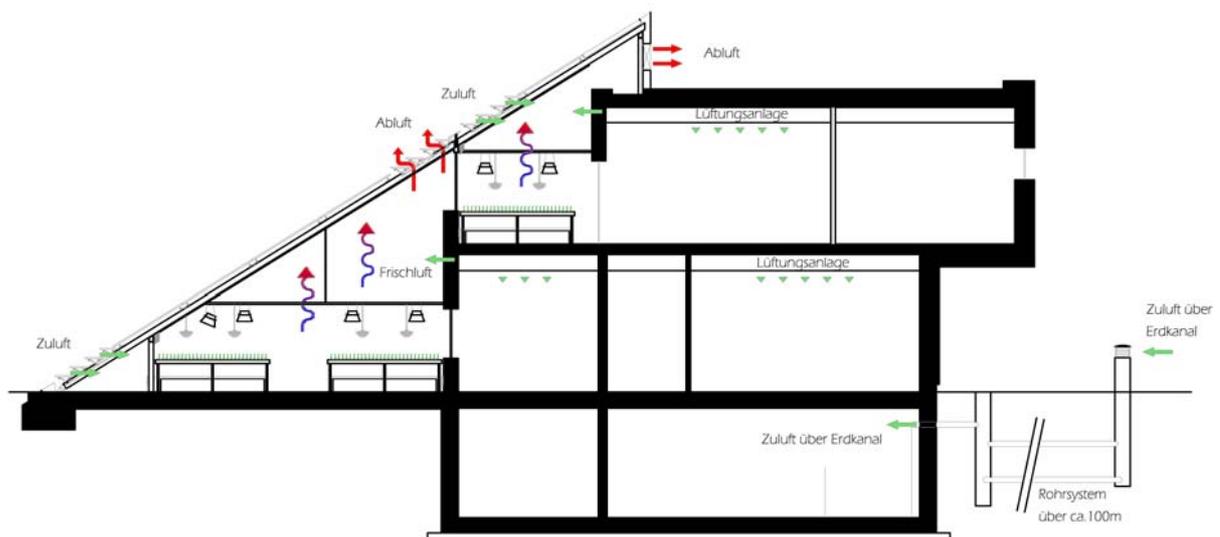
Um eine Überhitzung der Glashäuser zu vermeiden wird der innenliegende Sonnenschutz hochgefahren. Zusätzlich zur Beschattung werden die Lüftungsklappen geöffnet. Die Wärme die sich im Zwischenraum von Sonnenschutz und Glasfläche anstaut wird somit effektiv abgeführt.

Unterstützt wird die Frischluftzufuhr von der Lüftungsanlage des Gebäudes. Die Zuluft für die Lüftungsanlage läuft dabei durch den Erdkanal und wird somit gekühlt. Damit wird auch an besonders heißen Tagen eine angenehme Raumtemperatur von maximal 25 - 27°C gewährleistet.



Natürliche Belüftung

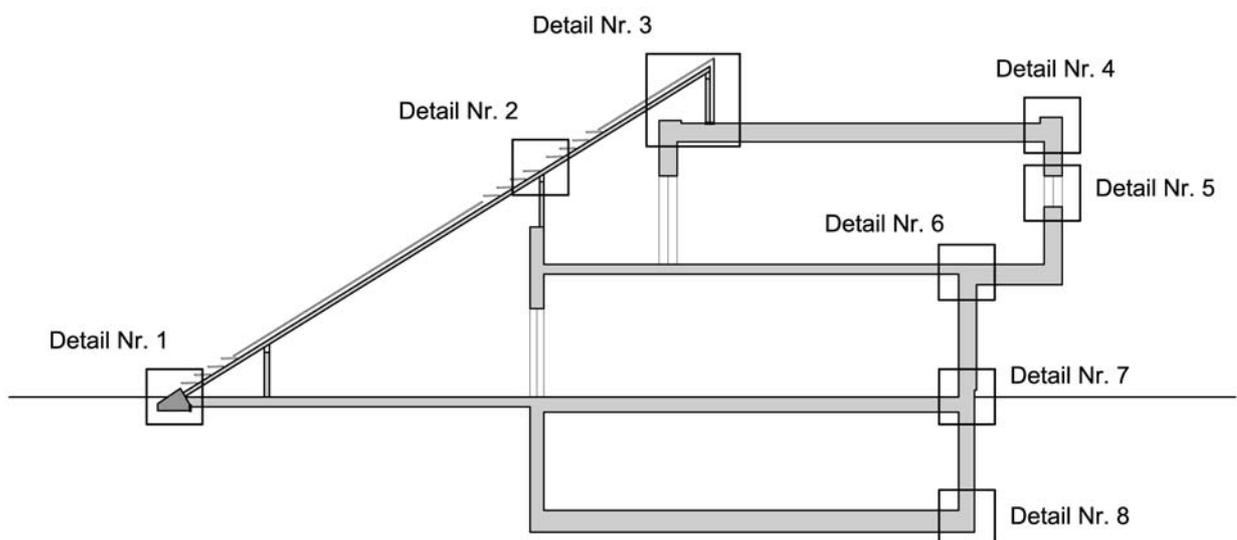
Jede Glashauseinheit kann über die stufenlos öffenbaren Lüftungsclappen individuell natürlich belüftet werden. Die Frischluft strömt dabei über die unteren Clappen in den Raum, erwärmt sich, steigt auf und wird über die oberen Clappen bzw. über die Vorrichtung auf der Rückseite der Schrägverglasung wieder abgeführt. Sollte bei Regen oder aus sonstigen Gründen die Öffnung der Clappen nicht möglich sein, übernimmt die automatische Belüftungsanlage diese Funktion.



8.9 Details

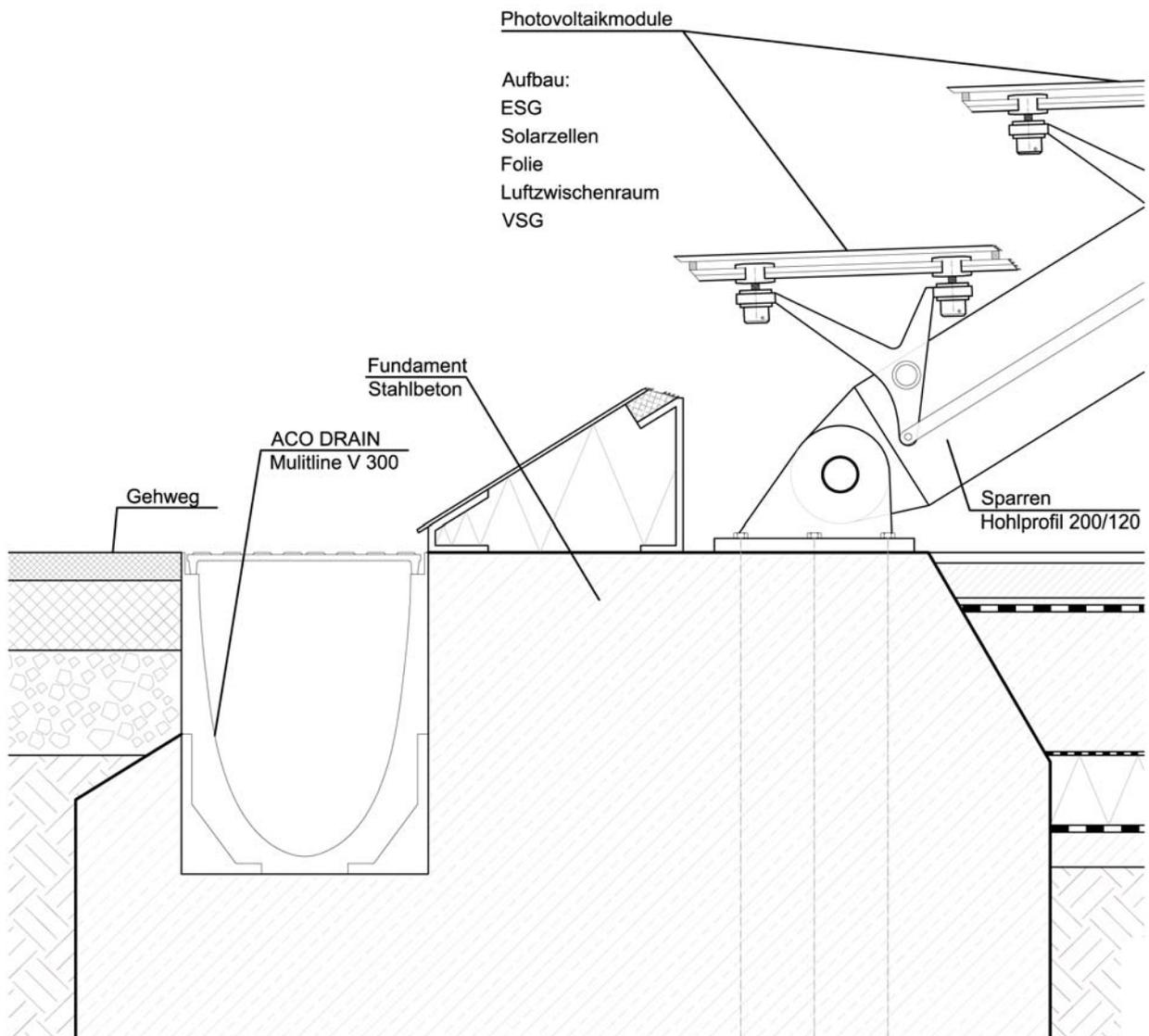
In diesem Kapitel werden die wichtigsten Anschlusspunkte der Gebäudehülle im Detail vorgestellt. Für jene Bauteile, die die Kriterien der Passivhaus Technologie erfüllen müssen, wurden die U-Werte berechnet.

Übersicht:



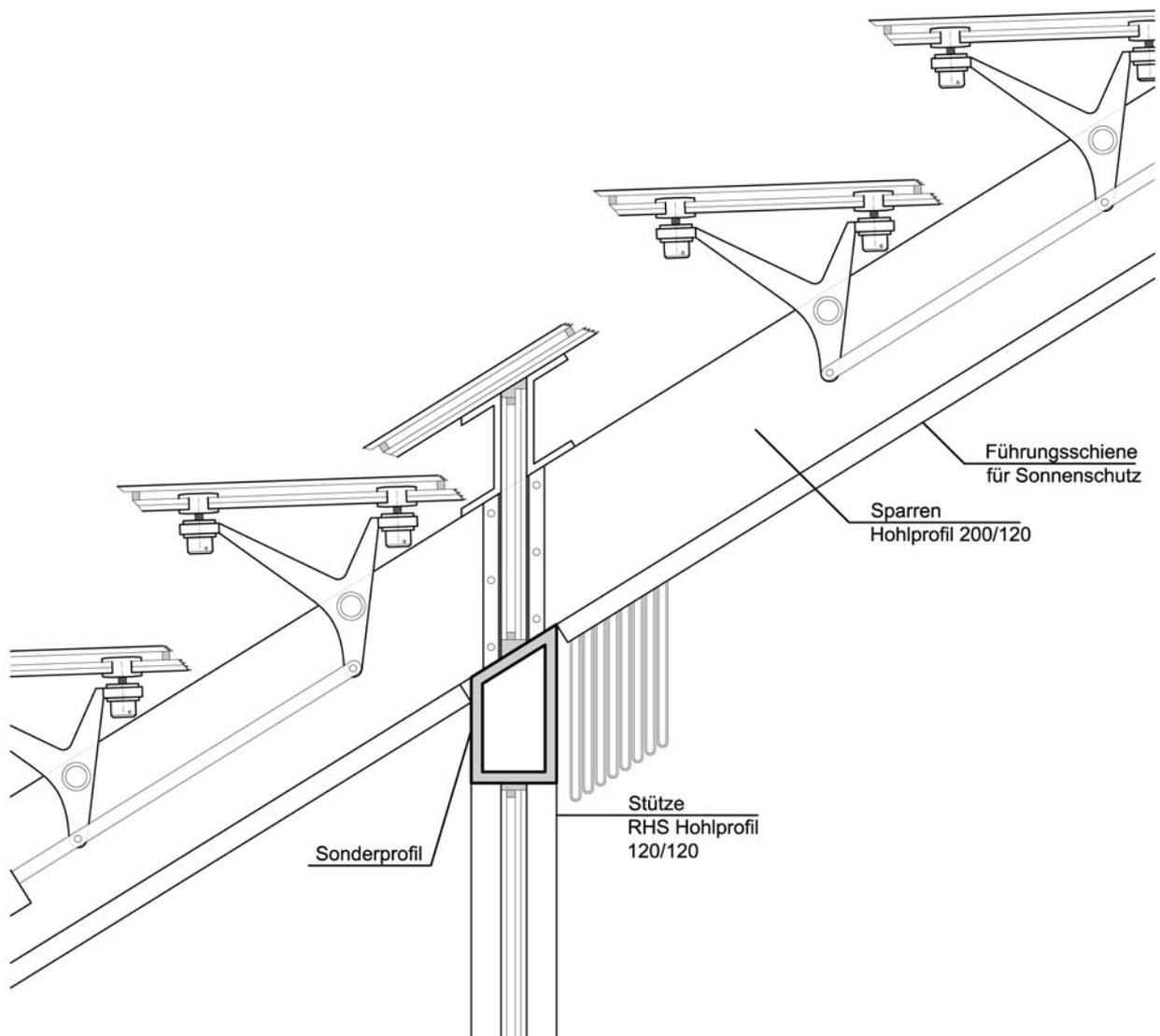
Detail Nr. 1: M 1:10

Fußpunkt der Glasfassade



Detail Nr. 2: M 1:10

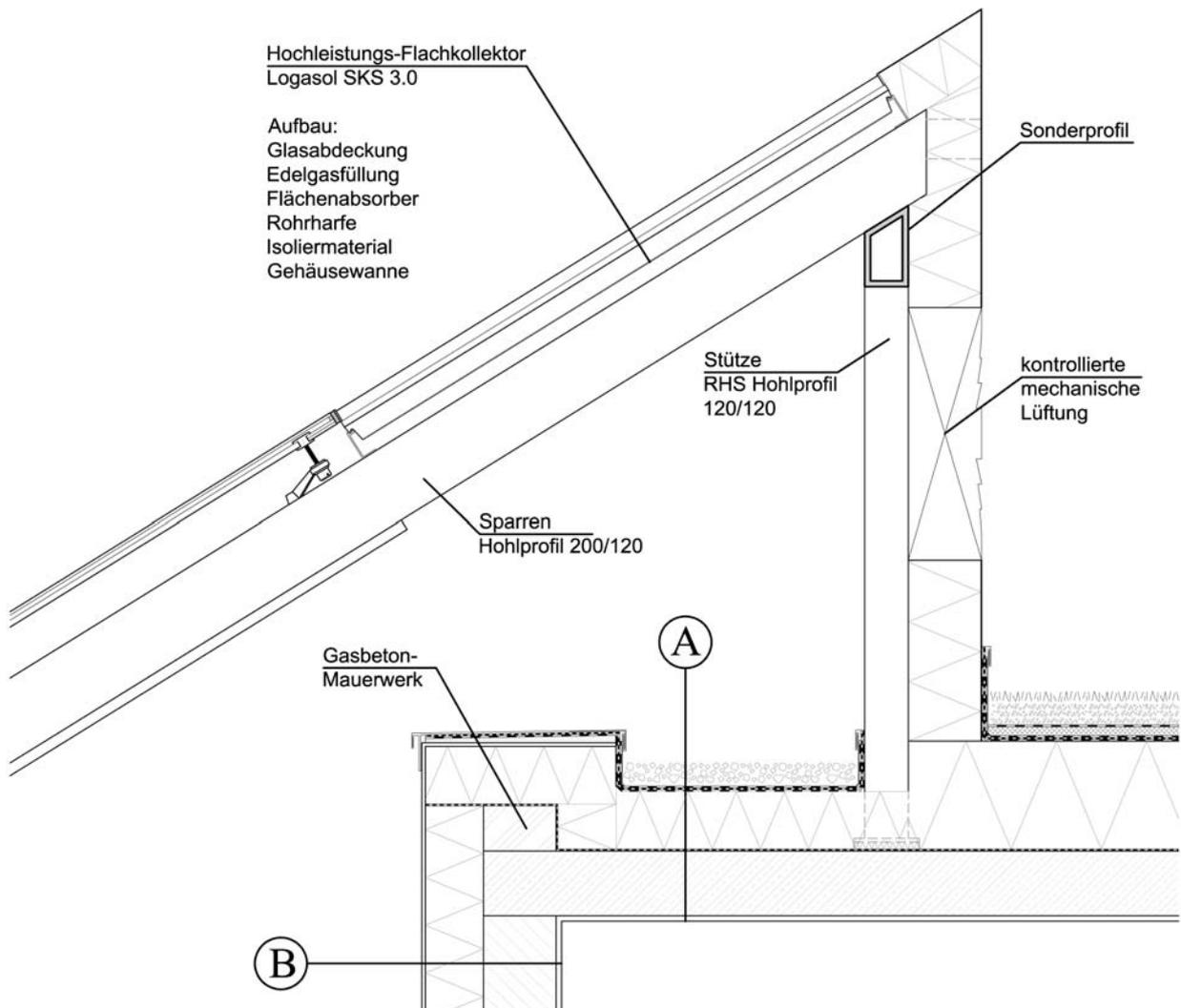
Das Glashaus im Erdgeschoss und die Glashauszellen im Obergeschoss müssen thermisch von einander getrennt sein. Eine Transparente Raumtrennung bis zur Schrägverglasung ist also erforderlich...



Detail Nr. 3: M 1:20

| A Warmdach unter Isolierverglasung ($U_{\text{eff}} < 0,25$): | | Lambda | Rt-Wert |
|--|---|---------------|---------------------|
| 60mm | Kies Vlies | | |
| 160mm | Dachabdichtung 2-lagig Wärmedämmung EPS-W 20 Dampfsperre Dampfdruckausgleich | 0,038 | 4,211 |
| 180mm | Stahlbetondecke | 2,100 | 0,086 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 4,314 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,223</u> |

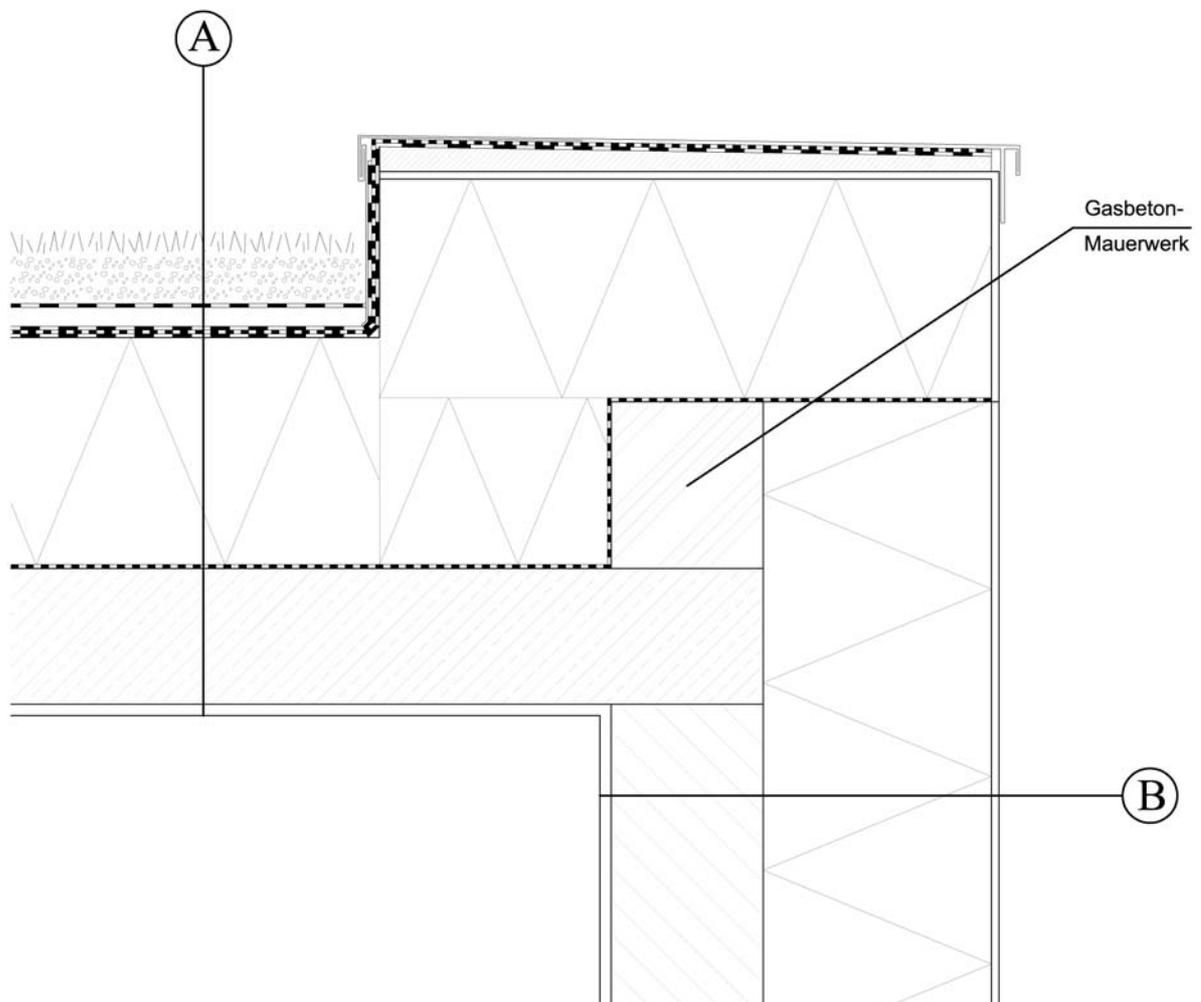
| B Außenwand hinter Isolierverglasung ($U_{\text{eff}} < 0,25$): | | Lambda | Rt-Wert |
|--|--|---------------|---------------------|
| 160mm | Deckschicht des WDVS Wärmedämmverbundsystem mit EPS-F | 0,040 | 4,000 |
| 200mm | Ziegelmauerwerk | 0,350 | 0,571 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 4,588 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,210</u> |



Detail Nr. 4: M 1:10

| A extensives Gründach ($U_{\text{erf}} < 0,15$): | | Lambda | Rt-Wert |
|---|------------------------------|---------------|---------------------|
| 60mm | Vegetationsschicht | | |
| 25mm | Filtervlies auf Drainelement | | |
| | Wurzelschutzfolie | | |
| | Elastomer-Bitumenbahn | | |
| 300mm | Wärmedämmung EPS-W 20 | 0,038 | 7,895 |
| | Dampfsperre | | |
| | Dampfdruckausgleich | | |
| 180mm | Stahlbetondecke | 2,100 | 0,086 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 7,998 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,122</u> |

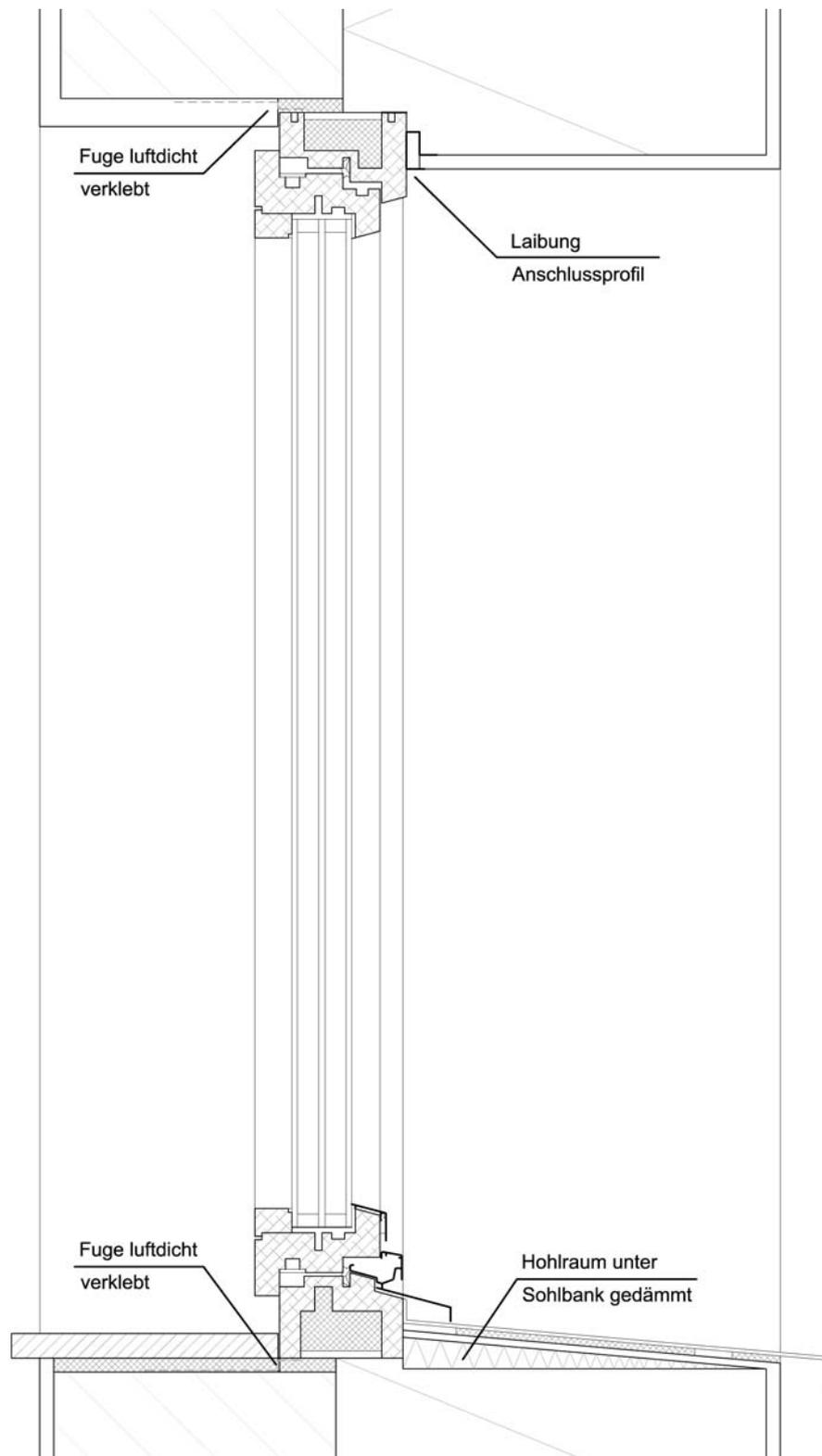
| B Außenwand ($U_{\text{erf}} < 0,15$): | | Lambda | Rt-Wert |
|---|----------------------------------|---------------|---------------------|
| | Deckschicht des WDVS | | |
| 300mm | Wärmedämmverbundsystem mit EPS-F | 0,040 | 7,500 |
| 200mm | Ziegelmauerwerk | 0,350 | 0,571 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 4,588 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,121</u> |



Detail Nr. 5: M 1:5

Fensteranschlüsse

Die Fenster (3-Scheiben-Verglasung), einschließlich des Rahmens sollen einen U-Wert unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweisen.

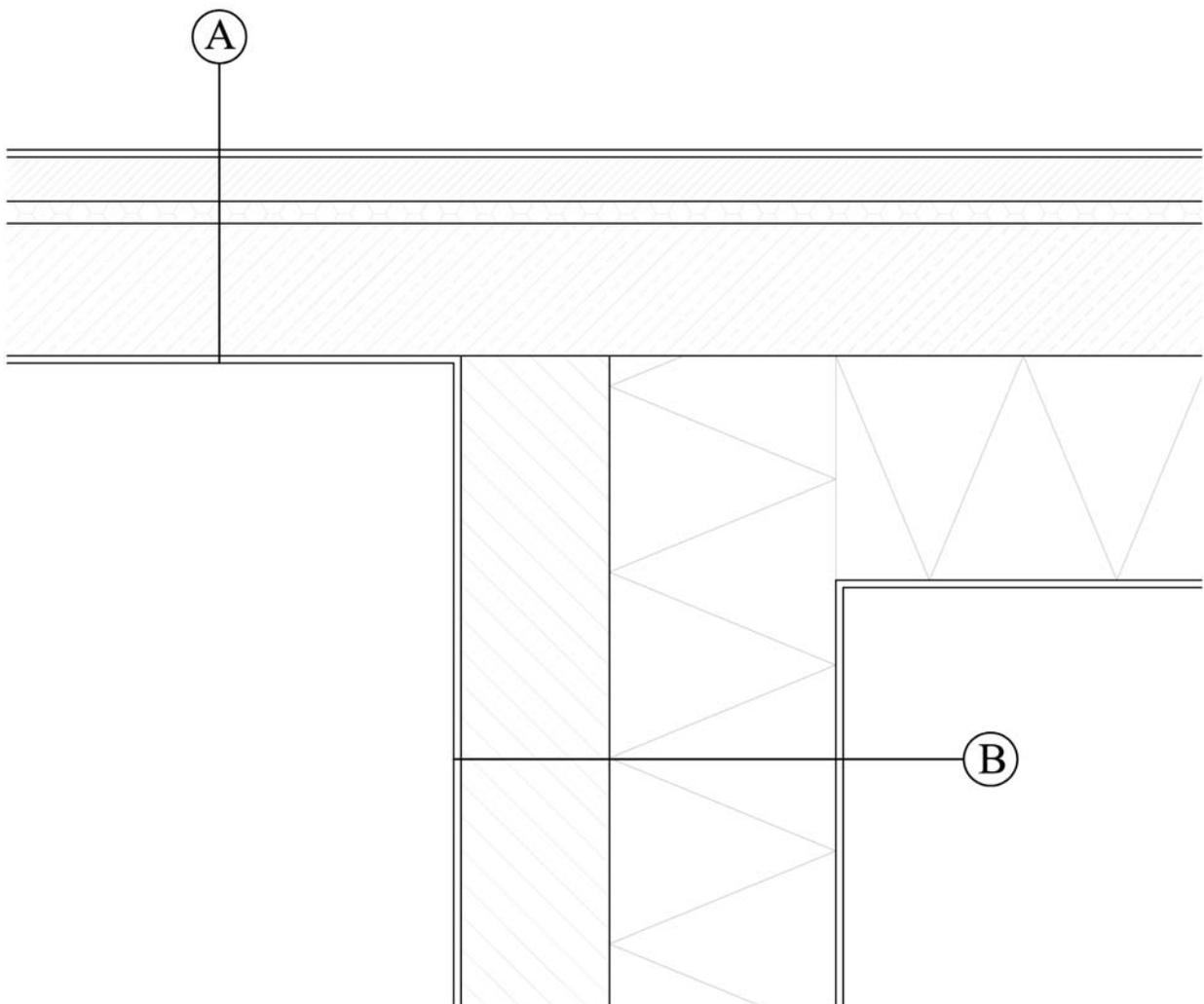


Detail Nr. 6: M 1:10**A Geschoßdecke:**

| | |
|-------|----------------------------|
| 10mm | Bodenbelag |
| 60mm | schwimmender Zementestrich |
| | Trennschicht (Dampfsperre) |
| 30mm | Trittschalldämmung EPS-T |
| 20mm | Ausgleichsschüttung |
| 180mm | Stahlbetondecke |
| 15mm | Innenputz |

B Außenwand ($U_{\text{erf}} < 0,15$):

| | | Lambda | Rt-Wert |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|
| | Deckschicht des WDVS | | |
| 300mm | Wärmedämmverbundsystem mit EPS-F | 0,040 | 7,500 |
| 200mm | Ziegelmauerwerk | 0,350 | 0,571 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 4,588 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | 0,121 |

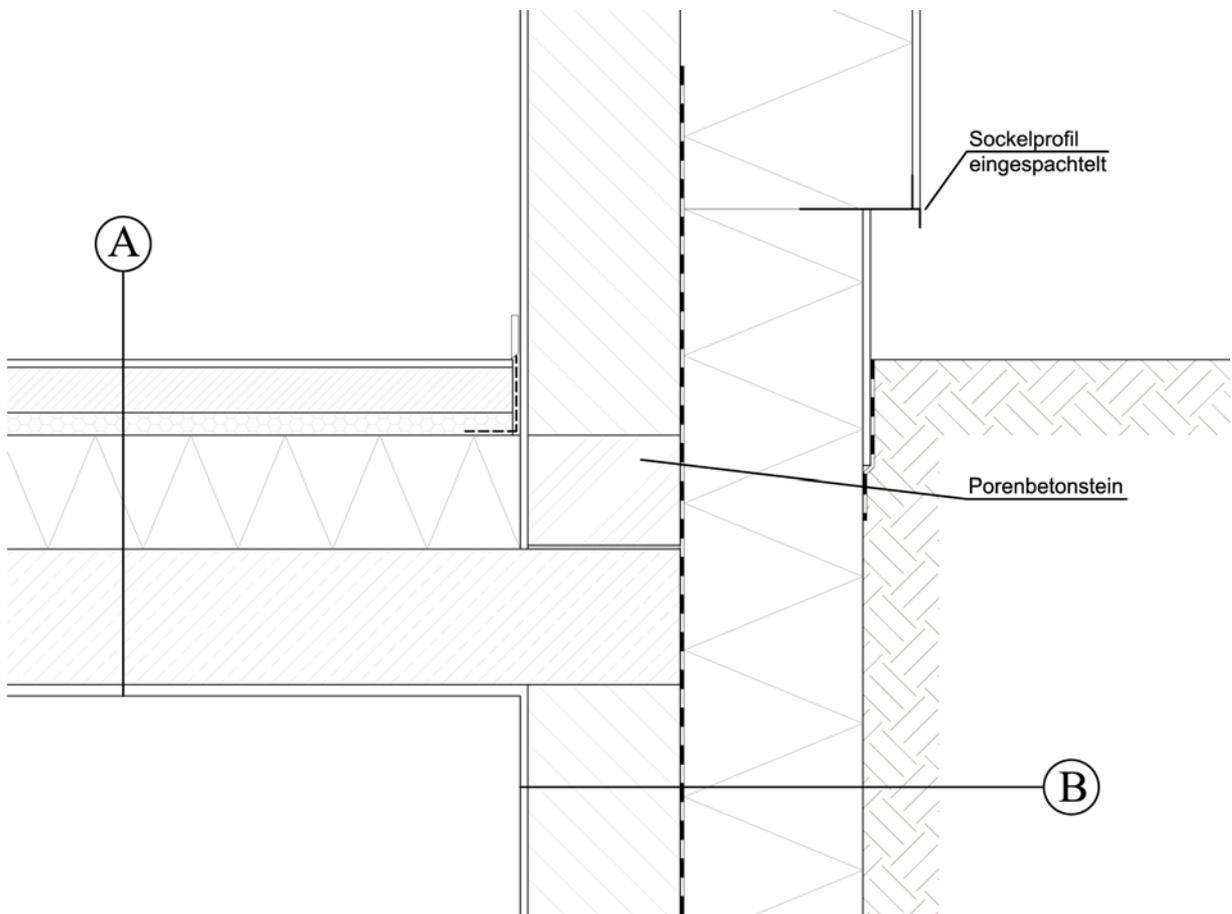


Detail Nr. 7: M 1:10**A Kellerdecke ($U_{\text{erf}} < 0,15$):**

| | | Lambda | Rt-Wert |
|---------------------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| 10mm | Bodenbelag | | |
| 60mm | Schwimmender Zementestrich | 1,400 | 0,043 |
| | Trennschicht (Dampfsperre) | | |
| 30mm | Trittschalldämmung EPS-T | 0,035 | 0,857 |
| 150mm | Wärmedämmung PUR-DD | 0,025 | 6,000 |
| | Dampfsperre | | |
| 180mm | Stahlbetondecke | 2,100 | 0,086 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 7,003 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | 0,139 |

B Kellerwand ($U_{\text{erf}} < 0,15$):

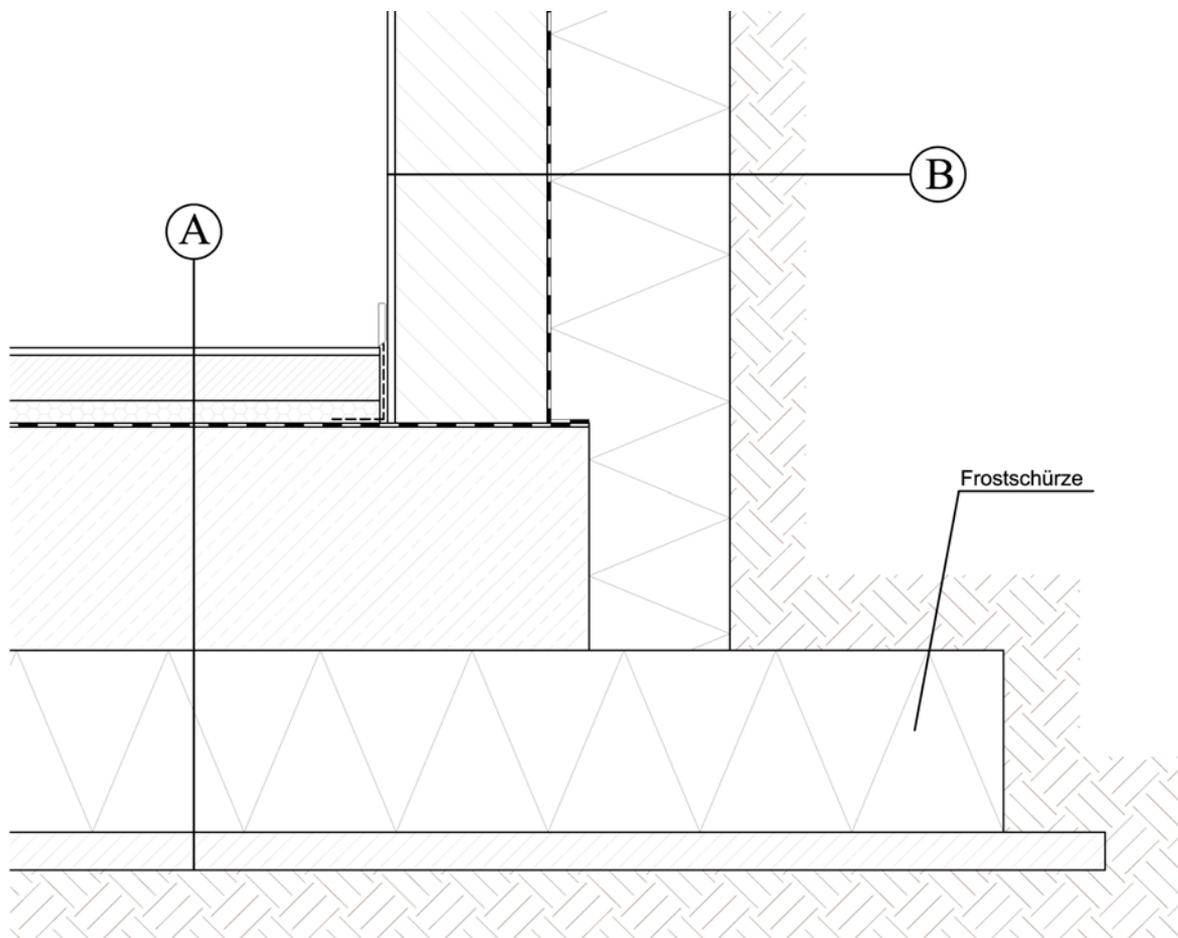
| | | Lambda | Rt-Wert |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|
| 240mm | Deckschicht | | |
| | Wärmedämmverbundsystem mit EPS-P | 0,035 | 6,857 |
| | Feuchtigkeitsabdichtung | | |
| 200mm | Betonwand | 2,100 | 0,095 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 6,969 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | 0,140 |



Detail Nr. 8: M 1:10

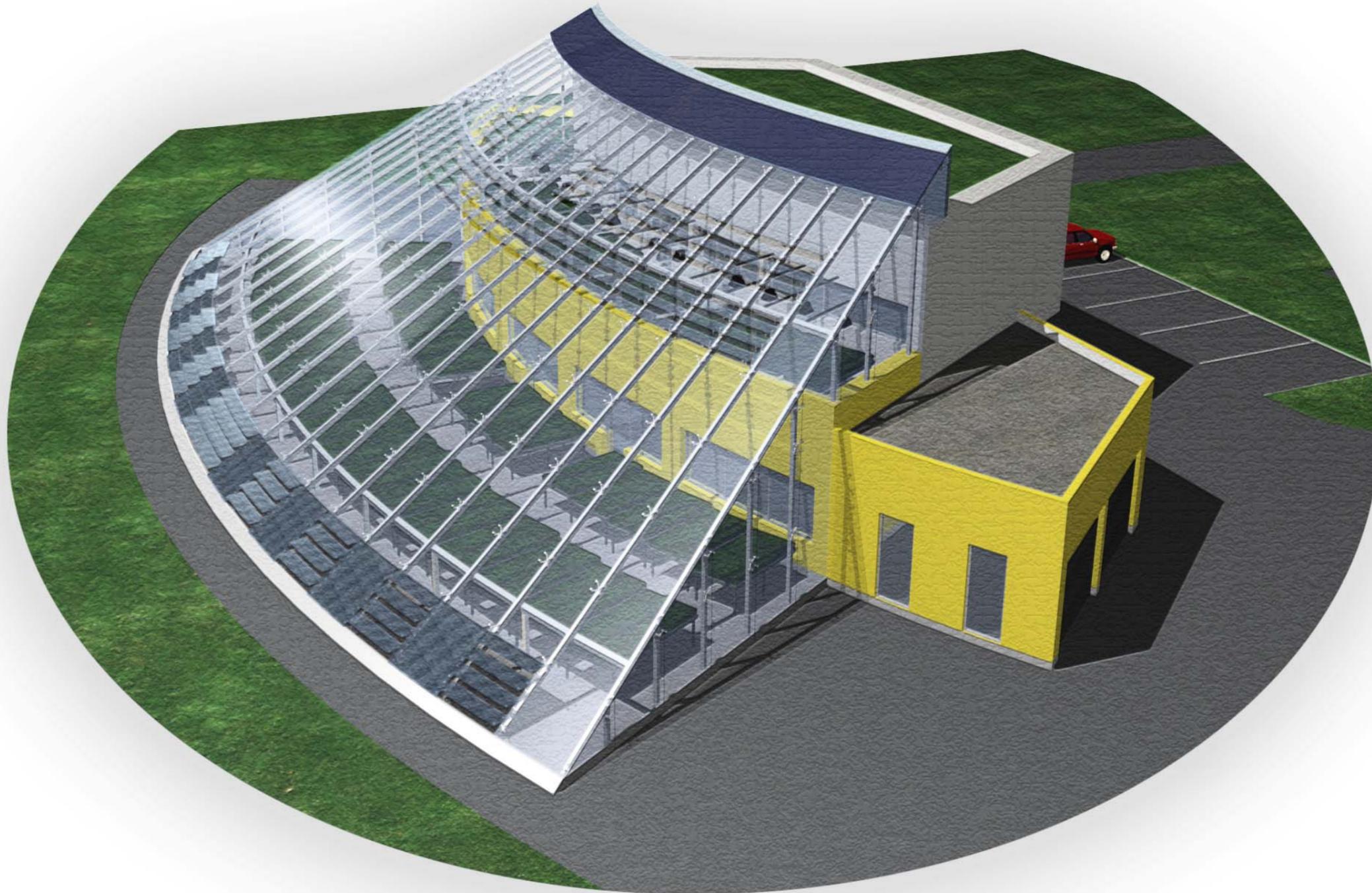
| A Kellerboden ($U_{\text{erf}} < 0,15$): | | Lambda | Rt-Wert |
|---|---------------------------------|---------------|---------------------|
| 10mm | Bodenbelag | | |
| 60mm | Schwimmender Zementestrich | 1,400 | 0,043 |
| | Trennschicht (Dampfsperre) | | |
| 30mm | Trittschalldämmung EPS-T | 0,035 | 0,857 |
| 20mm | Ausgleichsschüttung | 0,700 | 0,029 |
| 300mm | Fundamentplatte | 2,100 | 0,143 |
| | Baufolie als Trennlage | | |
| 240mm | Wärmedämmung EPS-P | 0,035 | 6,857 |
| | Sauberkeitsschicht (Magerbeton) | | |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 7,929 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,123</u> |

| B Kellerwand ($U_{\text{erf}} < 0,15$): | | Lambda | Rt-Wert |
|--|----------------------------------|---------------|---------------------|
| | Deckschicht | | |
| 240mm | Wärmedämmverbundsystem mit EPS-P | 0,035 | 6,857 |
| | Feuchtigkeitsabdichtung | | |
| 200mm | Betonwand | 2,100 | 0,095 |
| 15mm | Innenputz | 0,870 | 0,017 |
| Summe Wärmedurchlasswiderstände | | | 6,969 |
| Wärmeübergangswiderstände | | | 0,170 |
| U-Wert | | | <u>0,140</u> |



8.10 Visualisierung

Vogelperspektive:



Südwest-Ansicht:



Nordwest-Ansicht:



Ost-Ansicht:



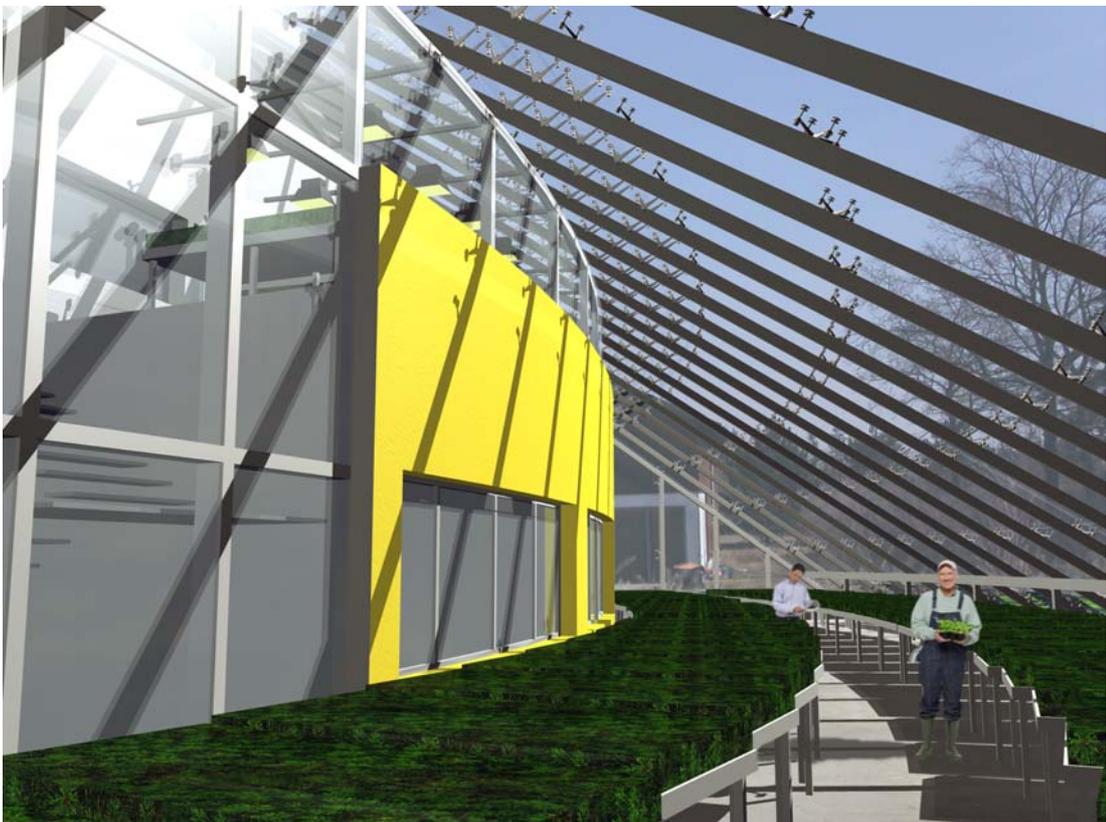
Südwest-Ansicht:



Innenansicht Glashaus im Obergeschoss bei Dämmerung:



Innenansicht Glashaus im Erdgeschoss:



9. BILDNACHWEIS

- Abb. 1:* www.bbr.bund.de, 14.11.2005
- Abb. 2:* eigenes Foto
- Abb. 3:* eigenes Foto
- Abb. 4:* Verdachtsflächenkataster und Altlastenatlas (Stand Jänner 2005), Umweltbundesamt GmbH, Wien 2005
- Abb. 5:* www.ecocityprojects.net, 21.11.2005
- Abb. 6:* www.ecocityprojects.net, 21.11.2005
- Abb. 7:* www.ecocityprojects.net, 21.11.2005
- Abb. 8:* www.ecocityprojects.net, 21.11.2005
- Abb. 9:* www.enviro.nfesc.navy.mil, 23.11.2005
- Abb. 10:* www.enviro.nfesc.navy.mil, 23.11.2005
- Abb. 11:* www.enviro.nfesc.navy.mil, 23.11.2005
- Abb. 12:* www.sanierungsverfahren.de, 23.11.2005
- Abb. 13:* www.sanierungsverfahren.de, 23.11.2005
- Abb. 14:* www.baumaschine.de, 23.11.2005
- Abb. 15:* eigene Grafik
- Abb. 16:* www.enviro.nfesc.navy.mil, 23.11.2005
- Abb. 17:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 18:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 19:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 20:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 22:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 21:* Puschenreiter M., Wenzel W.: Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Abb. 23:* Puschenreiter M., Noel Dos Santos M., Hauser M. T., Sommer P., Strauss J., Wieshammer G., Unterbrunner R., Zivkovic M., Wenzl W.: Phytoremediation of contaminated soils using willows, Rhizosphere Ecology & Phytotechnologies, Wien 2005
- Abb. 24:* www.otterwasser.de, 9.1.2006
- Abb. 25:* www.wasser-wissen.de, 10.1.2006
- Abb. 26:* www.otterwasser.de, 9.1.2006
- Abb. 27:* Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005
- Abb. 28:* Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005
- Abb. 29:* Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005
- Abb. 30:* Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005
- Abb. 31:* Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF. September 2005

- Abb. 32:* www.linz.at/solarcity, 12.1.2006
- Abb. 33:* Fröhlich A., Kraume I., Lesouef A., Oldenburg M.: Separate Ableitung und Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – Pilotprojekt, 2003
- Abb. 34:* www.lambertmühle-burscheid.de, 12.1.2006
- Abb. 35:* www.lambertmühle-burscheid.de, 12.1.2006
- Abb. 36:* www.lambertmühle-burscheid.de, 12.1.2006
- Abb. 37:* www.lambertmühle-burscheid.de, 12.1.2006
- Abb. 38:* www.otterwasser.de, 12.1.2006
- Abb. 39:* www.flintenbreite.de, 12.1.2006
- Abb. 40:* www.flintenbreite.de, 12.01.2006
- Abb. 41:* www.architektur.tu-darmstadt.de, 14.12.2005
- Abb. 43:* www.eifeltourer.de, 14.12.2005
- Abb. 42:* www.bosch-pt.com, 14.12.2005
- Abb. 44:* www.petergarten.ch, 03.01.2006
- Abb. 45:* www.nextroom.at, 03.01.2006
- Abb. 46:* www.fbb.de, 03.01.2006
- Abb. 47:* www.wikipedia.de, 03.01.2006
- Abb. 48:* Rohregger G. et al.: Behagliche Nachhaltigkeit, Untersuchungen zum Behaglichkeits- und Gesundheitswert von Passivhäusern, Projektbericht im Auftrag des bm v it, 2004
- Abb. 49:* www.cepheus.de, 28.02.2006
- Abb. 50:* www.passivhaus-info.de, 28.02.2006
- Abb. 51:* www.heiztechnik.buderus.de, 28.02.2006
- Abb. 52:* www.heiztechnik.buderus.de, 28.02.2006
- Abb. 53:* www.iea-pvps.org, 28.02.2006
- Abb. 54:* www.iea-pvps.org, 28.02.2006
- Abb. 55:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 56:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 57:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 58:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 59:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 60:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 61:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 62:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 63:* Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- Abb. 64:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 65:* eigene Zeichnung

- Abb. 66:* eigene Zeichnung
- Abb. 67:* Herzog T., Gläserene Flügel-Bauten aus den Jahren 1978 bis 1992, Verlag Gerd Hatje, München 1993
- Abb. 68:* Herzog T., Gläserene Flügel-Bauten aus den Jahren 1978 bis 1992, Verlag Gerd Hatje, München 1993
- Abb. 69:* Herzog T., Gläserene Flügel-Bauten aus den Jahren 1978 bis 1992, Verlag Gerd Hatje, München 1993
- Abb. 70:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 71:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 72:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 73:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 74:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 75:* Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2.aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- Abb. 76:* www.archinform.net, 28.04.2006
- Abb. 77:* www.giencke.com, 28.04.2006
- Abb. 78:* www.giencke.com, 28.04.2006
- Abb. 79:* Herzog T., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, München 1998
- Abb. 80:* Herzog T., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, München 1998
- Abb. 81:* Herzog T., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, München 1998
- Abb. 82:* Herzog T., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, München 1998
- Abb. 83:* Herzog T., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel Verlag, München 1998
- Abb. 84:* www.ifa-tulln.ac.at, 18.03.2006

10. QUELLENVERZEICHNIS

-
- [1] McIntyre T.: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, Vol.78*
Phytoremediation of Heavy Metals from Soils, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2003
 - [2] www.salzburg.gv.at, 16.11.2005
 - [3] www.umweltbundesamt.at 14.11.2005
 - [4] www.umweltschutz.co.at, 16.11.2005
 - [5] Puschenreiter M., Noel Dos Santos M., Hauser M. T., Sommer P., Strauss J., Wieshammer G., Unterbrunner R., Zivkovic M., Wenzl W.: *Phytoremediation of contaminated soils using willows*, *Rhizosphere Ecology & Phytotechnologies*, Wien 2005
 - [6] Gaffron P., Huisman G., Skala F.: *Ecocity, Book I A better place to live*, Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Vienna 2005
 - [7] www.enviro.nfesc.navy.mil, 21.11.2005
 - [8] www.sanierungsverfahren.de, 21.11.2005
 - [9] Wenzel W., Adriano D., Salt D., Smith R.: *Phytoremediation: A Plant-Microbe-Based Remediation System*, USA, 1999
 - [10] Puschenreiter M., Wenzel W.: *Altlastenvorlesung WS 2005 Phytosanierung*, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien
 - [11] Puschenreiter M., Fitz W., Wieshammer G., Unterbrunner R., Wenzel W.: *Akkumulation von Spurenelementen in Pflanzen und deren Bedeutung für die Bodensanierung*, Wien 2005
 - [12] Nöthiger M.: *Natürliche Schwermetallfresser als Zukunftslösung*, Maturitätsarbeit, März 2005
 - [13] Puschenreiter M.: *Heavy Metal für Pflanzen*,
 - [14] Werner C., Klingel F., Mang H-P., Panesar A., Bracken P.: *Ecological Sanitation: Seine konzeptionelle Bedeutung für IWRM und seine Umsetzung in der Praxis*, 2005
 - [15] www.otterwasser.de, 4.1.2006
 - [16] Glücklich D.: *New Old Ecology? Ökologisches Bauen – Bilanz und Perspektiven*, Universitätsverlag Weimar, Dezember 2002
 - [17] Fröhlich A., Kraume I., Lesouef A., Oldenburg M.: *Separate Ableitung und Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – Pilotprojekt*, 2003
 - [18] *Österreichische Umweltförderung des Bundes, Spezialthemen der Förderung gemäß SWW-FRL 1999 idF*. September 2005
 - [19] www.linz.at/solarcity, 11.1.2006
 - [20] TAZ vom 24.11.2005, Interview Bernward Janzing
 - [21] www.sonnenseite.com, 5.12.2005
 - [22] Alt F.: *Die Sonne schickt uns keine Rechnung*, Piper Verlag GmbH, München 2004
 - [23] Schütze T., Willkomm W.: *Klimagerechtes Bauen in Europa*, Forschungsvorhaben der Fachhochschule der Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen, Abschlussbericht, März 2000

-
- [24] Treberspurg M.: Neues Bauen mit der Sonne, Ansätze zu einer klimagerechten Architektur, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien 1999
- [25] www.architektur.tu-darmstadt.de, 14.12.2005
- [26] Göbel P.: Schnellkurs Wetter und Klima, Du Mont Literatur und Kunst Verlag, Köln 2004
- [27] www.eco-world.de, 15.12.2005
- [28] Tomm A.: Ökologisch planen und bauen, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/ Wiesbaden, 2000
- [29] Gemeinschaft Dämmstoff Industrie: Passivhaus Details für Anwender, Strichpunkt Reprotechnik GmbH, Wien 2004
- [30] Rohregger G. et al.: Behagliche Nachhaltigkeit, Untersuchungen zum Behaglichkeits- und Gesundheitswert von Passivhäusern, Projektbericht im Auftrag des bm v it, 2004
- [31] Tagungsband: Häuser der Zukunft – Von der Forschung in die Praxis, IBO Verlag, 2006
- [32] Jordan E.M.: Das Passivhaus – die kostengünstigste Lösung!, Tagung im Schloss Puchberg, 17.10.2005
- [33] Demacsek C.: Informationen zum Passivhaus, www.fgw.at, 27.02.2006
- [34] Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden 2. Auflage – gemäß EnEV 2002, Vulkan Verlag, Essen 2004
- [35] Chiba B.: Revitalisierung von barocken Gewächshäusern am Beispiel der Gewächshäuser des Stiftes Zwettl, Diplomarbeit an der TU Wien, Wien 2005
- [36] Herzog T.: Gläserne Flügel-Bauten aus den Jahren 1978 bis 1992, Verlag Gerd Hatje, München 1993
- [37] Krewinkel H.W.: Glasarchitektur: Material, Konstruktion und Detail, Birkhäuser Verlag, Berlin 1998
- [38] Compagno A.: Intelligente Glasfassaden, 5., revidierte und aktualisierte Auflage, Birkhäuser Verlag, Berlin 2002