

DIPLOMARBEIT

Lehmbau und Leichtes Bauen in Nord Isère

ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ. Prof. Mag. arch. Françoise-Hélène Jourda
Institut für Raumgestaltung und Entwerfen, E253/3

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Hannes Mahlknecht
9926430
Franz von Defreggerstraße 18B
39011 Lana, Italien

Wien, im Dezember 2006



Hannes Mahlknecht

Lehmbau und Leichtes Bauen in Nord Isère

Hannes Mahlknecht



Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zur Realisierung dieser Diplomarbeit beigetragen haben. Insbesondere danke ich Frau Prof. Françoise-Hélène Jourda für ihre Betreuung sowie die zahlreichen Anregungen. Ebenso danke ich Herrn Prof. Wolfgang Winter und Frau Prof. Karin Stieldorf für ihre fachliche Beratung. Der internationalen Bildungskooperation möchte ich für die Gewährung finanzieller Unterstützung meines Aufenthalts in Grenoble danken.

Weiters möchte ich Herrn Prof. Patrice Doat von der École d'Architecture de Grenoble danken sowie dem gesamten Craterre-Institut, das mir die Durchführung meiner Recherchen in einer angenehmen Arbeitsatmosphäre ermöglicht hat. Mein Dank gilt besonders Patrice, Silvia, Grégoire, Maurizio und Fabrizio für ihre

Hilfsbereitschaft. Herrn Prof. Pascal Rollet und den Studenten des Abschlussjahres der École d'Architecture de Grenoble danke ich dafür, dass sie mich an Entwurfsprojekt und Modellbau in den „Grands Ateliers“ teilnehmen haben lassen.

Des Weiteren danke ich Marie, die mich während des gesamten Zeitraums, an dem ich an der Diplomarbeit gearbeitet habe, begleitet und unterstützt hat. Gianni, Peter und Arno danke ich für die Unterstützung beim Modellbauen und Fotografieren. Valli danke ich für das Korrekturlesen der Arbeit.

Ausdrücklich möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Familie und besonders bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium ermöglicht haben und mich während der gesamten Studienzzeit in jeder Hinsicht unterstützt haben.

	I_ einleitung	6
	II_ lehm- und pisé-bau in frankreich	7
	_ die geschichte des lehmbaus in frankreich	8
	_ der pisé-bau in frankreich	20
	III_ material- und konstruktionsversuche mit lehm	31
	_ lehmprüfverfahren	32
	_ konstruktionsversuche	57
	IV_ projekt: leichtes bauen in nord-isère	76
	_ bauplatz	78
	_ konzept	91
	_ referenzprojekte	96
	_ zielsetzungen	113
	_ projektskizzen	115
	_ projektpräsentation	120
	_ projektüberprüfung	154
	V_ ergebnisse	172
	VI_ literatur- und bildverzeichnis	175

I_ einleitung

Einleitung

Der Lehmbau hat mich seit einer Exkursion in den Iran im Rahmen der Lehrveranstaltung „Wiederaufbau von Bam“ der TU-Wien nicht mehr losgelassen. Meine Faszination für den Baustoff ist einerseits in seiner Natürlichkeit, seiner Reinheit, seiner Vielfältigkeit der Konstruktion und andererseits in seinem ästhetischen Aussehen begründet. Zudem hat mich mein Interesse an ökologischem und gesundem Bauen darin bestärkt, den Lehmbau zum übergeordneten Thema meiner Diplomarbeit zu machen.

Das Bauen mit Lehm ist ein weitgehend auf Erfahrungen gestütztes Unternehmen, da Standards und Normen nur begrenzt vorhanden und anwendbar sind. Lokale Faktoren wie die Beschaffenheit des Bodens, klimatische Bedingungen und Verfügbarkeit der Baustoffe bilden die Rahmenbedingungen einer Bautechnik mit Erde.

Darum war es mir ein Anliegen, persönliche und praktische Erfahrungen mit dem Baustoff Lehm zu sammeln und seine Charakteristiken in einem Umfeld kennen zu lernen, das von Lehmvorkommen geprägt ist. Dies wurde mir in einem Praktikum am Institut Cratère der École d'Architecture de Grenoble ermöglicht. Das seit 1986 existierende Forschungslabor befasst sich hauptsächlich mit Themen rund um die Bewahrung und Verwaltung der historischen Bausubstanz

aus Lehm und den Schutz der Umwelt durch bessere Nutzung der Ressourcen. Darüber hinaus stellt auch die Beziehung zwischen Mensch und seinem Habitat sowie die Erleichterung des Zugangs zu Wohnungen für Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Einkommen einen Forschungsschwerpunkt dar.

Die folgende Arbeit beschreibt im ersten Teil die Geschichte und Entwicklung des Lehmbaus in Frankreich und geht genauer auf die für die Region Rhône-Alpes charakteristische Lehmbautechnik des Stampflehmbaus (Pisé-Bau) ein. Im zweiten Teil der Arbeit sind meine praktischen Erfahrungen mit Lehm dokumentiert.

Das geschichtliche Hintergrundwissen und die praktischen Erfahrungen bilden die Basis für den dritten Teil der Arbeit, nämlich der Planung einer Siedlung aus Lehm im Departement Nord-Isère.

Die von mir geplante Siedlung mit Sozialwohnbauten bewegt sich im Rahmen des architektonischen Konzepts des „Leichten Bauens“. Die Beziehung der Bauwerke zur Natur und zu ihrer Umgebung, ihre ökologische Nachhaltigkeit und ihre Haltung fließen in dieses Konzept mit ein.

Hinweis

Die Zitate aus der Französischen Literatur wurden von mir selbst übersetzt.

II_ lehm- und pisébau in frankreich

- _ **die geschichte des lehmbaus in frankreich**
- _ **der pisé-bau in der region rhône-alpes**

Die Hügel von Fourvière

Viele Zeugnisse deuten in Frankreich darauf hin, dass der Ursprung des Lehmbaus auf die Römer zurückgeht und von Generation zu Generation weitergeführt wurde. Bei archäologischen Ausgrabungen fand man Indizien für frühe Stampflehmbauten in den Provinzen Dauphiné und France-Comté.

Die römische Stadt Lugdunum, die dann später zu Lyon wurde, war wesentlich aus Pisé und Adobe erbaut. Darauf deuten Spuren von Stampflehmbauten auf Mauersockeln hin, welche auf den Hügeln von Fourvière, einem früheren römischen Stadtteil gefunden wurden.



Abb. 1: Die Hügel von Fourvière, Lyon

Der Diana-Saal in Montbrison

Das heute älteste Bauwerk aus Lehm dürfte auf die Zeit von 1295 zurückgehen. Es befindet sich in Montbrison und ist unter dem Namen „La Salle de la Diana“ bekannt. Der Saal diente einst als Versammlungsraum der Grafen von Forez. Heute sind nur mehr die aus Stampflehm erbauten Innenwände des Gebäudes erhalten. Die bescheidenen Außenmauern wurden im Zuge einer Restauration im 19. Jahrhundert zerstört und mit Steinen aus Tournus im neugotischen Stil erneuert.

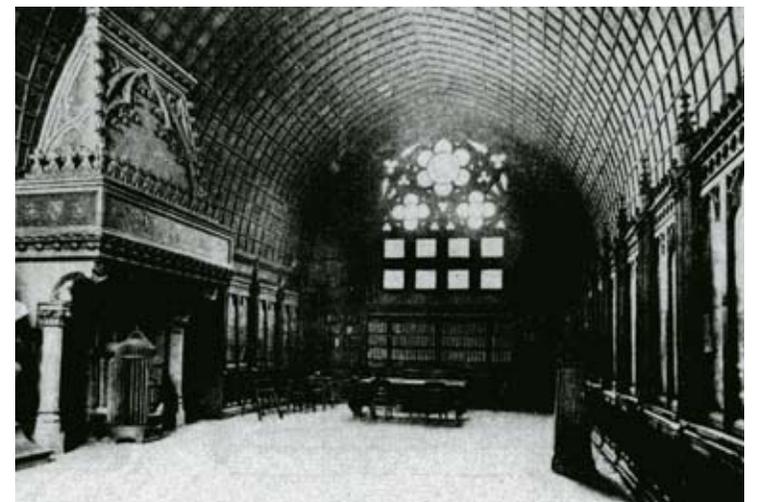


Abb. 2: La Salla De La Daina, Montbrison

Während im Altertum im gesamten Mittelmeerraum sowohl Lehmziegel als auch die Lehmstampfbauweise verbreitet war und sie von Hannibal zunächst nach Spanien und von den Römern nach Frankreich gebracht wurde, gab es im Frühmittelalter (Mitte 6. Jahrhundert bis Anfang 11. Jahrhundert) eine Wiederkehr zu den elementaren Bautechniken wie den Holz-Bau und den Torchis. Diese Techniken waren vorherrschend bis zum Spätmittelalter (ca. 1250 bis ca. 1500).

Dann erfuhr die Baukunst des Zimmerhandwerks einen Rückgang und der Fachwerkbau mit Ausfachungen aus Torchis oder gebrannten Ziegelsteinen setzte sich durch.

Dies sollte sich in Frankreich erst im 18ten Jahrhundert, in der Zeit der Aufklärung ändern. Besonders die von den so genannten „Physiokraten“ verbreiteten Ideen zur Verbesserung der miserablen Lebensbedingungen auf dem Land trugen maßgebend zu einer Zunahme des Lehmbaus, insbesondere des Pisé-Baus im 18ten und 19ten Jahrhundert bei.

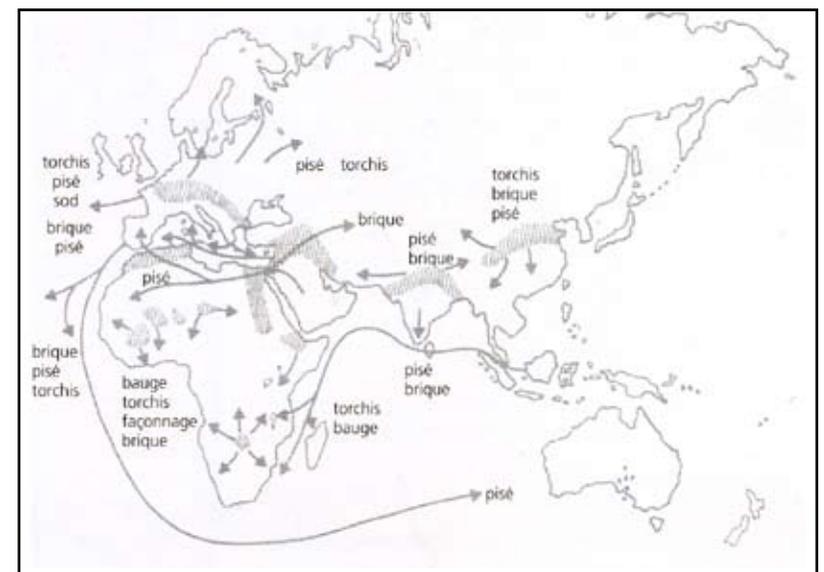


Abb. 3.; Heimstätten der Verbreitung verschiedener Lehmbautechniken

Umfangreiche Fortschritte auf dem Gebiet des Lehmbaus wurden im 18ten und 19ten Jahrhundert vom französischen Architekten und Baumeister François Cointeraux gemacht. Durch seine theoretischen und praktischen Tätigkeiten legte er im Wesentlichen die Grundlagen für die moderne Lehmstampfbautechnik, die vor allem in den 50er Jahren weit verbreitete Anwendung fand und deren Grundgedanken auch heute noch Gültigkeit besitzen.

Zwischen 1784 und 1788 hatte die Akademie zu Amiens und die königlich französische Ackerbaugesellschaft zwei Preisfragen gestellt, nämlich wie Landgebäude feuersicher gebaut werden könnten und wie die Umsetzung sicherer, gesunder, bequemer und „minder kostspielig“ gestaltet werden könne. Die Preise gewann der Maurermeister und Architekt François Cointeraux, der den Stampflehm als Lösung vorschlug.

Dies gelang ihm insbesondere durch seinen Eifer und durch die Leidenschaft, mit der er den Lehmbau propagierte.

Sein Interesse widmete er vorrangig dem französischen Stampflehm, der vor allem im südlichen Teil des Landes Anwendung fand und auch heute dort noch üblich ist. Sein Buch „Schule der Landbaukunst“, das 1790 erschienen war, wurde bereits 1793 in Deutschland herausgegeben, was deutlich macht, welche große Bedeutung der Lehmbau zu dieser Zeit für das Bauen, insbesondere in ländlichen Gebieten hatte.

Gestützt auf seine Erfahrungen und auf überlieferte Erkenntnisse, bemühte sich Cointeraux die Anwendungsbreite dieser traditionellen Bauweise zu erweitern und praktische Hinweise für ihre fachgerechte Ausführung zu geben. Gerade die gestiegenen Anforderungen an das Bauen auf dem Land ließen ihn zum Schluss kommen, dass die angewendeten Lehmtechniken nicht mehr den Ansprüchen der entstandenen Wohnbedürfnissen entsprachen. Vor allem der hohe manuelle Aufwand beim Bau mit Handstrichsteinen und der Lehmweller-Bautechnik veranlassten ihn die Bautechnik des Stampflehms zu überarbeiten und an die damaligen Verhältnisse anzupassen. Neben ausführlichen Beschreibungen zur Herstellung von Stampflehmwänden, widmete er sich den für die Ausführung erforderlichen Geräten, der Betrachtung lehmbauspezifischer Details, Vor- und Nachteilen der Bauweise und den Fragen des Ausbaus im Lehmbau.

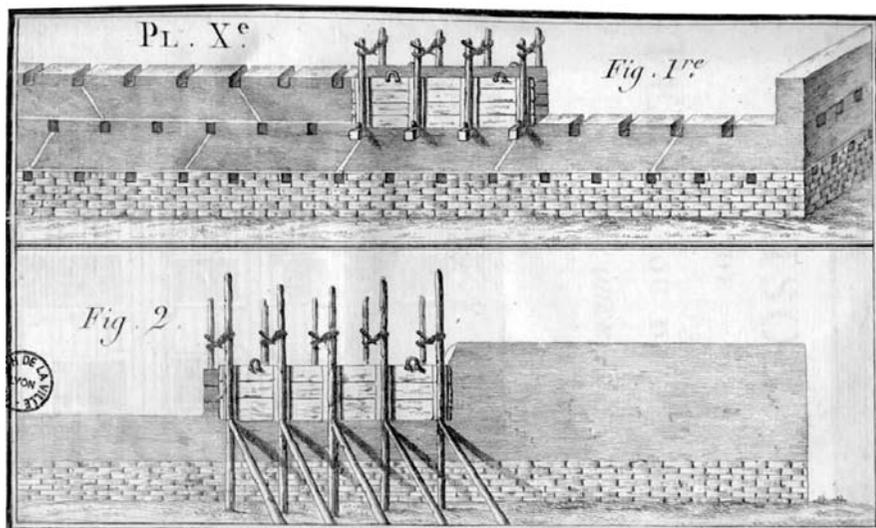


Abb. 4.: Bauart „Lyonnais“

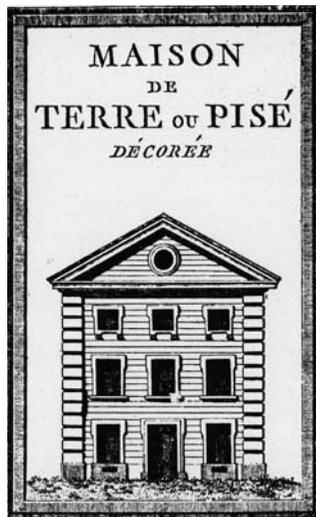


Abb.5: Haus aus Lehm oder „Pisé decorée“

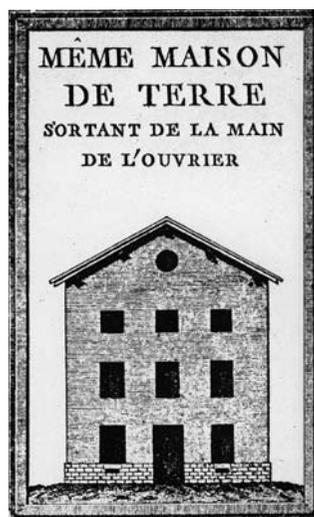


Abb.6: Selbes Haus aus Lehm nach Beendigung der Handwerksarbeiten

François Cointeraux (1740-1830)

Er wird 1740 in Lyon geboren. Sein Vater stirbt rund acht Monate vor seiner Geburt, weshalb seine Familie ihn in die Obhut seines Großvaters, eines Maurermeisters und seines Onkels, eines Bauunternehmers, stellt. Während seiner Jugend lernt er die Arbeiten in der Landwirtschaft auf den Ländereien der Familie kennen und hilft im Unternehmen seines Onkels mit. Darüber hinaus tritt er in die Lehre eines Bildhauermeisters und widmet sich der Malerei. Als Schüler eines Architekten erwirbt er Erfahrung als Einrichter und Innenarchitekt. 1765 gründet er sein eigenes Bauunternehmen und 1770 sein eigenes Architekturbüro. Bis zum Jahr 1786 ist er in den Städten Loyasse, Lyon und Vaise tätig und übt mehrere Berufe gleichzeitig aus: Landwirt, Schätzer für Landhäuser, Spezialist der Vermessung, Unternehmer und Architekt. In diesem Zeitraum baut er zahlreiche Gebäude vor allem in Vororten und ländlichen Gebieten. In einem von ihm veröffentlichtem Text, teilt er mit, dass die hohen Materialpreise („La cherté des matériaux“) und Bauwerke in hügeligen Orten („des endroits montueux“), ihn dazu bewegten Pisé als Baumaterial zu verwenden. Cointeraux interessiert sich zunehmend für den sozialen Wohnbau und baut Häuser für Lyonnaiser Arbeiterfamilien. Als Landwirt betreibt er ab 1776 Forschungen zu Bebauungsarten und unternimmt Versuche zur Bodenverbesserungen, unter anderen verschiedene Untersuchung zur Mischung von Gips und Asche und gründet schließlich eine Düngerfabrik in Vaise.

Der Stadtverwalter von Lyon unterbreitet Cointeraux mehrerer Architekturprojekte, unter anderem einen Siedlungsbau mit 24 Geschäften und Wohnungen, welche noch heute den Namen „Maison Cointeraux“ tragen und ein Friedensdenkmal, einen 15 Meter hohen Obelisk an der Straße Bourgogne. Cointeraux war über diese Aufträge zufrieden, denn sie sicherten ihm eine gewisse Anerkennung als Lyoner Architekt.

Im Laufe der Zeit, zwischen 1780 bis 1785, vertieft sich sein soziales, ideologisches sowie stilistisches Engagement. So wird er im Jahre 1782 als Architekt nach Grenoble gerufen, um für den schönsten Platz der Stadt (Place Grenette) ein Denkmal zu planen. Heute existiert das Gebäude nicht mehr; überdies weiß man nicht genau ob ein Denkmal oder ein Gebäude vom Dominikaner Orden in Auftrag gegeben wurde.

Im Jahr 1784 schreibt die Akademie von Amiens einen Wettbewerb zum Thema: „Die einfachste und kostengünstigste Möglichkeit, um Feuersbrünste auf dem Land vorzubeugen und zu verhindern“ aus. Cointeraux entscheidet sich mitzumachen und sticht seine Konkurrenten aus, die zu teure Vorschläge einreichen.

Im Jahre 1785 entdeckt Cointeraux sein „neues Pisé“, bei dem es sich um komprimierte Lehmziegel handelt, welche in serieller Produktion in einer glatten Form hergestellt werden konnten. Dann baute er in Grenoble auf der Esplanade bei der Porte de France ein Gewölbe mit Lehmziegelsteinen, seine erste Lösung des „Unbrennbaren Daches“ ist. Noch im selben Jahr eröffnet Cointeraux bei Grenoble seine erste „École d'Architecture Rurale“, einen öffentlichen Lehrgang, den er gerne von der Stadtverwaltung anerkannt hätte bekommen wollen. Von diesem Zeitpunkt an, stellte er sich immer als „Professeur d'architecture rurale“ zusätzlich zu seinen anderen Titeln vor.

Im Jahre 1786 gelingt es ihm in experimenteller Weise in Chorges (Hautes Alpes) ein erstes Modell eines „Unbrennbaren Gebäudes“ zu bauen. Dieses Experiment, welches lokale Anerkennung ernte, veranlasste ihn 1787 in Amiens ein Experiment in reeller Größe durchzuführen. Sein Modell, das er mit Hilfe eines Perrückenmachers und eines Webers, die sich seinen Ideen angeschlossen hatten, erbaute, wurde von lokalen Kritikern zerstört, welche ihn aus der Stadt vertrieben.

Darauf entscheidet er sich Unterstützung und Erfolg in Paris zu suchen, wo er sich mit seiner Familie im Jahre 1888 niederließ. Dort gründet er seine zweite Landbauschule auf einem Grundstück der Champs Elysées, welches ihn von nationalem Landgut zur Verfügung gestellt wird. Die Revolution bricht aus und er verliert die Unterstützungen. Daraufhin siedelt er sei-

ne Architektur-Landbauschule außerhalb von Paris auf dem Weg nach Vincennes an. Dort setzt er seine Nachforschungen und Experimente fort und konzentriert sich insbesondere auf das ökonomische Wohnen und gewinnt einen Preis der Stadtgemeinde Paris. Noch im selben Jahr 1794 legt er einen Bericht über seiner Landbauschule dem Innenminister vor. Ein Gremium urteilt: „der Künstler verdient es wegen seiner Opfer, die er erbracht hat, um einen Teil der Baukunst zu perfektionieren - speziell für die Landwirte und die Bewohner auf dem Land - unterstützt zu werden.“

In diesem Kontext nimmt Cointeraux seine publizistische Aktivität in Angriff. Er beginnt mit Artikeln an die Öffentlichkeit zu treten, Konferenzen zum Thema ökonomisches Bauen seiner Landbauschule abzuhalten und seine Forschungsergebnisse zu präsentieren.

1796 kehrt er nach Lyon zurück und richtet eine Landbauschule in Vaise ein, wo er Versuche zu Putze und Anstriche auf Pisé-Wänden macht. Diese Zeit wird als die Zeit des „Pisé décoré“ bezeichnet. 1797 kehrt er nach Paris zurück wo er sich Projekten zur Stadtverschönerung in den Weg stellt. Mit der Einreichung eines Generalplans gelingt ihm die Streichung aller Teilprojekte.

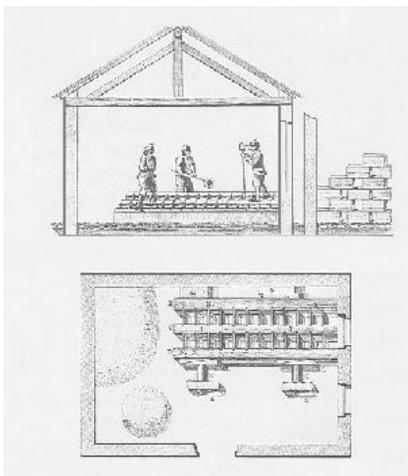


Abb.7: Fabrikation des „nouveau Pisé“-manuell komprimierter Lehmziegel in großen Formaten.



Abb.8: Schloss Escoffier; Trévoux, Aim
Der Einfluss Cointeraux „pisé décoré“ auf die Ästhetik der Architektur bourgeois des 19ten Jahrhunderts.

Das 19te Jahrhundert

In den Jahren 1800 und 1802 versucht Cointeraux von neuem eine Konzession für ein Grundstück zu erhalten. Ohne Erfolg. Er intensiviert seine Publikationsarbeit und veröffentlicht in acht Jahre, zwischen 1802 und 1810, nicht weniger als 30 Publikationen. Im Jahre 1806 revolutioniert er die Lehmziegel-Herstellung, indem er das Prinzip der Weinpresse auf eine Handpresse überträgt und seine erste Lehmziegel-Presse baut. Vom Enthusiasmus seiner Erfindung getrieben, hält er mehrere Konferenzen und es wird in der damaligen französischen Fachpresse über seine neuen konstruktiven Modelle für unbrennbare Dächer und Fußböden, seine neuen Gebäude für Fasanengehege und Schafställe, dauerhafte u. solide Wände für Terrassen, Umgrenzungsmauern, Bauernhöfe und die Möglichkeiten der Ertragssteigerung der Felder, das Know-how des Pisé-Baus und die Düngung der Felder, neue Gestaltungsformen für Kamine, Küchenherde, Öfen, ökonomische Heizkessel aus Holz, Zisternen und Lagerfässer für den Wein aus Beton berichtet. Im Jahre 1812 organisiert er, mit der Absicht seine Weiterbildung zugänglicher zu machen, in seinem Atelier eine Ausstellung seiner Modelle und stellt ein Modell einer Lehmziegelpresse her, mit dem Ziel die jungen Leute über ihren Gebrauch einzuweisen. Im Jahre 1815 zieht er sich mit 75 Jahren in das Konvent Sainte Perrine de Chaillot zurück, tritt aber immer noch als Professor der Landbauschule auf und propagiert seine Ideen regelmäßig bei wichtigen Anlässen.

Seine letzte Intervention im Jahre 1826 richtet sich an den König, dem er den Gebrauch von Erdtonnen anrät um Lebensmittel zu konservieren.

Als er im Jahre 1830 mit 90 Jahren im Konvent stirbt, scheint er bereits weitgehend in Vergessenheit geraten zu sein. Aber seine Ideen, die er mit Begeisterung und Überzeugung und Entschlossenheit, in einem Klima des permanenten Kampfes, unablässig konfrontiert mit Erfolg, Freude, Scheitern und Enttäuschung, äußerte, beginnen Früchte zu tragen, vor allem unter den Besitzern von Landhäusern, erkennbar. Der Wiederhall macht sich auch bei zahlreichen europäischen Architekten bemerkbar, die von kulturellen Sorgen am Ende des Jahrhunderts der Aufklärung geplagt waren.

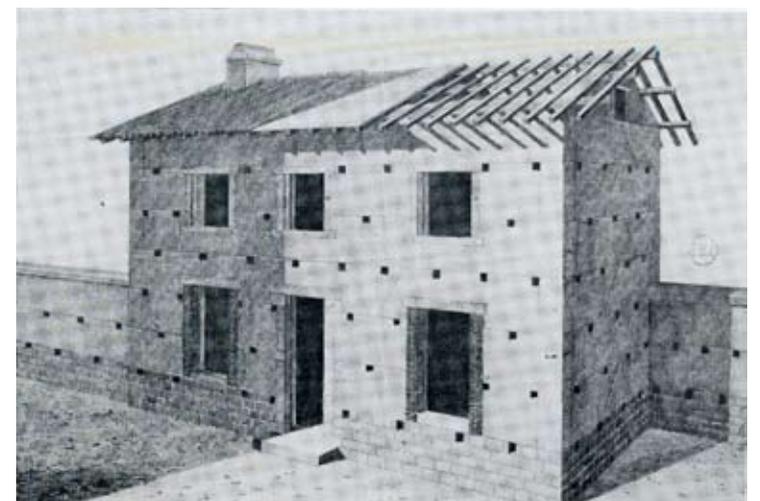


Abb.9: Modell des Ökonomischen Wohnhauses aus Pisé

In Frankreich blieb der Lehmbau bis zum Ende des zweiten Weltkriegs sehr gebräuchlich, auch wenn er im urbanen Raum immer mehr in Ungunsten geraten war. Ab dem Jahr 1950 wurde er dann von preiswerteren, industriell erzeugten Baustoffen verdrängt. Gründe dafür waren der Wiederaufbau, der auf den Weltkriegen folgte (der Charakter der Dringlichkeit vereinbarte sich schlecht mit der Langsamkeit und dem Aussehen der Lehmbauten), die Generalisierung der Lohnarbeit, und die Abkehr von der in ländlicher Umgebung üblichen familiären Hilfeleistung beim Bauen. Darüber hinaus trug auch ein spektakulärer Aufschwung der industriellen Produktion maßgebend dazu bei. Sie eroberte schrittweise alle Märkte, was einen Umbruch der Praktiken und Techniken, inklusive jener des Bauwesens mit sich zog. Leistungsfähige und attraktive Materialien konnten nun zu sehr wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden.

Die Standardisierung der Arbeiten trug dazu bei, dass alte Arbeitstechniken und Materialien in Verruf gebracht wurden. Insbesondere die Konstruktionsweisen mit Lehm, die schnell in Vergessenheit gerieten, hatten schwer darunter zu leiden. Mitunter war die Abkehr vom Lehmstampfbau und die Hinwendung zum Stampfbetonbau ein Grund für den Rückgang des Lehmbaus. So stand zum Beispiel der Fabrikant Francois Coignet aus Lyon vor der Aufgabe Fabrikgebäude mit preiswerten und kostengünstigen Materialien zu bauen. Anstatt Wände aus Lehm zu stampfen – eine mühsame Arbeit, zu der stets die stärksten Männer eingeteilt wurden – entschied er sich, sie aus Kalk und grobkörnigen Kiessand in einer Pisé-Schalung zu stampfen. Solche Bauweisen wie die mit Beton und die Kalksandbauweise, die aus der veralteten Lehmstampftechnik entwickelt wurden, drängten im Laufe der nächsten Jahrzehnte den Lehmbau in Frankreich zurück. Gleichzeitig kann diese Entwicklung aber auch zu einer der größten Bedeutungen des Stampflehmbaus gerechnet werden. Der Lehmbau verlor aber auch an Bedeutung, weil es nur selten genug Fachleute gab, die die Eigentümlichkeiten des Baustoffes und seiner Verarbeitung kannten.



Abb.10: Gebäude aus Pisé, Saint- Siméon-De-Bressieux. Erbaut im Jahre 1882 als Arbeiterwohngen einer nahegelegenen Fabrik. Die Einflüssen Cointeraux's sind gut ablesbar.

Der einst populäre, ländliche Baustoff Lehm war unter anderem in Verruf gebracht worden, weil er mit Armut assoziiert wurde. Die Erinnerungen an seine thermischen Qualitäten und die Forderung nach einem sanften Umgang mit der Natur haben ihm dennoch eine Renaissance in der Zeit der Energiekrise Ende der 70er Jahre beschert. Mitunter verkörpert der Baustoff Lehm die ideale Möglichkeit der Energieeinsparung, indem er vielfach direkt am Bauplatz zur Verfügung steht und zu seiner Aufbereitung außer menschlicher Arbeitskraft nur wenig zusätzliche Energie benötigt wird.

Sozialwohnbauten aus Lehm in Villefontaine

„Nachdem alle Häuser im Rohbau fertig sind, haben erste Berechnungen ergeben, dass die verschiedenen Lehmbautechniken, die hier benutzt wurden, weder billiger noch teurer waren als die sonst im sozialen Wohnbau üblichen. Dennoch glauben wir, dass dieses Projekt eine Signalwirkung für ganz Frankreich haben wird, weil es Energie einspart und damit die Umwelt weniger belastet. Wir haben zudem bewiesen, dass ein moderner Lehmbau sich durchaus für ein so großes Projekt eignet.“
(Hubert Guillot, Architekt, Prof. an der ESA-Grenoble und Mitbegründer der CRATerre.)



Abb.11: Le Domaine De La Terre, Villefontaine; 1984
Architekten: François Jourda, Gilles Perraudin



Abb.12: Le Domaine De La Terre, Villefontaine; 1984

Im letzten Viertel des 20ten Jahrhunderts gab es im Bauwesen eine Veränderung von einer reinen quantitativen Produktion zu einer qualitativen Produktion, mit dem Vorhaben den Bausektor vom ungesunden Wohnen und von risikoreichen Baumaterialien zu säubern. Aus baubiologischer Sicht ist Lehm ein idealer und gesunder Baustoff. Er hat die Fähigkeit die Luftfeuchtigkeit zu regulieren und Temperaturschwankungen auszugleichen und schafft damit ein gesundes Raumklima. Lehmwände sind antistatisch, sie binden Staub, neutralisieren Rauch und absorbieren die in Wasserdampf gelösten Schadstoffe der Luft. Der Baustoff Lehm hat im Laufe der Zeit eine Reihe ausgearbeiteter Techniken hervorgebracht und wurde bescheiden von Generation zu Generation weitergegeben.

Der Lehmziegel-Bau

Die dem Boden entnommene Erde wird in eine Form gegeben und je nach Vorgehensweise stark oder schwach komprimiert. Nach Trocknung der „brique de terre“ sind die Ziegel fertig zum Vermauern. Sie können sowohl für lastabtragende Strukturen als auch für Ausfachungen verwendet werden.

Die Torchis-Bauweise

Bei dieser Bauweise wird Erde mit Stroh vermischt und als Füllmaterial zwischen der tragenden Holzstruktur eingesetzt. Diese Technik war lange Zeit vergessen und wird heute in Form der aus Deutschland stammenden modernen Stroh-Leichtlehmbauweise wieder eingesetzt.

Der Pisé-Bau

Die Erde wird nach Möglichkeit direkt am Bauplatz dem Boden entnommen und zwischen zwei Schaltablen schichtweise festgestampft. Das Abschnittweise Feststampfen verleiht den Pisé-Wänden eine Schichtenfolge mit besonderem ästhetischem Reiz. Nach dem Stampfen kann die Schalung sofort entfernt werden, da die Wände sofort eine hohe Tragfähigkeit erreichen. Heute werden Pisé-Wände auch als Fertigwände auf die Baustelle geliefert.

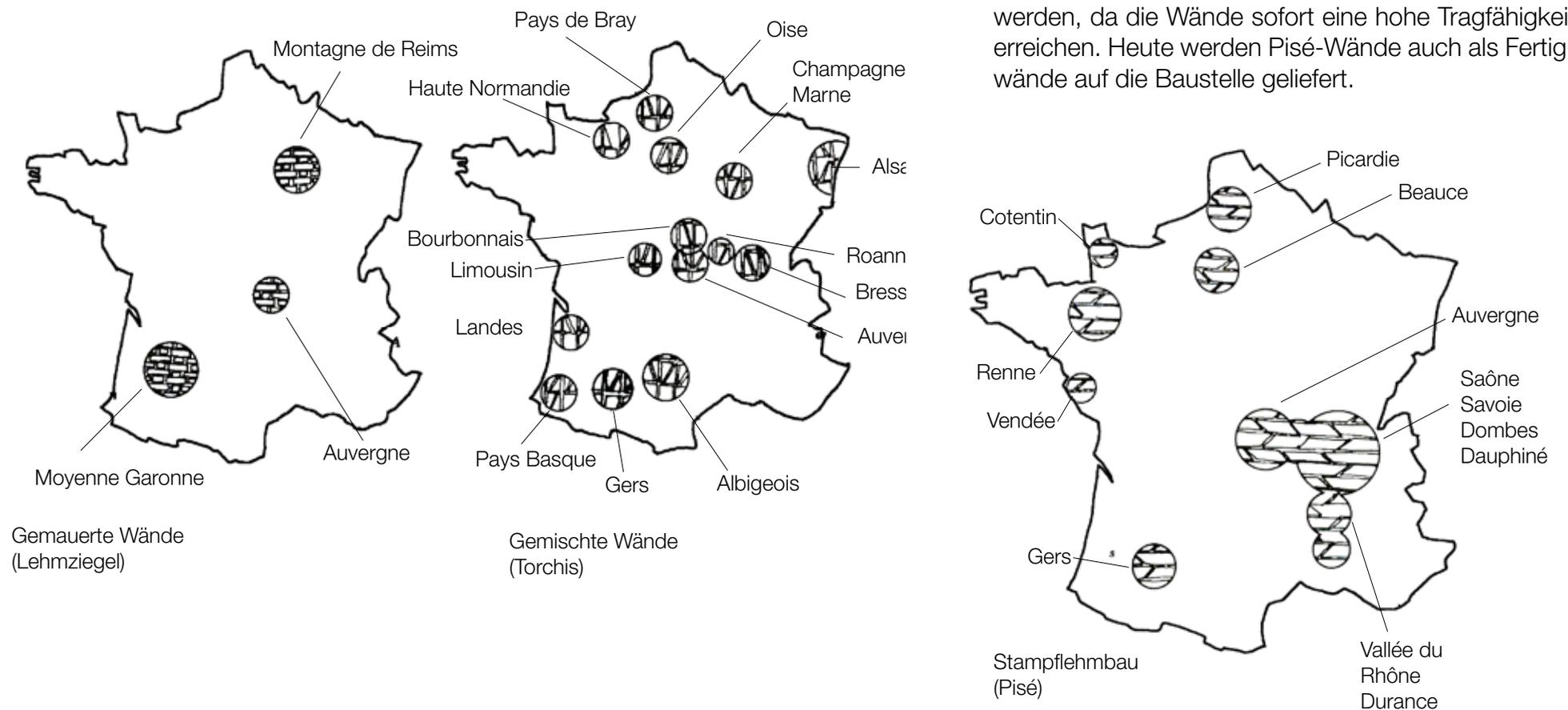


Abb.13: Lehmbauten in Frankreich



Abb.14: Sozialwohnungen in Pisé-Bauweise; Rennes



Abb.15: Ökumenisches Zentrum von Ars-sur-Formans; Ain



Abb.16: Festhalle in Pisé-Bauweise; Ain



Abb.17: Renovierung einer Spinnerei mit Lehmputz; Isère



Abb.18: Wohngebäude in Stroh-leichtlehm; Rennes



Abb.19: Wintergarten in Pisé; Villefontaine

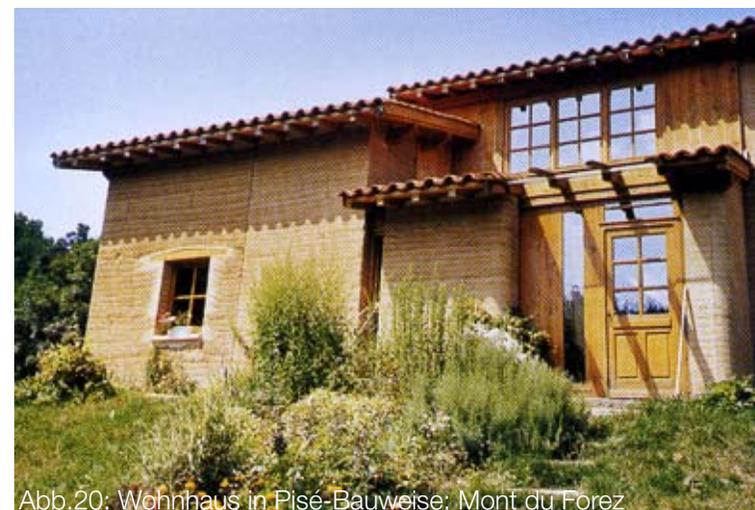


Abb.20: Wohnhaus in Pisé-Bauweise; Mont du Forez

Die Geographie des Pisé-Baus

Der Pisé-Bau ist in zahlreichen Regionen Frankreichs vorhanden. Die zum Bau benötigte Erde wird aus einem Boden mit gleichmäßigem Gefüge und einer sandigen oder sandig-kie-sigen Textur gewonnen. Dabei handelt es sich um Moränen und Flussablagerungen einstiger Gletscher aus dem Sekun-där- und Tertiärzeitalter (vor ca. 2,6 Millionen Jahren). Beispiel dafür findet man in Petit Bugey, Terres Froides und Valdaine. Schlickige oder lehm-sandige Böden wie in den Ebenen von Bièvre, Liers und Valloire eignen sich ebenso zum Pisé-Bau. In den Regionen Auvergne, Forez und Lyonnais verwendet man die sogenannte Graniterde, die aus dem Zerfall von Granitgestein entstandeb ist. Die geographische Lage von Pisé umfasst also vor allem Gebiete mit niedriger Meereshöhe (unterhalb von 700 m). Eine Ausnahme bilden die Mittelgebirge von Livradois-Forez (über 800 m).

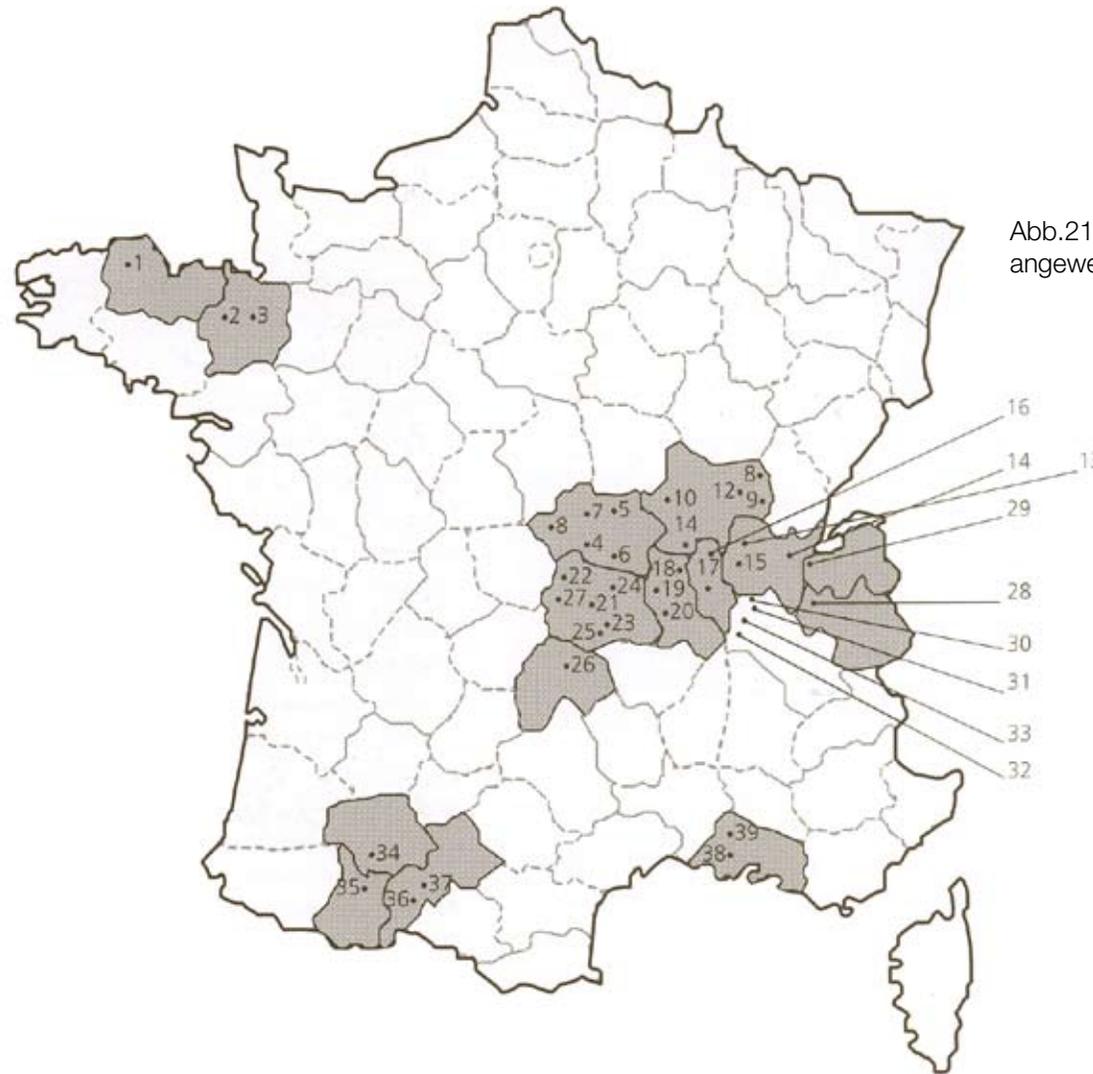


Abb.21: Regionen, in denen der Pisé-Bau angewendet wird.

Bretagne

1. Pays de Saint-Brieuc
2. Nord-est de la haute Bretagne
3. Bassin de Rennes

Bourbonnais

4. Limagne bourbonnaise
5. Sologne
6. Pays de Lapalisse
7. Val d'Allier

Bourgogne

8. Val de Saône
9. Mâconnais
10. Charolais

11. Brionnais

12. Clunisois

Lyonnais

13. Dombes
14. Bas Bugey
15. Vallée de la Saône
16. Beaujolais
17. Monts de Tarare
18. Charluois
19. Roannais
20. Forez

Auvergne

21. Limagne
22. Forêt de Randan

23. Varenne de Lezoux

24. Lits de l'Allier et de la Dore
25. Fossé d'Ambert
26. Bassin de Massiac
27. Basse Combraille

Savoie

28. Petit Bugey
29. Albanais

Dauphiné

30. Viennois
31. Terres Froides
32. Valentinois
33. Bièvre

Pays aquitain

34. Astarac
35. Magnoac

Midi toulousain et py-rénéen

36. Plaine de Villeneuve de Rivière
37. Plaine garonnaise

Provence

38. Camargue
39. Basse vallée de la Durance

- _ die geschichte des lehmbaus in frankreich**
- _ der pisé-bau in der region rhône-alpes**

Charakteristika der Pisé-Erde

Im allen Departements der Region Rhône Alpes kann man Erde für den Pisé-Bau finden. Die Erde findet man als tonhaltige Erdschicht unter der Vegetationsschicht.

Jedoch ist die Erde an jedem Ort ihrer Entnahme unterschiedlich. Sie unterscheidet sich in ihrem Aussehen, ihrer Materie und ihrem Verhalten. Sie kann sehr gelb, ocker, bläulich fast braun oder grau sein.

Das Besondere an der Pisé-Erde ist, dass sie aus reiner Erde und nur aus Erde besteht:

- sie wird nicht gebrannt
- hr werden keine anderen Substanzen zugegeben
- sie wird im Idealfall dort zum Bauen eingesetzt, wo man sie findet, weshalb keine Energie für Transporte verschwendet wird.

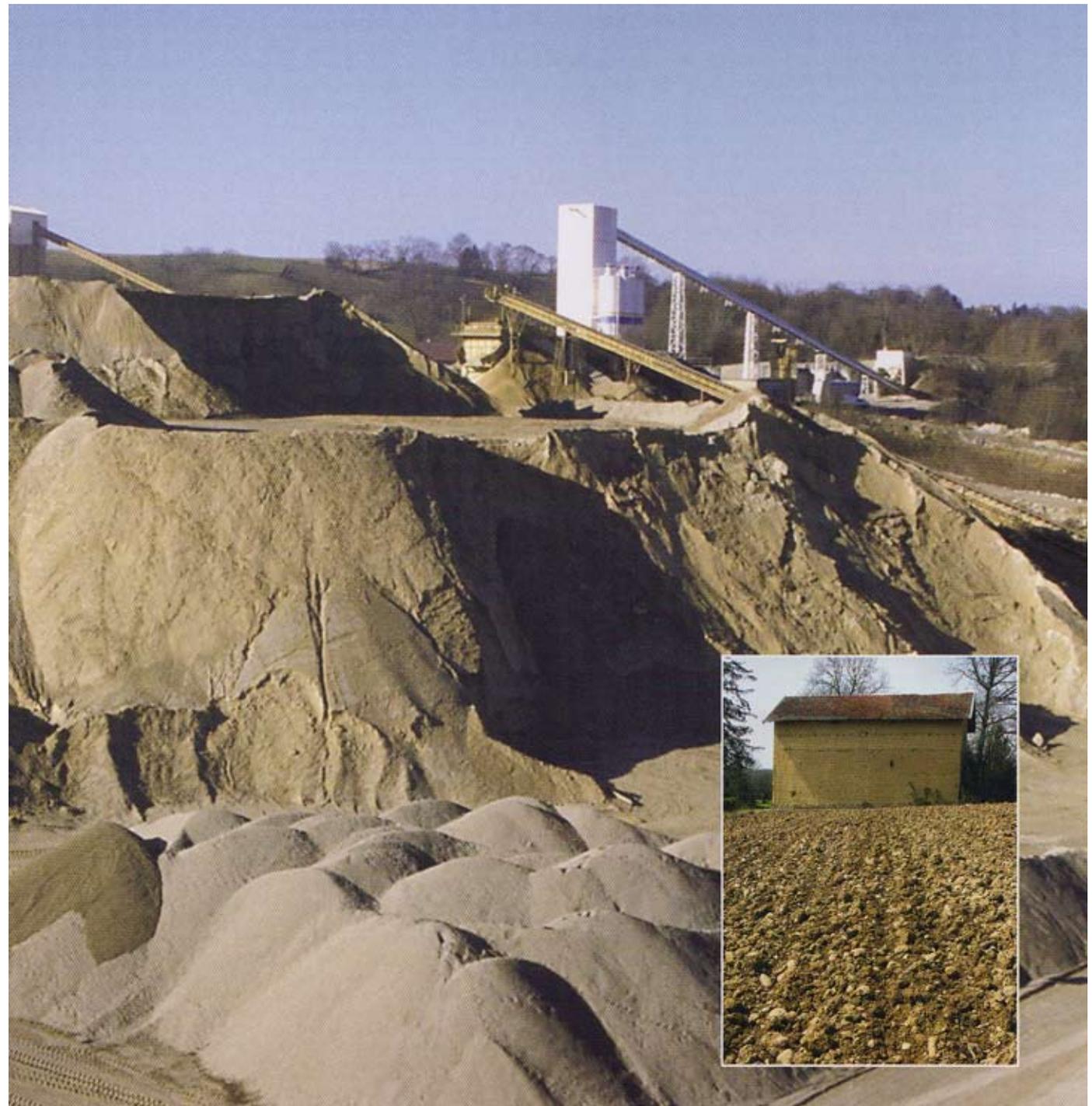


Abb.22: Carrière d'Artas

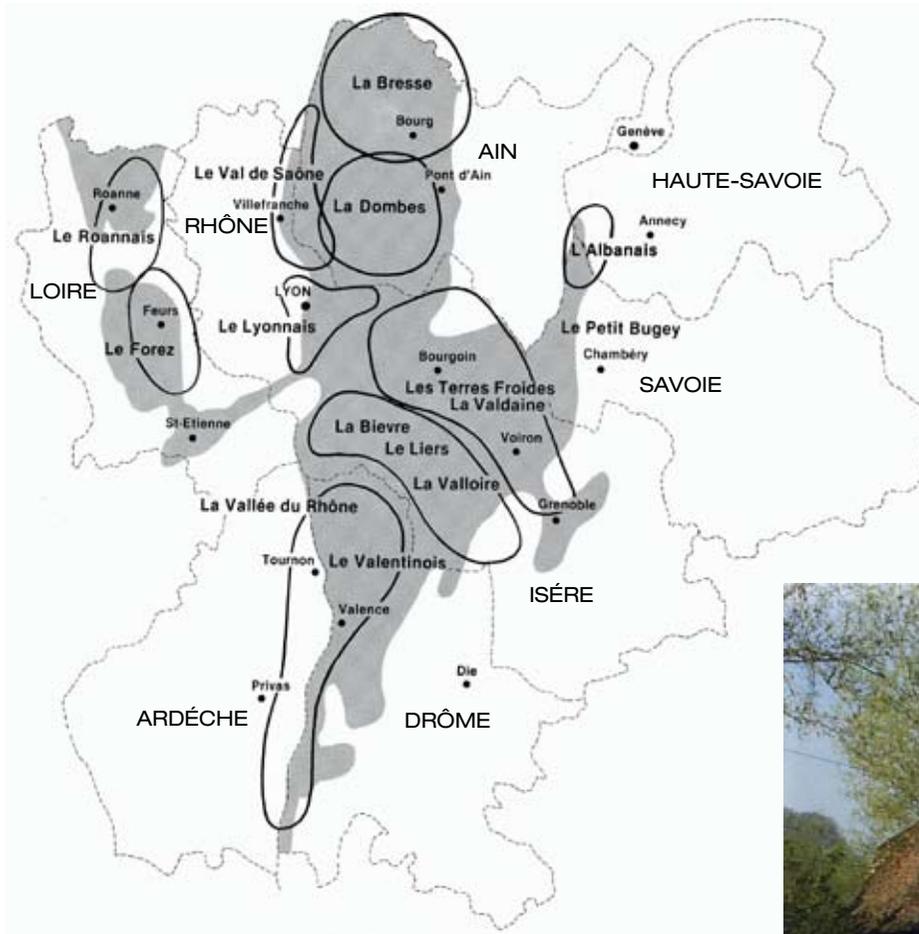


Abb. 23: Vorkommniss der Pisé- Erde in Rhône-Alpes

Bestandteile, welche eine gute Pisé- Erde ausmachen

Korngröße	Bestandteile	Korngröße	Ideale Kornverteilung
5 mm	> Kieselsteine		20%
5 mm	> Sand >	0,05 mm	40%
0,05 mm	> Schluff >	5 μ	15%
5 μ	> Ton >		25%

Abb. 24: Zusammensetzung guter Pisé-Erde in Rhône-Alpes



Abb. 25: Mulin de Saint Savin

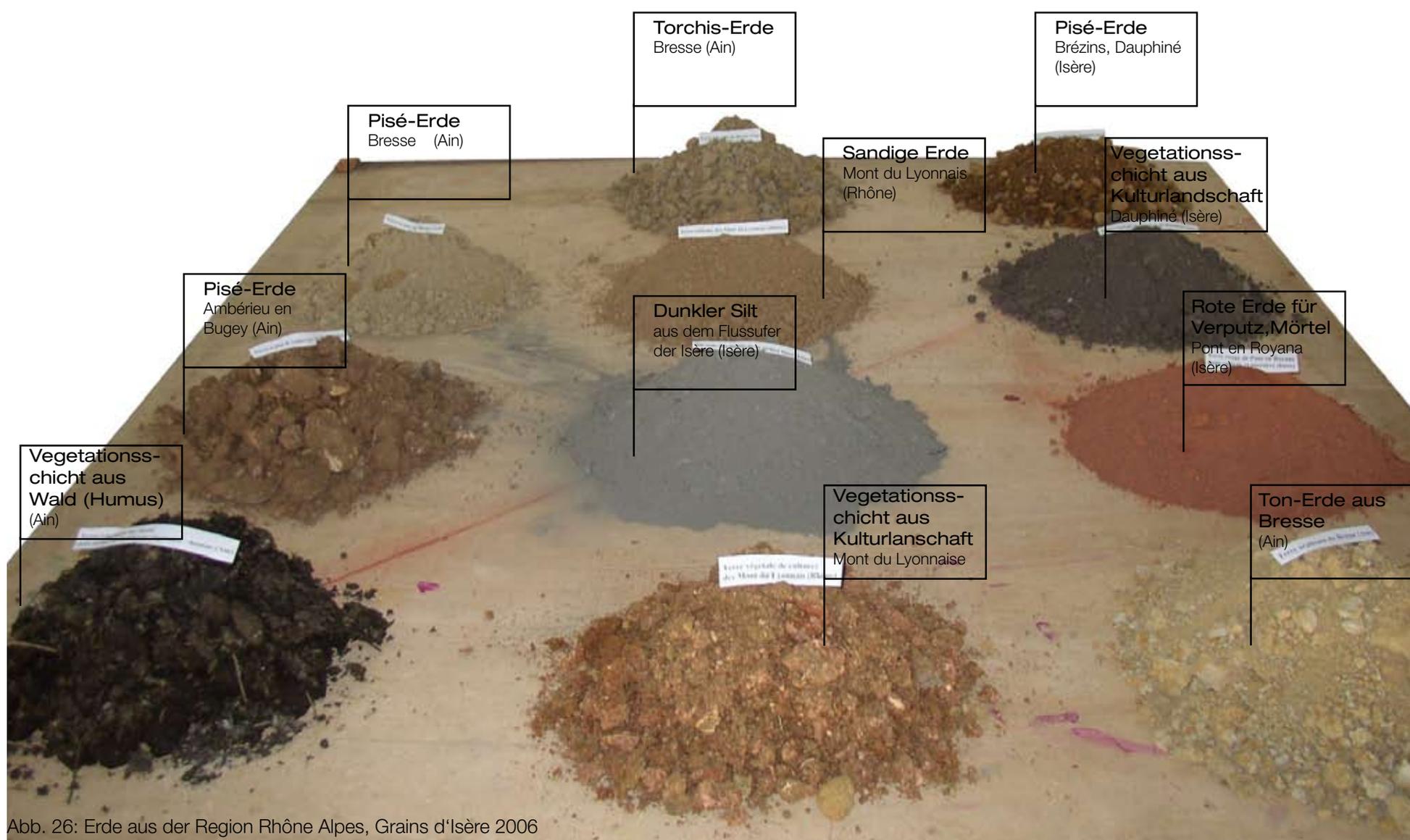


Abb. 26: Erde aus der Region Rhône Alpes, Grains d'Isère 2006

Der Pisé-Bau in Lyonnais (Rhône)

Der felsige Boden der Region, aus Sandstein und tertiären Konglomeraten, ist häufig überdeckt von späteren Ablagerungen, die entweder von Gletscherablagerung oder - bei groben Korngrößen - von Flussablagerungen stammen.

Die Pisé-Erde ist abgesehen von einigen Ausnahmen sandig, hat eine ocker-beige bis rotbraune Farbe und enthält zahlreiche verschiedenartige Steine in variantenreichem Ausmaß. Kennzeichnend ist die starke Homogenität des Pisé. Die Bauwerke sind fast immer verputzt, außer Umgrenzungsmauern.

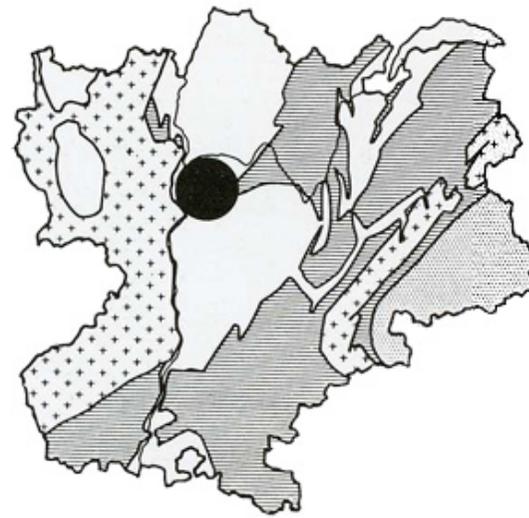


Abb. 27: Region Rhône-Alpes

-  Altes Kristall-massiv
-  Innere Alpenmassive
-  Zweite Decke
-  Dritte und vierte



Abb. 28: Umgrenzungsmauer in St. Genis Laval, Lyonnais (RHÔNE)

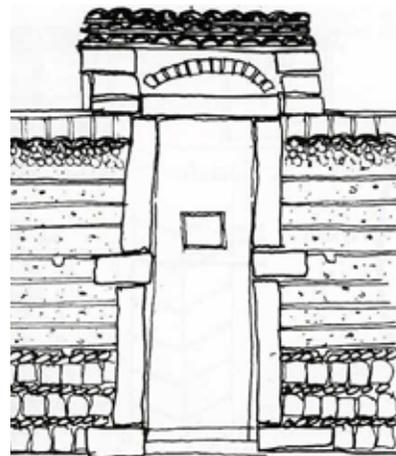


Abb. 29: Detail Portikus aus Steinen, Ziegeln und Dachziegeln

Eine Pisé-Mauer in Rhône

Die Straßen in der Region Lyonnais sind oft von Pisé-Mauern gesäumt. Meistens sind sie aber nur auf der dem Regen weniger ausgesetzten Seite aus Stampflehm erbaut. Die andere Seite ist meist aus Steinen errichtet.

Charakteristik der Mauer

- Die Mauer wurde in einer Hanglage mit bis zu 18% Steigung errichtet
- Sockel ist aus Kieselsteinen und Steinen in artenreichen Mustern erbaut
- Die Erde der Pisé-Wand hat eine intensive ockerfarbenen Aussehen. Sie weist sehr viele verschiedenartige Steine auf, die sich farblich, sowie in Form und Dimension unterscheiden.

Der Pisé-Bau in der Region Loire

Der Pisé-Bau ist in der Loire weit verbreitet. Bei traditionellen Gebäuden tritt er mit folgender Häufigkeit auf: 30% der Bausubstanz der größeren Agglomerationen wie Montbrison, 90% der kleineren Agglomerationen auf dem Land und bis zu 60% der Bausubstanz in den Bergen sind aus Pisé errichtet.

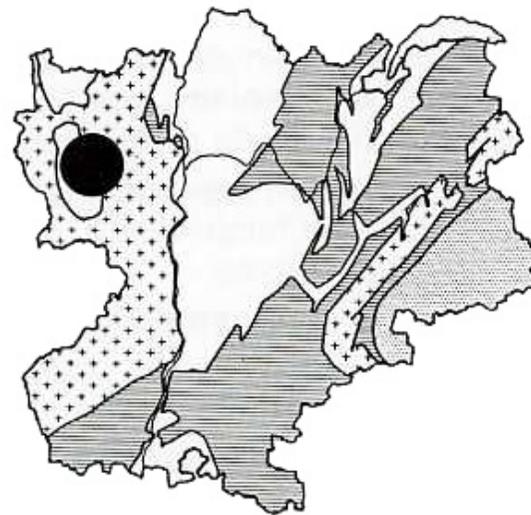


Abb. 30: Region Rhône-Alpes

Ein Bauernhof in der Loire

Der Bauernhof und kleine Gastbetrieb ist auf dem Flachland der Loire erbaut. Er zeichnet sich durch seine Naturbezogenheit aus, die sich unter anderem in der Verwendung lokaler Baustoffe zeigt: Die Erde stammt aus dem Ort, die Dachziegel und Ziegel wurden in der örtlichen Fabrik in St. Agathe hergestellt.

Charakteristik des Gebäudes

- Alle Fassaden sind aus Pisé-Wänden hergestellt und sind unverputzt belassen. Heute sind Spuren der jahrzehntelangen Wassererosion ablesbar. Die Wände sind zwar stabil, sind aber äußerst sensibel gegen Erosion und bröckeln bei leichtem Kratzen ab.
- Die Wände sind beigefarben und enthalten viele bis zu 5 cm große Steine
- Die Höhe der Holzschalung ist regelmäßig und beträgt einen Meter.
- Die Ecken sind mit mehrstufigen Kalkschichten verstärkt.
- Für Tür- und Fensterstürze wurden Ziegelsteine bogenförmig eingesetzt. Ebenso wurden für die Türpfosten, Pfeiler und für den Sockel des Gebäudes Ziegelsteine verwendet.



Abb. 31: Bauernhof in St. Agathe-la-Bouteresse, Forez LOIRE)



Abb. 32: Detail des Portals

Der Pisé-Bau in Ain

Dieses Gebiet besteht aus zwei unterschiedlichen geophysischen Teilen: dem Plateau von Dombes und der Ebene von Ain.

Auf dem Plateau von Dombes bestehen die unteren Bodenschichten vor allem aus Gletscher-Schlamm und Ton. Darüber finden sich einige Dezimeter und manchmal auch einige Meter feine, tonreiche Sande (Löss oder Schluff). Das daraus gefertigte Pisé hat sehr homogen, tonreiche Züge, ist beigefarben und enthält Spuren von Eisenoxyd. In der Ebene von Ain bildeten sich durch Ablagerungen und Schwemmland Terrassen, die größtenteils aus groben Steinen bestehen. In den Zwischenräumen der Steine lagerte sich Schluff ab, wodurch eine gute Pisé-Erde entstehen konnte. Die Pisé-Erde ist sehr tonreich, weist keine Steinanteile auf und hat eine hellgraue Farbe.

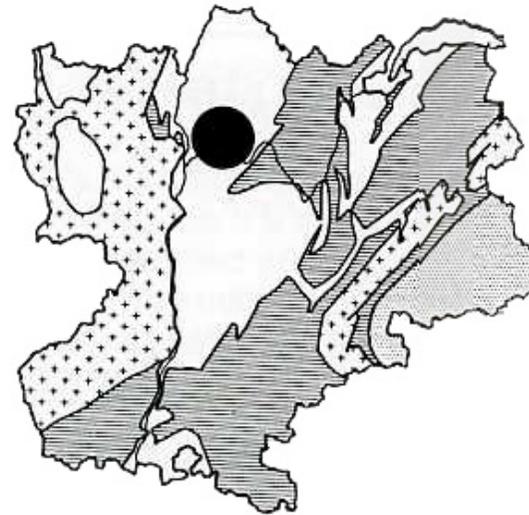


Abb. 33: Region Rhône-Alpes

- ++ Altes Kristall-massiv
- ⊗ Innere Alpenmassive
- ▬ Zweite Decke
- Dritte und vierte



Abb. 34: Kloster in St. Trivier-sur-Moignan, Dombes (Ain)

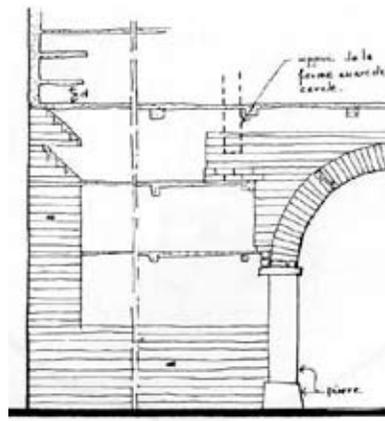


Abb.35: Detail der Fassade

Ein altes Kloster in St. Trivier-sur-Moignan (Ain)

Trotz der Wichtigkeit des Gebäudes verwendeten die Bauherren dieselben Materialien und Konstruktionstechniken wie für Wohngebäude, Stallungen und Scheunen. Einzig der Holzdachstuhl weist Unterschiede zu der lokalen Bebauung auf. Der Mittelteil des Gebäudes ist bis heute unverändert geblieben und ist noch heute in seinem Originalzustand unverputzt. Das zentrale Gebäude des Klosters ist heute bewohnt, der Rest dient als Raum für Landwirtschaft und Viehzucht.

Charakteristik der Pisé-Wände

- Die Wände haben eine helle, beige Farbe
- Bei Berühren bröckeln die Wände ab
- Die Schichten haben eine Höhe von 90 cm
- Der Sockel ist aus Ziegeln und Steinen erbaut

Der Pisé-Bau in Haute-Savoie

Das Departement Haute-Savoie grenzt an die Schweiz an und gründet auch auf dem Schweizer Molasse-Becken. Die Tone, Schluffe und groben Sand-Ton-Gemische dieses geologischen Gebietes haben mehrere Pisé-Varianten hervorgebracht. Als Gemeinsamkeit des Pisés kann die immer sandreiche Erde mit ockergelber Farbe vermerkt werden. Oft hat die Erde auch einen gelb-orangen Stich.

Die in der Region erbauten Pisé-Wände sind ziemlich homogen und oft verputzt. Die Sockel der Gebäude sind oft aus großen Steinen errichtet.



Abb. 37: Bauernhof in Bloye, Albanais

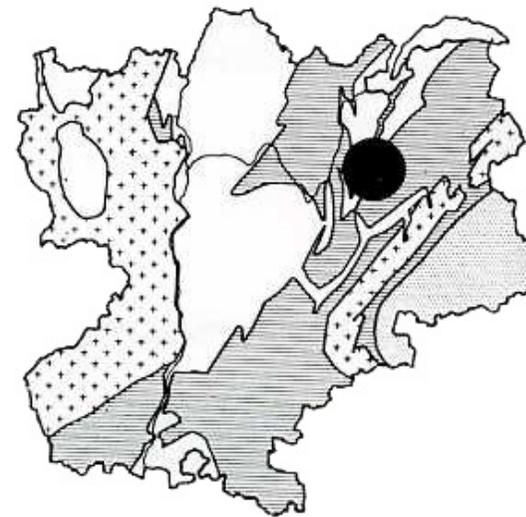


Abb. 36: Region Rhône-Alpes

-  Altes Kristall-massiv
-  Innere Alpenmassive
-  Zweite Decke
-  Dritte und vierte

Bauernhof in Bloye (Haute-Savoie)

Der Bauernhof ist charakteristisch für die Bauernhöfe der Region. Er ist vollständig aus Pisé erbaut. Die Wände des Wohnhauses sind verputzt, die der Wirtschaftsgebäude hingegen nicht.

Charakteristik des Pisé

- Die Pisé-Wände sind ocker bis gelbfarben. Die Erde ist ziemlich homogen, abgesehen von tieferliegenden Schichten die steiniger sind.
- Der ein Meter hohe Sockel wurde aus großen Steinen erbaut.
- Die Eckverstärkungen sind aus Ecksteinen gefertigt.
- Die Fenster und Türpfosten des Stalls sind aus Steinen erbaut und tragen einen Sturz aus Holz.

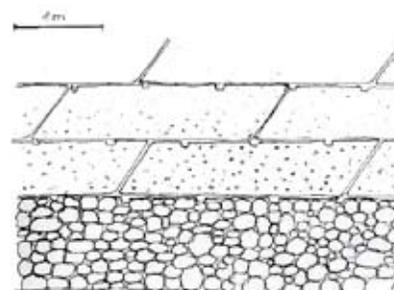


Abb. 38: Detail des Sockels

Der Pisé-Bau in Savoie

Die geologische Lage umfasst im Westen ein Molasse-Becken aus dem Tertiär-Zeitalter und ist in östlicher Richtung von Spannungen aus der Jura-Zeit gezeichnet.

Das Molasse-Becken besteht in der Tiefe aus Kalksandsteinen, darüber finden sich sandige Schichten bis hin zu weichen instabilen Schichten.

Über dem Molasse-Becken befinden sich von Muränen und Flussgletschern geformte Terrassen, welche aus Lehm-Kies zusammengesetzt sind und hervorragend für den Pisé-Bau geeignet sind.

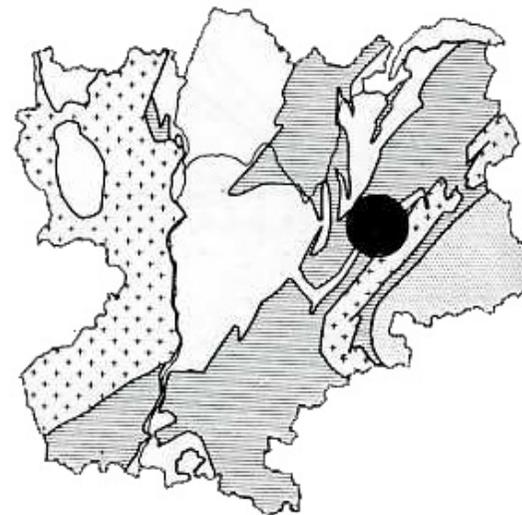


Abb. 39: Region Rhône-Alpes

- ++ Altes Kristall-massiv
- Innere Alpenmassive
- Zweite Decke
- Dritte und vierte



Abb. 40: Mühle in Verdet Montdurand (SAVOIE)

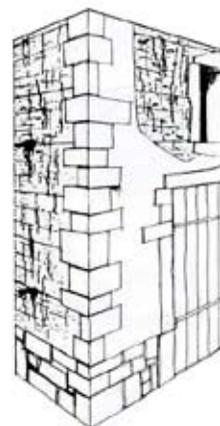


Abb. 41: Detail des Sockels

Mühle von Verdet Montdurand (Savoie)

Dieses Gebäude wurde wegen seiner typologischen Originalität, der an einem Wasserlauf erbauten alten Mühle, erhalten. Aber auch wegen des besonderen Aussehens seiner Pisé-Wände, die, wie es scheint mit einem sehr hohen Wasseranteil erbaut wurden, was aus den vielen Rissen und den etwa 25 cm hohen Schichten hervorgeht. Das Gebäude war wahrscheinlich durch eine sehr verwitterte Putzschicht geschützt. Folgende Merkmale fallen auf:

Charakteristik der Erde

- die Pisé-Erde ist tonhaltig und hat eine weiß-hellgelbe Farbe
- sie ist sehr plastisch, was aus dem starken Dehn- und Schwindverhalten (Rissbildungen) hervorgeht
- sie enthält Kieselsteine
- die Stampfabchnitte haben ein Ausmaß von 3 m Länge und 0,75 m (3 x 0,25 m) Höhe.

Der Pisé-Bau im Gebiet der Terre Froides (Isère)

Die Bodenschichten der Region Terres Froides bestehen im unteren Bereich aus sandiger Miozän-Molasse. Die oberen Bodenschichten sind kieshaltig. Im Laufe der Zeit entstand durch den Transport von Moränen und Fluss-Gletschern eine durchmischte Ton-Kies-reiche Erde. Diese Mischung ist gebrauchsfertig zur Herstellung von Pisé-Wänden. Im Norden, wo heute die Rhône fließt findet sich hingegen ein weniger ton-reiches Schwemmland, das weniger gut zur Pisé-Herstellung geeignet ist.

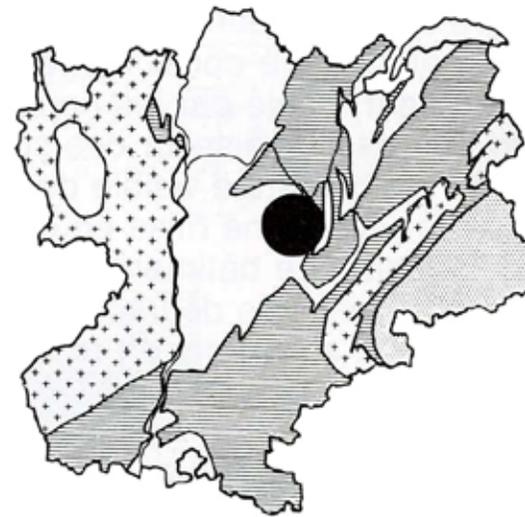


Abb. 42: Region Rhône-Alpes

- ++ Altes Kristall-massiv
- ⊗ Innere Alpenmassive
- ▬ Zweite Decke
- Dritte und vierte



Abb. 43: Kapelle in Chapite Bourdenoud, Terre Froides (ISÈRE)

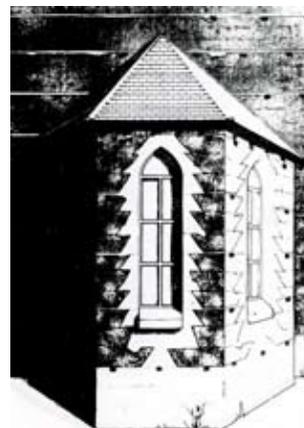


Abb. 44: Fensteröffnung

Kapelle von La Chapite Bourdenoud (Isère)

Die Kapelle hat ein einfaches Volumen. Eher selten für die Region ist, dass bei ihrem Bau in kleinen Mengen Beton eingesetzt wurde. So wurde Beton im oberen Bereich der Grundmauern und als Verzahnungen der Fensteröffnungen zur Stabilisierung verwendet. Heute ist die Kapelle in einen Hangar für Lagerzwecke umfunktioniert.

- Die Pisé-Erde ist sandig. Die Wände sind dicht, kiesig und an der Oberfläche oxidiert.
- Größe der Stampfabsnitte: 2,5 m x 0,9 m
- Es gibt immer drei Zangen auf der Länge einer Schalungstafel.



Abb. 45: Stadel aus Pisé (Viriville, Isère)



Abb. 46: Mühle von Nouara (Puy-de-Dôme)



Abb. 47: Efeubewuchs an Pisé-Fassade



Abb. 48: Bauernhof aus Pisé (La Charpenay, Isère)



Abb. 49: Ländliches Pisé, Moissieu-sur-Dolom, Isère



Abb. 50: Kieselsteine im Fischgrätmuster an Lehmbauten in Dauphiné, Isère

III_ material- und konstruktionsversuche mit lehm

_ lehmprüfverfahren

_ konstruktionsversuche

Da ich am Instiut „CRATerre“ der École d'Architecture de Grenoble nicht nur Zugang zu Literatur über Lehmbau und ökologischem Bauen hatte, sondern auch eingeladen wurde das institutseigene Labor für Bodenproben zu benutzen, entschied ich mich diese Möglichkeit wahren. Dadurch sollte ich einen ersten praktischen Zugang zum Lehmbau bekommen.

Versuchsinhalte

Ich wollte der wichtigsten Frage nachgehen, die vorab bei der Planung eines Lehmbaus geklärt werden sollten, nämlich jener ob die Erde am Bauplatz für eine Lehmkonstruktion geeignet ist. Dieser Faktor kann zum einen ausschlaggebend sein für die Wirtschaftlichkeit eines Baues und damit erst das Bauvorhaben ermöglichen und zum anderen einen ökologischen Beitrag leisten, indem er dem Anspruch nach Verwendung lokaler Ressourcen und umweltschonender Baumaterialien und lokaler Baukultur gerecht wird.

Meine zu untersuchende Bodenprobe wollte ich dem Standort meines zu planenden Diplomarbeitprojektes in Nivolas Vermelles (Nord-Isère) entnehmen. Bevor ich allerdings dazu kam, wurde mir eine Bodenprobe des Ortes von einigen Studenten zur Verfügung gestellt, die selbst an einem Entwurf des Bauplatzes arbeiteten. Somit konnte ich die Bodenproben für meine Analysen nutzen. Als erstes wollte ich die so genannten vorbereitenden Bodenuntersuchungen durchführen, sprich visuelle und haptische Analysen, für die keine Laborinstrumente notwendig sind und dann nach Bedarf genauere Untersuchungen mit den mir zur Verfügung stehenden Mitteln vornehmen.

Bei der Durchführung der folgenden Versuche habe ich mich an die nachstehende Literatur gehalten:

Mesbah A., Houben H., u.a.: *Blocs de terre comprimée : Procédures d'essais*. 2000

Schneider, Schwimann, Bruckner: *Lehmbau. Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und Normen, Rechenwerte*. 1996



Abb. 51: Erde aus Nivolas Vermelles

Die Klassifizierung eines Bodens

1. Identifizierung der Charakteristiken und Grundeigenschaften der Komponenten eines Bodens, welche das mechanische Verhalten ausmachen. Dies sind vorbereitende Untersuchungen des Bodens, visuelle und haptisch Beobachtungen.

2. Verfassen einer Beschreibung des Bodens anhand der Ergebnisse der vorbereitenden Untersuchungen. Diese beschreibenden Informationen sind nötig um den Boden einem weiteren detaillierten Gutachten zu unterziehen.

3. Falls die Analyse des Bodens keine genaue Klassifikation zulässt, sind Laboranalysen notwendig. Dieser Schritt ist erforderlich, wenn eine sehr genaue Bestimmung notwendig ist (für besondere Böden und besondere Mineralien).

Das Entnehmen einer Musterprobe

Man hebt ein etwa 1 m breites und 2 m tiefes Loch aus. Die Probe wird durch Abtragen einer horizontalen Schicht an einer der Seitenwände entnommen. Es ist auch möglich, die Probe an einer Böschung zu entnehmen. Zuvor muss dabei auf ein sorgfältiges Entfernen der Vegetationsschicht geachtet werden muss.

Gewicht der Probe

Prinzipiell genügen 1,5 kg Erde um alle Analysen zur Identifikation eines Bodens durchzuführen. Für die Ermittlung der Druckfestigkeit wird eine größere Erdmenge von 6 bis 10 kg benötigt. Zur Herstellung eines Ziegels mit den Maßen 29,5 x 14 x 9 cm sind 10 kg Erde notwendig. Die genaue Menge der benötigten Erde ergibt sich aus der Menge der durchzuführenden Analysen und Experimente, die vorgesehen werden, sie ist abhängig von der erforderlichen Genauigkeit, welche durch die Faktoren Analysekosten und Bodenqualität bestimmt werden. Ein grobkörniger Boden verlangt eine genauere Stichprobe als ein feinkörniger Boden.

Qualität der Probe

Die Stichprobe muss repräsentativ für die Qualität des zu analysierenden Bodens sein. Um diese Forderung zu garantieren, sollten folgende Prinzipien eingehalten werden:

Es sollte dafür gesorgt werden, dass:

- die Erde nicht durch Vermischen von verschiedenen horizontalen Schichten verunreinigt wird.
- nichts von der Probe entfernt noch hinzu gegeben wird und somit keine Korrekturen des natürlichen Zustands vorgenommen werden.
- örtlich begrenzte Probeentnahmen durchgeführt werden.
- bei heterogenen Böden nicht versucht wird ein „mittel“ des Bodens zu finden, sondern jeweils eine Probe an sich grob unterscheidenden Stellen entnommen wird.
- beim Teilen der Probe folgende Vorgangsweise eingehalten wird: die Erde wird kegelförmig auf ein sauberes Tuch geschüttet, geglättet und in vier Teile aufgeteilt. Dann werden zwei gegenüberliegende Teile entfernt, ein neuer Kegel gebildet und das Prinzip wiederholt bis die gewünschte Menge Erde übrig bleibt.

Aufbewahrung der Proben

Die Proben werden in wasserdichte Behälter oder Säcke gefüllt, die dem Transport standhalten. Falls der ursprüngliche Feuchtigkeitsgehalt beibehalten werden soll, muss ein Paraffinbehälter verwendet werden. Um ein Verwechseln der Proben zu vermeiden, sollten die Behälter sorgfältig beschriftet werden.

Die vorbereitenden Bodenuntersuchungen

erlauben eine Abschätzung gewisser Charakteristiken eines Bodens und bestätigen oder widerlegen die Eignung des Bodens für seinen Gebrauch als Baumaterial. Sie sollten eine Reihe von Untersuchungen umfassen. Ich habe folgende Tests herangezogen: Grifftest, Formbarkeitsprobe, Falltest, Trockenbruchprobe, Messerschnittprobe, Schmier- oder Seifenprobe, Rollprobe und Sedimentationsprobe.

Alle diese Versuche sind sehr empirisch, weshalb es ratsam ist, sie öfters zu wiederholen, um nicht nur momentane Eindrücke zu erhalten.

Diese Analysen geben in Folge Aufschluss darüber, ob ergänzende Laboruntersuchungen notwendig sind.

Grifftest

Eine kleine Menge trockener Erde wird kugelig ($d = 5 \text{ cm}$) geformt und zwischen Daumen und Fingern zerdrückt. Fühlt sich die Erde körnig an und zerbricht unter leichtem Druck, so handelt es sich um sandige Erde. Zerbricht sie unter starkem Druck, handelt es sich um schluffige Erde. Zerbricht die Probe unter starkem Druck nicht, sondern gibt nur plastisch oder gar nicht nach, so besteht sie aus fettem Lehm. Ebenso lässt sich auf einen lehmigen Boden schließen, wenn die Erde im trockenen Zustand klumpig ist und bei leichtem Befeuchten plastisch und klebrig wird.

Ergebnis

Die Erde fühlt sich körnig an und lässt sich unter leichtem Druck zu einer Kugel formen. Die Probe zerbricht unter leichtem Druck in meiner Hand. Zurückbleiben einige Klumpen und zum Großteil feinkörniger Sand. Daraus lässt sich schließen, dass ein großer Anteil der Erde aus Sanden besteht.



Abb. 52: Grifftest

Formbarkeitsprobe

Frisch gegrabene Erde wird mit den Händen zu mehreren faustgroßen Kugeln geformt. Lässt sie sich nicht formen, so hat man es mit einem sandigen Boden zu tun, der für Bauzwecke zu mager ist. Ist eine Kugel formbar, bricht aber nach der Formung wieder leicht auseinander, handelt es sich um einen Magerlehm. Klebt die Erde beim Formen an den Händen, so hat man einen fetten Lehm vor sich.

Ergebnis

Unter leichtem Druck lassen sich mehrere Kugeln formen. Sie besitzen genügend Stabilität, um nicht gleich auseinander zu fallen. Beim Versuch die abgelegten Kugeln zu entfernen, brechen sie auseinander. Demzufolge ist auf einen Magerlehm zu schließen.



Abb. 53: Formbarkeitsprobe

Fallprobe

Man lässt eine etwa 5 cm große getrocknete Kugel aus etwa 1 m Höhe fallen. Zerfällt die Kugel zu Krümeln und Sand, ist die Erde unbrauchbar. Zerfällt sie in mehrere Teile, ist die Erde brauchbar. Zerfällt sie gar nicht, so ist die Erde sehr tonhaltig, ebenfalls brauchbar, jedoch schwierig aufzubereiten

Ergebnis

Die Erde zerfällt in mehrere Teile. Einige wenige Anteile haben einen Durchmesser von etwa zwei Zentimeter, mehrere andere Teile haben Durchmesser von etwa einem Zentimeter. Umgeben sind die Klumpen von Krümeln und Sand. Das Ergebnis lässt auf eine brauchbare, wenn auch magere Erde schließen.



Abb. 54: Fallprobe

Trockenbruchprobe

Anhand des Bruchbildes lassen sich Böden mit zu hohem oder zu geringem Tongehalt ausgrenzen. Ein trockenes Lehmplättchen (ca. 2 x 4 cm) von etwa 1 cm Dicke wird zerbrochen, und die Teile zwischen den Fingern zerrieben.

Hartes, scharfkantiges Brechen und mit normalem Fingerdruck nicht pulverisierbare Teile verweisen auf zu viel Ton. Löst sich die Probe mehr oder weniger freiwillig auf, enthält sie zu wenig Ton.

Ergebnis: Das Lehmplättchen zerbricht scharfkantig unter leichtem Druck. Es kann unter leichter Krafteinwirkung zwischen meinen Fingern pulverisiert werden.

Das Resultat lässt auf einen eher geringen Anteil an Feinstkörner (Ton) schließen.

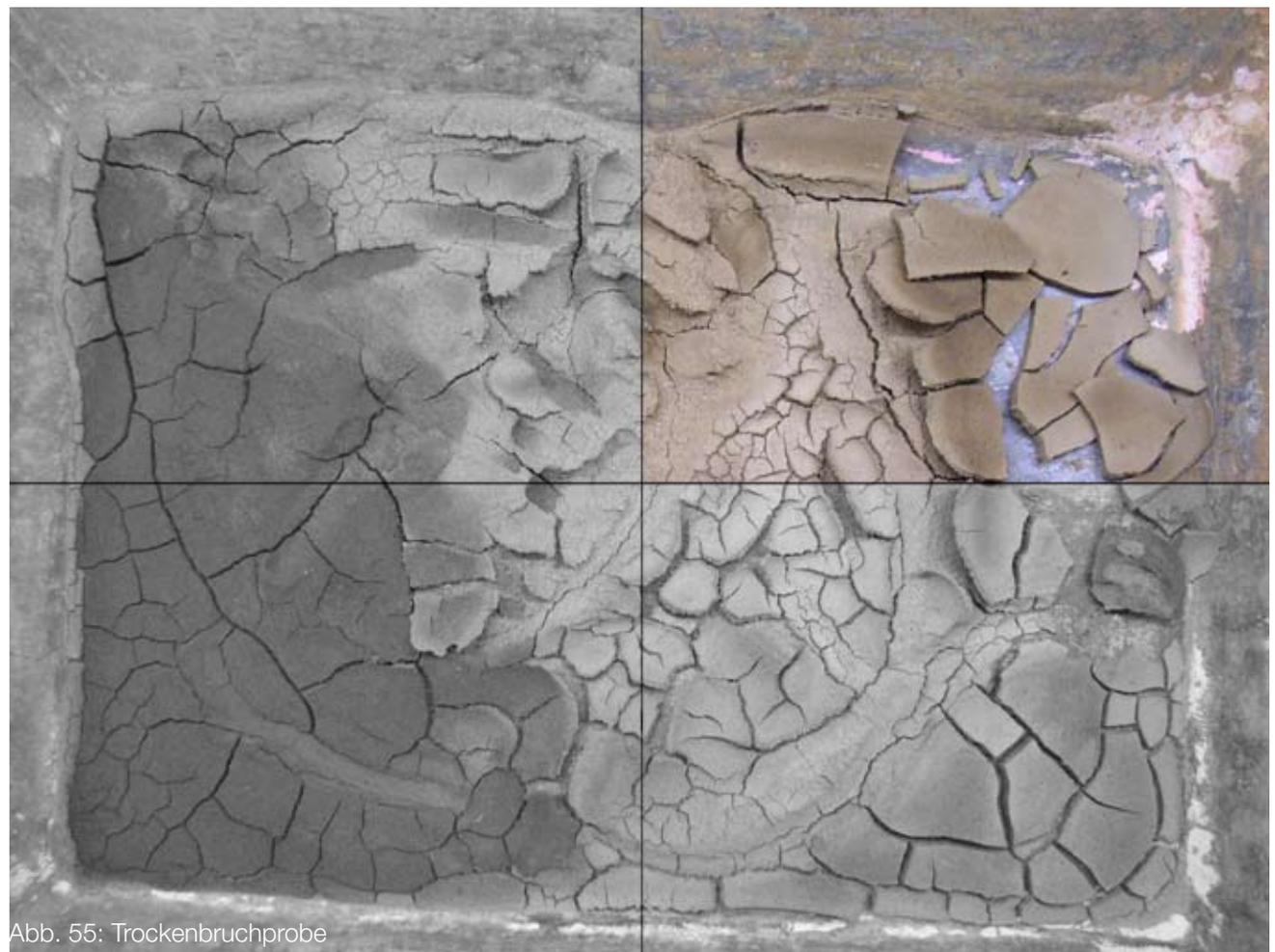


Abb. 55: Trockenbruchprobe

Messerschnittprobe

Ein Kügelchen leicht feuchter Erde wird mit einem Messer in zwei Hälften geteilt. Eine matte Schnittfläche deutet auf einen eher schluffigen Boden hin. Eine glänzende Oberfläche ist kennzeichnend für einen hohen Tonanteil und somit einen lehmig- plastischen Boden.

Ergebnis

Das Messer lässt sich unter leichtem Widerstand in die Probe drücken. Zurück bleibt eine raue, stumpfe und matte Oberfläche. Am Messer sind nur wenige kleine Spuren plastischer Erde haften geblieben. Dies lässt auf einen schluffreichen Boden schließen.



Abb. 56: Messerschnittprobe

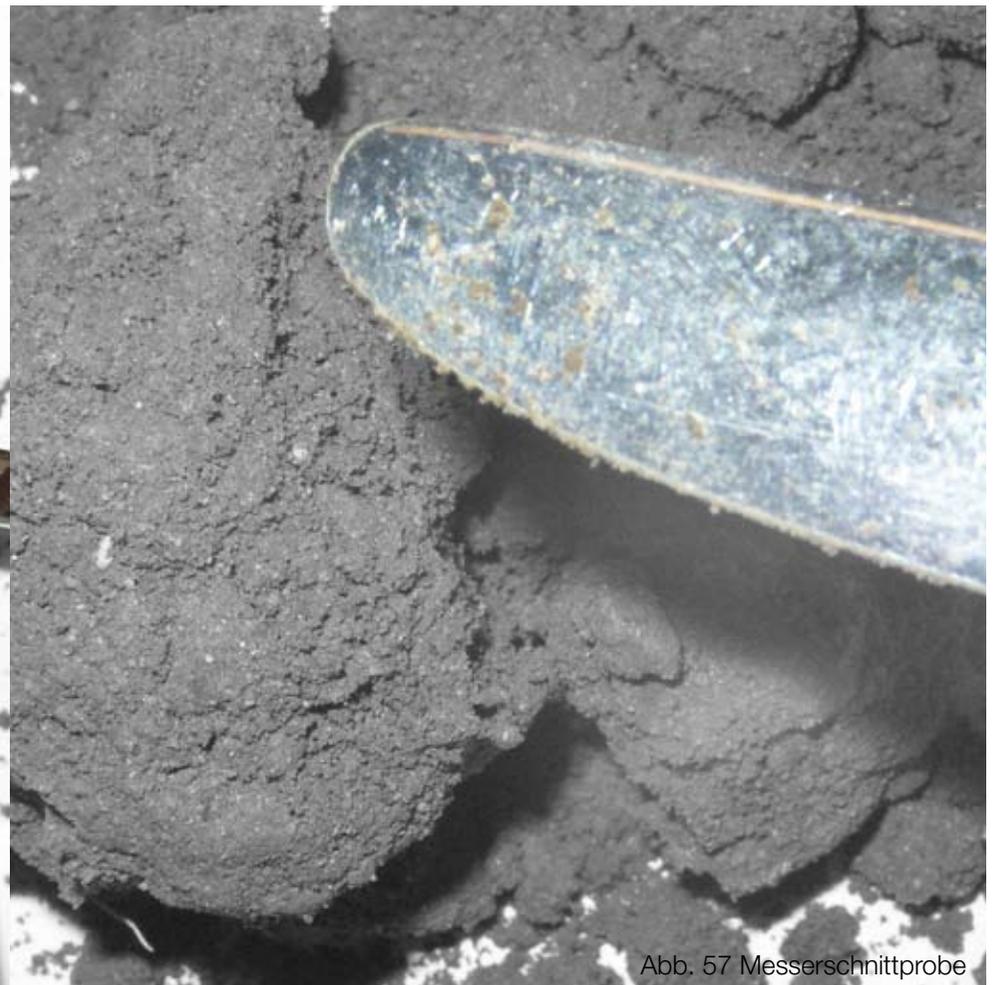


Abb. 57 Messerschnittprobe

Schmier- oder Seifen Probe

Um Sand, Schluff und Ton grob zu unterscheiden, zerdrückt man eine feuchte, plastische Bodenprobe ganz langsam in der Hand und lässt sie zwischen den Fingern herausquellen. Nachdem man den Lehm auf der Hand hat trocknen lassen, versucht man ihn abzustreifen. Mit etwas Gefühl lassen sich verschiedene Lehme erfassen:

1. Die Probe fühlt sich weich, pastös, „seifig“ an, klebt an der Hand fest und trocknet krustig an der Hand aus. Das deutet auf fetten, schluffigen Lehm oder Ton hin.
2. Fühlt sich die Probe ähnlich an wie oben, ist jedoch körniger, klebt feucht gut und haftet auch trocken, so ist es fetter und sandiger Lehm.
3. Die Probe fühlt sich wie die vorigen an, lässt sich je-

doch trocken leichter abreiben. Dabei handelt es sich um mageren, schluffigen oder sandigen Lehm mit geringerer Haftung.

4. Die Probe fühlt sich im feuchten Zustand zwar ebenfalls „seifig“ und pastös an, haftet aber trocken nicht mehr auf der Haut und lässt sich ganz leicht abstreifen. Das kennzeichnet großen Schluffanteil und schlechten Baulehm.

5. Die Probe lässt beim Zerquetschen deutlich Körner spüren. Je nachdem wie gut er dann noch haftet, handelt es sich dabei um sandigen Lehm, lehmigen Sand oder Sand. Letzterer hat meist zu wenig Festigkeit für Bauzwecke.

Ergebnis

Die Probe fühlt sich weich und pastös an.



Abb. 58: Schmier-oder Seifenprobe

Rollprobe

Rollt man einen feuchtplastischen Lehm in den Händen, so kann man den Tongehalt abschätzen. Die etwa olivengroße Probe wird zu Fäden von 3 mm Durchmesser gegen 0 hin zwischen den Handflächen bis zur Zerbröckelung ausgerollt und anschließend wieder zu einer Kugel geknetet.

- Hängt der Faden lang über die Hand herab ohne zu reißen, ist ganz dünn auszurollen und wieder zur Kugel formbar, so ist der Lehm sehr fett bzw. schon als Ton zu bezeichnen.
- Der Faden hängt nur wenig über die Hand, ohne zu brechen, und die Kugel wird etwas bröckelig. Das zeigt mittelfetten Lehm an.
- Wenn der Faden sich nur vorsichtig ausrollen lässt, ein Überhängen nicht möglich und die Kugel schlecht formbar ist, so hat man mageren Lehm in der Hand.
- Ist es nicht möglich, einen dünnen Faden zu rollen

keine Kugel formbar, dann handelt es sich um lehmigen Sand oder Sand.

Man kann diese Rollprobe auch mehrmals bei verschiedener Wasserzugabe durchführen, um ein besseres Gefühl und ein genaueres Ergebnis zu bekommen. Verhält sich der Lehmklumpen elastisch federnd, sind vermutlich zu viel organische Bestandteile enthalten.

Ergebnis

Nach Anfeuchten der Erde kann ein dünner Faden gerollt werden, der nur wenig über die Hand hinausreicht ohne zu brechen. Der darauf folgende Versuch eine Kugel zu formen gestaltet sich schwierig und gibt der Kugel eine bröckelige Erscheinung.



Abb. 59: Rollprobe



Abb. 60: Rollprobe

Sedimentationsprobe

Ein Glas wird bis zu $\frac{1}{4}$ mit Erde gefüllt, die restlichen $\frac{3}{4}$ werden mit Wasser aufgefüllt. Dann lässt man das Glas stehen, damit die Erde Zeit hat sich mit dem Wasser zu durchmischen. Anschließend schließt man das Glas mit einem Deckel, und schüttelt es kräftig durch und stellt es dann auf eine horizontale Fläche, damit die Erde sich absetzen kann.

Nach einer Stunde schwenkt man das Glas nochmals und wartet bis die Erde sich wieder am Boden absetzt.

Schon nach 45 Minuten kann beobachtet werden, dass sich die verschiedenen Bestandteile der Erde nach Schichten getrennt anordnen. Von unten nach oben liegen: Grobkies, Sand, Feinsand, Schluff und als oberste Schicht der Tonanteil. Nach 8 Stunden kann man die verschiedenen Schichten abschätzen, indem man zuerst die Gesamthöhe mißt und dann jede einzelne Schicht abmisst. Dabei gilt zu beachten, dass der Prozentanteil der verschiedenen Schichten leicht verfälscht ist, da sich die schluffigen und tonigen Anteile ausgedehnt haben, und bedeutender wirken.

Ergebnis

Man erkennt beim näheren Hinsehen, dass sich die groben Bestandteile, sprich Kies und Steinchen mit bis zu einem Zentimeter Durchmesser am Boden abgesetzt haben. Darüber lassen sich die Grobsandbestandteile der Erde bis hin zu den Feinsanden und Schluffen erkennen. An der Oberfläche der Sandschicht sind organische Anteile des Bodens zu sehen. Kleine Holzstückchen, Blattwerk und winzige Lebewesen schwimmen ebenso an der Wasseroberfläche.

Dies weist darauf hin, dass die Bodenprobe nicht in ausreichender Tiefe gezogen wurde, denn sie sollte unter den Vegetationsschichten entnommen werden und frei von organischem Material sein.



Abb. 61: Sedimentationsprobe

Gegenstand der Untersuchung

Bestimmung der Masse verschiedener Korngrößen eines Bodens. Die Genauigkeit der Untersuchung liegt oberhalb von Korngrößen mit 0,08 mm. Dieser quantitative Versuch gibt keinen Aufschluss über die mineralischen Bestandteile des Bodens.

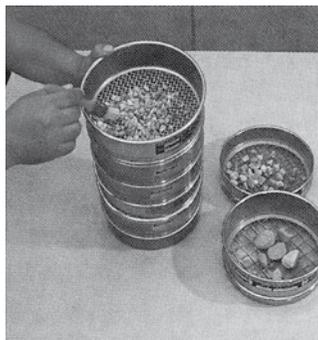


Abb. 62: Siebkolonne

Prinzip des Versuchs

Erde wird durch eine Reihe von unterschiedlich fein gegliederten Sieben geschüttet. Beginnend vom grobmaschigsten Sieb (20 mm) wird schrittweise die Maschenweite bis zum feinmaschigsten Sieb mit 0,08 mm verringert. Die Masse der in den verschiedenen Sieben liegenden Erdanteile wird in ein Verhältnis zur Gesamtmasse gebracht und die Ergebnisse numerisch und graphisch (Granulationskurve) festgehalten. Dadurch wird eine Bestimmung der Feinanteile nach Masse möglich, denn diese werden zur Masse der groben Anteile addiert, um die Gesamtmasse zu erhalten. Der Nachteil ist, dass die Feinanteile von jedem einzelnen Sieb ausgewaschen werden müssen.

Vorbereitung des Versuchs

- Man nimmt ein Schaff und formt einen Haufen mit der zu untersuchenden Erde. Dann flacht man den Haufen ab
 - teilt den Haufen in vier Teile wobei man vorsichtig vorgeht, um nicht die Feinanteile zu verlieren
 - entfernt zwei gegenüberliegende Haufen und formt einen neuen Haufen aus den zwei übrig gebliebenen Teilen. Dann wiederholt man die Prozedur bis man die gewünschte Menge Erde hat.
 - Man wiegt die Erdmasse ab und bezeichnet sie mit R.
- Die Masse des Versuchs hängt von der Größe der größten in der Probe enthaltenden Elemente ab. Es wird empfohlen, sich an die Formel $200 D < m < 600 D$ zu halten, wobei m die Masse in Gramm der zu untersuchenden Probe und D der maximale Durchmesser in Millimeter der größten Elemente ist.

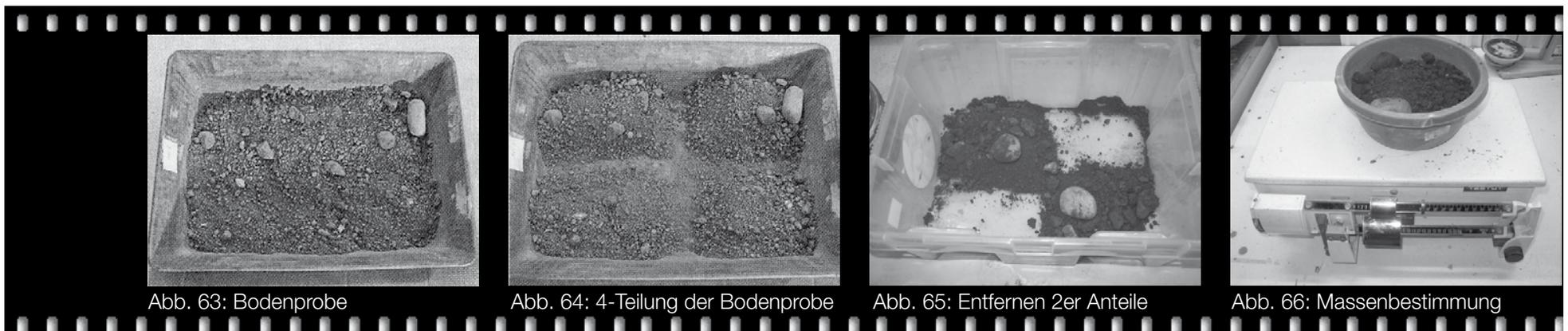


Abb. 63: Bodenprobe

Abb. 64: 4-Teilung der Bodenprobe

Abb. 65: Entfernen 2er Anteile

Abb. 66: Massenbestimmung

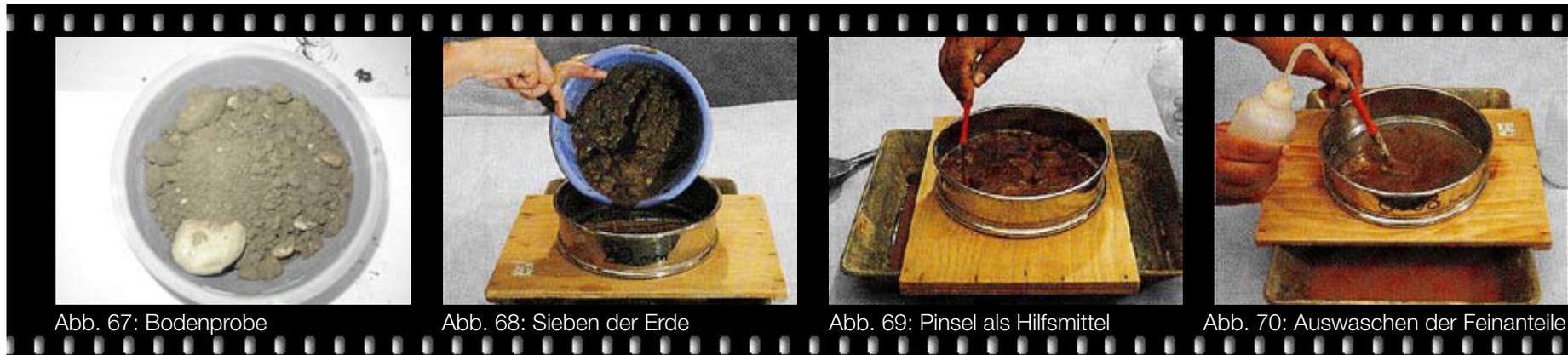


Abb. 67: Bodenprobe

Abb. 68: Sieben der Erde

Abb. 69: Pinsel als Hilfsmittel

Abb. 70: Auswaschen der Feinanteile

Durchführung des Versuchs

- Man gibt die Erde in den obersten Sieb der Siebkolonne, die gereiht in abnehmender Maschengröße von oben nach unten angeordnet ist.
- Darauf stellt man das oberste Sieb (20 mm) in einen geeigneten Behälter, welcher das Siebgut und Wasser zum Befeuhten der Erde aufnehmen kann.
- Man wäscht sorgfältig mit ei-

- ner Pipette und mit Hilfe eines Pinsels die an den Steinen und Händen klebende Erde ab. Durch das Befeuhten wird es möglich die gelösten feinen Sande und die an den Siebrückständen haftenden Partikel aufzusammeln und mitzuspülen.
- Sobald das Wasser sauber durch das Sieb fließt, sind alle Feinpartikel abgewaschen.
- Danach wird mit Hilfe des Pinsels die Unterseite des Siebes gesäubert.
- Man nimmt die Siebrückstände und gibt sie in einen anderen Behälter, um sie entweder in der Mikrowelle oder auf einem Bunsenbrenner zu trocknen

- Dann misst man die Masse mit der Präzisionswaage.
- Dann wird das Siebgut zusammen mit dem Spülwasser in den nächst kleineren Sieb geschüttet, der ebenfalls in einem Behälter liegt.
- Man wiederholt den Spülvorgang.
- Die Siebrückstände werden wiederum abgewogen und notiert.
- Den Vorgang wiederholt man bis zum Sieb mit der Maschenweite von 0,1 mm. Das Siebgut dieses feinsten Siebes wird für den nachfolgenden Sedimentationsversuch verwendet.



Abb. 71: Der Arbeitsplatz

Abb. 72: Trocknen der Erde

Abb. 73: Abwiegen der Erde

Abb. 74: Übersicht der Korngrößen

Resultate der Granulometrie

Probe:
Datum: 16.01.2006

Herkunft: Nivolas Vermelles
Labor:

Wahl des letzten Siebes:

Oder

Massen und Wassergehaltsermittlung

Erste Versuchsprobe mit vorherigem Ausieben der Feinkörner:

Masse, feucht der Probe mh [g]	
Masse, trocken der Probe	1400
- trocken: md [g]	1270
- anhand des Wassergehalts der 2. Probe ermittelt: $md = \frac{m1d \times mh}{m1h}$	

Zweite Probe ohne vorheriges Ausieben der Feinkörner:

Masse, feucht der Probe: m1h [g]	
Masse, trocken der Probe: m1d [g]	

Kontrolle: $200 < md < 600 D?$

Sieben der Versuchsprobe

Masse, gesamt der trockenen Siebrückstände: R [g]

Maschenweite des Siebes [mm]	Masse des Siebrückstandes (Ri) [g]	% des Siebrückstandes ($\frac{Ri \times 100}{md}$)	% des Siebgutes $100 - (\frac{Ri \times 100}{md})$
40	310	24,41	75,59
20	360	28,35	71,65
10	380	29,92	70,08
5	480	37,08	62,20
2	510	40,16	59,84
1	535	42,13	57,87
0,4	595	46,85	53,15
0,2	785	61,81	38,19
0,1	890	70,08	29,92
0,08	960	75,59	24,41
Siebgut des letzten Siebes (Tn) [g]			290
Siebrückstand des letzten Siebes (Rn)			960
Gesamtmasse nach dem Sieben: Rn + Tn			1250
Auswertung der Kornverluste: $100 \times \frac{md - (Rn + Tn)}{md} = \dots 1,57 \dots < 2\% ?$			JA

Berechnungen

- Nach dem Sieben werden die Massen der verschiedenen Siebrückstände Ri durch die Gesamtmasse md dividiert:

$$\frac{Ri \times 100}{md}$$

Der Prozentsatz des Siebgutes ergibt sich aus:

$$100 - \frac{Ri \times 100}{md}$$

Zur Kontrolle:
 $md = Rn + Tn$

Idealkurve

Im Vergleich mit der Idealkurve für den Pisé-Bau zeigt sich, dass die Kurve um etwa 10 % überhöht ist, zumal bei der Normkurve nur etwa 65 % der Probe diese Korngröße aufweisen. Die Idealkurve hat einen streng monoton abfallenden Verlauf im Vergleich zur ermittelten Kurve. Der schraffierte Bereich zeigt die Grenzwerte der empfohlenen Granulationskurve wobei darauf hingewiesen wird, dass die akzeptablen Toleranzen beträchtliche Abweichung aufweisen können und viele Böden, welche sich nicht innerhalb der empfohlenen Zone einordnen lassen, in der Praxis trotzdem akzeptable Ergebnisse für den Pisé-Bau liefern.

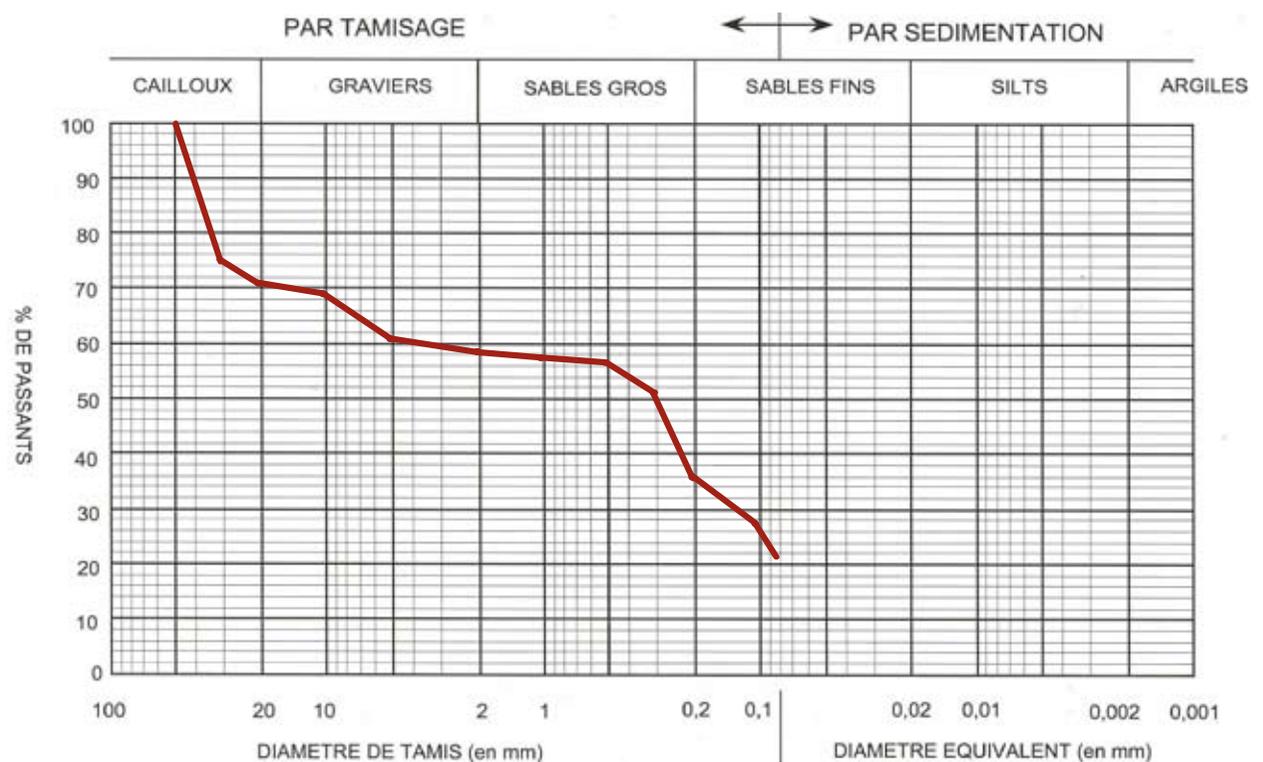


Abb. 76: Ermittelte Granulometrie-Kurve

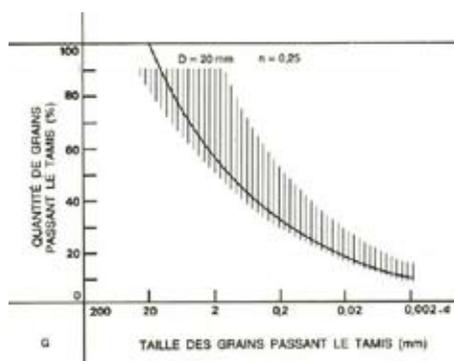


Abb. 77: Idealkurve Pisé-Bau

Auswertung

Durch die Granulometrie konnten die Bestandteile des Bodens bis zur Korngröße von 0,08 mm quantifiziert werden. Prozentuell gesehen sind dies 75,6 % der gesamten Erdprobe.

Die Granulationskurve zeigt einen steilen Abfall im Bereich der Steine auf. Prozentuell nimmt dieser Bereich den größten Platz mit 28,4% ein. Dieser hohe Anteil lässt auf einen relativ guten Boden für den in der Region angewandten Pisébau schließen. Qualitativ enthält dieser Bereich neben zwei etwa 5 cm

großen Steinen ein Konglomerat aus Erde und Kies, welches wahrscheinlich ein Überrest einer früheren Erdkonstruktion ist. Dies bestärkt meinen Verdacht, dass die Erdprobe in nicht ausreichender Tiefe genommen wurde.

Im Bereich der Kieselsteine steigt die Kurve kontinuierlich ab und macht einen Anteil von 11,8% aus. Im Bereich der Grobkörnigen Sande ist ein buckelförmiger Knick ablesbar. Quantitativ macht dies 21,7% der gesamten Probe aus. Der Feinkornbereich steigt strengt monoton ab und beträgt 13,8%.

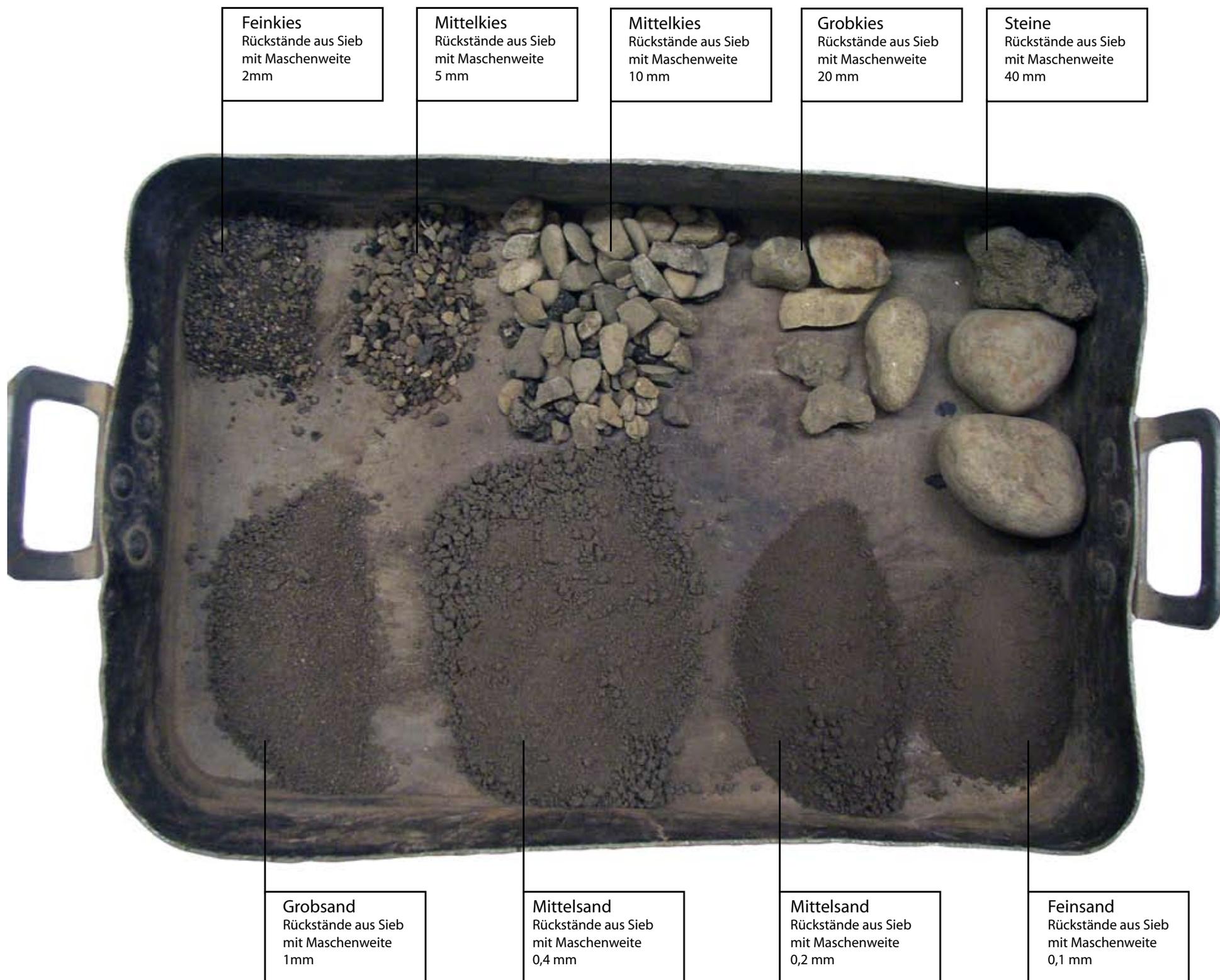


Abb. 78: Übersicht der gesiebten Korngrößen

Gegenstand der Untersuchung

Die Sedimentation wird als zweite Analyse durchgeführt, um die Granulometrie zu vervollständigen. Sie wird im Feinkornbereich unterhalb von 0,1mm angewendet wo ein Sieben nicht mehr möglich ist.

Prinzip des Versuchs

Die Korngrößen verschiedenen Durchmessers des Bodens, werden in einer Flüssigkeit zu einer homogenen Suspension aufbereitet. Die Körner lagern sich in Abhängigkeit ihres Durchmessers verschieden schnell ab oder steigen verschieden schnell in der Flüssigkeit auf.

Während des Prozesses der Sedimentation, wächst die Dichte der anfangs homogenen Mischung von oben nach unten im Verhältnis zur Zeit. Durch Messung der Zeit und der Dichte kann nach dem Stokes'schem Gesetz eine Aufschlüsselung der Durchmesser der Körner des Bodens gemacht werden, wobei die Körner als Kugeln idealisiert werden.

Das Stokes'sche Gesetz ist ein physikalisches Gesetz, mit dem man in der Strömungsmechanik die Widerstandskraft beschreibt, die auf eine Kugel aufgrund der Umströmung durch ein Fluid wirkt.

Das Stokes'sche Gesetz berechnet die Fallgeschwindigkeit, welche die Körner gleichen Durchmessers in

einer bestimmten Flüssigkeit haben. Diese Geschwindigkeit hängt von der spezifischen Masse der Körner, der Viskosität der Flüssigkeit und ihrer Temperatur ab. Die Messung erfolgt mit Hilfe eines Densimeters.

Vorbereitung der Natriumlösung

- In einen 1-Liter Messbecher werden 50 g Hexamethosphat Natrium und 0,5 l destilliertes Wasser gegeben.

- Unter ständigem Umrühren wird der Inhalt erhitzt bis ein vollständiges Auflösen des Natrumpulvers erfolgt ist. Die Lösung sollte nicht über 50 Grad erhitzt werden.

- Sobald das Pulver im Wasser gelöst ist, füllt man das Glas bis auf ein Liter mit destilliertem Wasser auf.

- Man kann die Lösung in einer verschlossenen Flasche aufbewahren. Hierzu schreibt man das Datum der Herstellung darauf, denn die Lösung sollte nicht länger als einen Monat aufbewahrt werden.



Abb. 79-82: Herstellen der Natriumlösung

Vorbereiten der Probe

- Die Korngrößen unterhalb von 0,1mm Durchmesser müssen in einem Ofen bis zur vollständigen Trocknung bei 105 Grad getrocknet werden. Eventuell kann auch das Siebgut des 0,08 mm Siebes aus dem Granulationsversuch verwendet werden.
- Dann wird die getrocknete Erde mit einer Spachtel zerkleinert und mittels eines Stößels in einem Mörser fein gemahlen.
- Die gewünschte Menge Erde wird ermittelt: 80 g der Erde des 0,08 mm Siebes für einen Messkolben mit 2 l Fassungsvermögen oder 40 g für einen 1 l Messkolben.
- Die Probe muss dann für 12 - 15 Stunden in ein Gefäß mit entweder:
 - 300 cm³ destillierten Wasser und 60 cm³ Lösung für einen 2 l Messkolben, oder
 - 150 cm³ destillierten Wasser und 30 cm³ Lösung für einen 1 l Messkolben
- Dann muss die Probe mechanisch durchmischt wer-

den, um die Verbindungen zwischen den Körnern zu lösen. Das Durchmischen wird mit entweder drei Minuten lang mit einem speziellen Mixer elektrisch mit 10.000 - 12.000 Umdrehungen pro Minute vollzogen oder mit einen Küchenmixer wobei die Zeit verlängert werden sollte.

- Man schüttet die Lösung in den 1 oder 2 Liter Messkolben und spült sorgfältig die am Mixer und im Gefäß haftenden Reste mit in den Kolben.

- Dann füllt man den Kolben mit destilliertem Wasser genau auf die 1 oder 2 Liter Marke auf.



Abb. 83: Getrocknete Erde



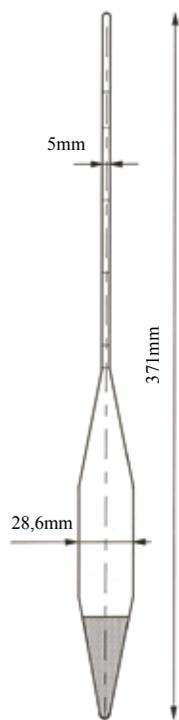
Abb. 84: Zubereitung der Probe



Abb. 85: Abwiegen der Menge



Abb. 86: Durchmischung



Durchführung

- Man vergewissert sich, ob der Stiel des Densimeters auch sauber ist. Auf keinen Fall sollte während des Versuchs das Densimeter anderswo als am oberen Ende des Stiels angefasst werden.

- Bevor man das Densimeter eintaucht, schüttelt und schwenkt man die Lösung gut, um eine gleichmäßige Konzentration über die gesamte Kolbenlänge zu haben.

Sobald man den Mixer aus der Lösung zieht löst man die Stoppuhr aus und taucht dann langsam das Densimeter ein. Dann liest man die Anzeige am Rand der gewölbten Wasseroberfläche ab und notiert das Ergebnis. Zur Eintragung in die Tabelle werden die

abgelesenen Werte durch 1000 geteilt.

- Das Ablesen erfolgt bei:

30 sec, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 240 Minuten und eventuell nach 24 Stunden. Diese Zeiten werden alle von Beginn des Versuchs an gemessen. Die drei Ablesungen nach 30 Sekunden, 1 und 2 Minuten werden gemacht ohne das Densimeter aus der Lösung zu nehmen. Die darauf folgenden Ablesungen taucht man das Densimeter 15 bis 20 Sekunden lang bevor man abliest. Nach jedem Ablesen wird auch die Temperatur notiert.

Abb. 87: Densimeter; Gerät zur Best. der Dichte bzw. des spez. Gewichtes von Flüssigkeiten



Abb. 88-91: Durchführung der Sedimentationsversuches

Auswertung

Durch die Sedimentation konnten die Bestandteile des Bodens unterhalb von 0,08 mm quantifiziert werden. Prozentuell beträgt dieser Anteil 24,4%. Die Kurve sinkt linear ab und geht gegen 0. Der Anteil an Feinsanden liegt bei 27%, der Silt oder Schluffanteil beträgt etwa 12 %, der Tonanteil ist minimal.

Als genauso wichtiger Bestandteil einer Boden-Analyse sollte die regionale Bebauung im näheren Umkreis betrachtet werden. Sind mehrere ländliche Bauten wie in Nivolas Vermeilles in Pisé-Bauweise errichtet, so kann eine zum Pisé-Bau geeignete Erde in Betracht gezogen werden.

Uhrzeit	Durchmesser [cm]	Intervalle [min]	Temperatur [°C]	R (Ablesung)	C (Korrektur)	R1 (R+C)	p=4R1 (1)	T x p (2)
13:00:30	0,07	0,5	22	19	1,3	20,3	81,2	19,8
13:01	0,05	1	22	17	1,3	18,3	73,2	17,9
13:01	0,035	2	22	15	1,3	16,3	65,2	15,9
13:05	0,025	5	22	12	1,2	13,2	52,8	12,9
13:10	0,018	10	21,8	10	1,1	11,1	44,4	10,8
13:20	0,012	20	21,8	9	1,1	10,1	40,4	9,9
13:40	0,009	40	21,8	8	1	9	36	8,8
14:20	0,006	80	21,6	6	1	7	28	6,8
17:00	0,0035	240	21,5	5	1	6	24	5,9
13:00	0,0015	1440	21	2	1	3	12	2,9

Abb. 92: Ergebnisse der Sedimentation

Dieses Resultat stellt an und für sich eine für den Pisé-Bau nicht besonders geeignete Erde dar. Wie aus der Idealkurve der Pisé-Erde aus der Region hervorgeht, sollte der Tonanteil bei etwa 10% liegen. Die Erde müsste also aufbereitet werden.

Allerdings müsste die Analyse wiederholt werden, da Versuchsgenauigkeiten nicht ausgeschlossen sind. Ebenso könnte schon bei der Probenentnahme ein Fehler unterlaufen sein, und die Probe aus einer nicht ausreichenden Tiefe, nämlich der Vegetationsschicht entnommen

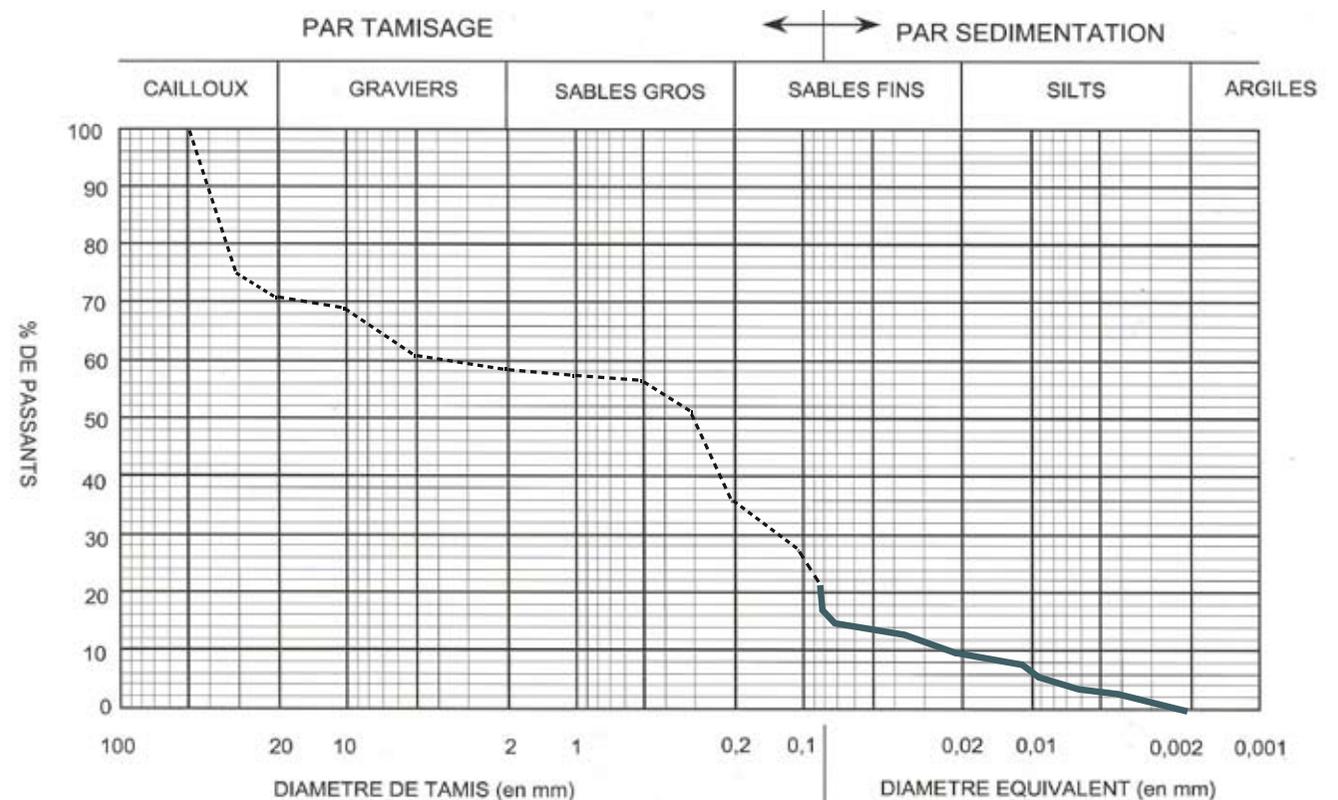


Abb. 93: Ermittelte Sedimentationskurve

Die Limits von Atterberg

Erde kann verschiedene Aggregatzustände eingehen, sie kann flüssig, plastisch und fest sein. Der Schwedische Forscher Atterberg hat diese vom Wassergehalt abhängigen Zustände und Grenzwerte definiert.

Ausgedrückt werden die Limits und Indices in Gewichtsprozent des Wassergehaltes. Man kann fünf Limits messen wobei die beiden wichtigsten das Limit der Liquidität und das Limit der Plastizität sind.

Die Bestimmung der Limits von Atterberg werden mit dem Feinsand. Dies ist der ausschlaggebende Kornanteil dessen Konsistenz durch Wassereinwirkung geändert werden kann.

Das Limit der Liquidität

Das Limit der Liquidität ist der Übergang vom plastischen Zustand in den flüssigen Zustand. Es wird mit dem Apparat von Casagrande gemessen.

Prinzip des Versuchs

Das Limit der Liquidität wird bestimmt anhand des Wassergehaltes, der nötig ist, um einen Erdklumpen, welcher in einer Schale platt gedrückt wurde und durch eine Rille in zwei Hälften geteilt wurde wieder zu vereinigen. 25 Schläge werden mit Hilfe des Apparats von Casagrande an die Versuchsschale getätigt, um die beiden Erdhälften über eine gewisse Länge wieder zu vereinigen.

Vorbereitung der Probe

Der Versuch von Atterberg wird mit einem Anteil des Siebguts, welches durch den 0,40 mm Sieb passt ausgeführt. Man benötigt etwa 150 bis 200 g nicht getrocknete Erde dafür.

Bevor gesiebt wird, muss die Erde etwa 12 Stunden befeuchtet werden. Dies kann man direkt im Sieb machen, den man in ein Schaff stellt. Das Sieben wird händisch mit der feuchten Erde ausgeführt. Ein weicher Pinsel kann dazu hilfreich sein.

Nach Dekantieren des Waschwassers, muss die Restfeuchtigkeit verdampfen. Die zugeführte Temperatur darf dabei 60 Grad nicht überschreiten. Der Rückstand wird für den Versuch von Atterberg verwendet. Die Probe wird 12 Stunden stehen gelassen, nachdem sie mit Hilfe einer Spachtel zu einer breiigen, dickflüssigen Masse vermischt wurde.

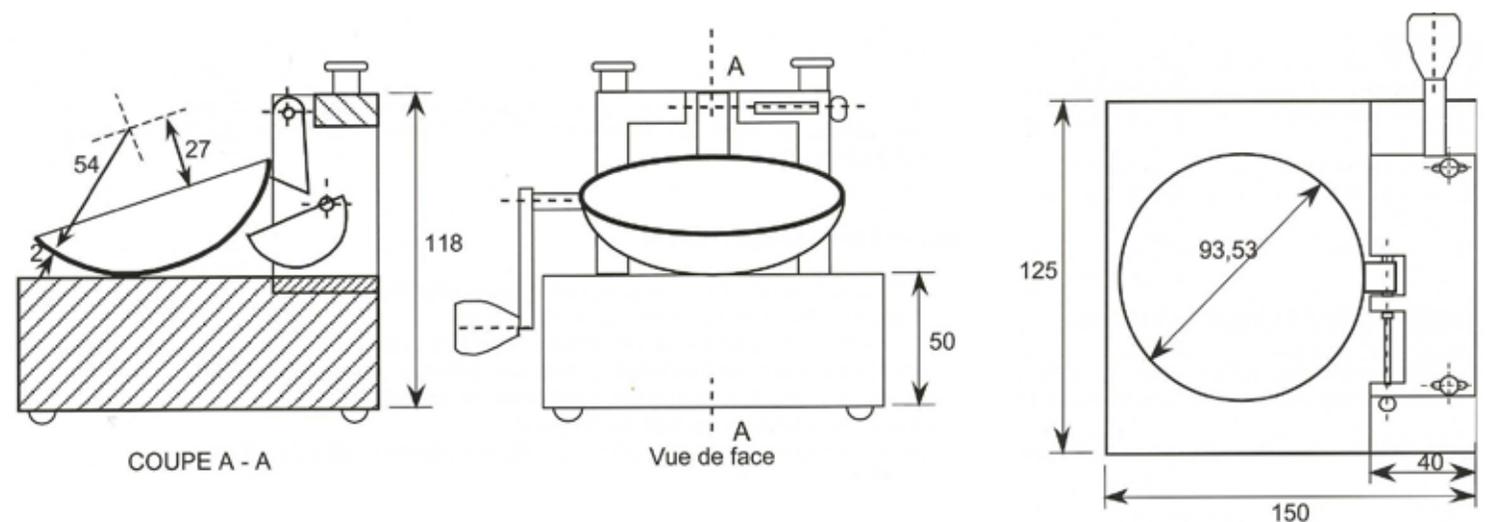


Abb. 94-96: Apparat von Casagrande

Durchführung des Versuchs

Man nimmt ungefähr 100 g der präparierten Probe, gibt ca. 70 g des Breies auf die Schüssel und schichtet sie mit der Spachtel auf. Die Masse sollte möglichst symmetrisch aufgeteilt werden, siehe dazu nachfolgende Grafik. Die Höhe der Masse sollte in der Mitte 15 bis 20 mm betragen.

- Dann teilt man die Masse mit Hilfe der Spachtel in zwei gleich große Teile.
- Die Schale wird auf den Apparat gegeben und man beginnt mit den Umdrehungen am Hebel um der Schale eine Reihe von regelmäßigen Schlägen zu versetzen. Zwei Schläge pro Sekunde.
- Man notiert die Anzahl der Schläge, die nötig sind

um die Rille zwischen den beiden Hälften über eine Länge von ca. 1 cm zu schließen. Die Anzahl der benötigten Schläge muss zwischen 15 und 35 liegen.

- Ein Teil der Masse von beiden Seiten der Rille wird abgewogen, dann bis zur völligen Austrocknung in den Ofen gegeben und erneut abgewogen.

Man kann das Ergebnis überprüfen, indem man den Versuch ein zweites Mal mit einer Probe geringeren Wassergehalts durchführt. Die Anzahl der Schläge muss mindestens 5 Schläge zunehmen im Vergleich zum ersten Versuch. Um eine Probe geringeren Wassergehalts zu erhalten, muss die Erde etwas länger geknetet werden.

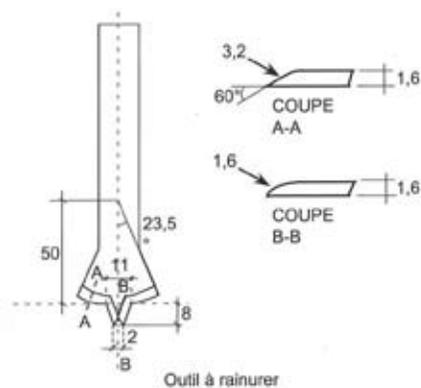


Abb. 97: Spachtel von Casagrande

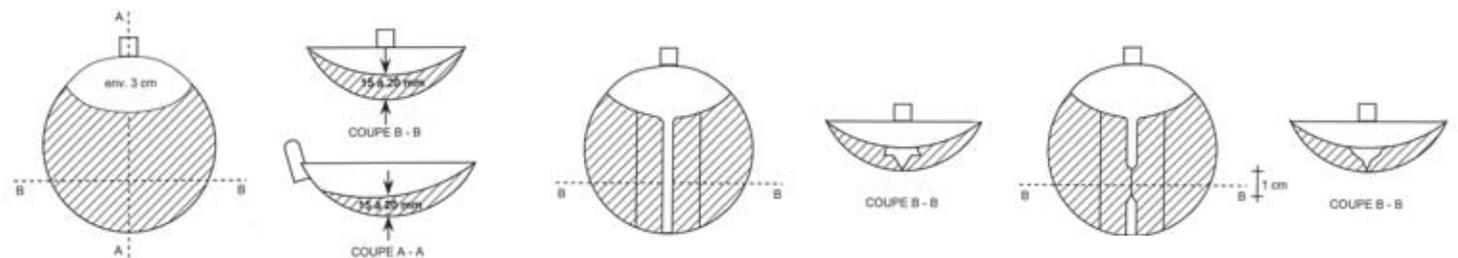


Abb. 98: Schale des Apparats von Casagrande



Abb. 99-102: Durchführung des Versuchs zur Bestimmung des Limits der Liquidität

Das Limit der Plastizität gibt den Wassergehalt an, der den Übergang vom plastischen in den festen Zustand durch Schwinden kennzeichnet.

Prinzip des Versuchs

Eine Erdprobe (0,4 mm Sieblinie) muss solange getrocknet werden bis eine 10 bis 15 cm lange Rolle mit einem Durchmesser von 3 mm geformt werden kann. Wenn beim Anheben in der Mitte der Rolle diese bricht, so ist das Limit der Plastizität erreicht. Durch das Abwiegen der Probe vor und nach dem Trocknen erhält man den Wassergehalt der Probe, welcher das Limit der Plastizität darstellt.

Durchführung des Versuchs

Die Messung der Plastizität wird nach der Messung der Liquidität gemacht. Oft besteht das Problem, dass man eine zu feuchte Probe vor sich hat und keine Rolle formbar ist. Um die Probe zu trocknen gibt man sie auf eine glatte Oberfläche (z.B. Fließe) und trocknet die Probe mit einem Haartrockner unter ständigen umrühren.

Dann formt man eine Kugel aus der Masse und rollt

sie mit der Handfläche auf der Fließe zu einer Rolle mit einem Durchmesser von ca. 3 mm aus. Die Rolle muss eine Länge von 10 bis 15 cm erreichen ohne zu zerbrechen. Das Limit der Plastizität ist erreicht wenn beim Anheben in der Mitte der Rolle diese bricht.

Wenn die Probe zu viel Wasser enthält, formt man erneut eine Kugel, welches man knetet um sie weiter zu trocknen. Dann versucht man erneut eine Rolle zu formen, bis das Limit der Plastizität erreicht ist.

Dann wiegt man die Rolle, gibt sie in den Ofen und trocknet die Probe bis zur völligen Austrocknung.

Dann wiederholt man den Versuch mit einer anderen Erdkugel derselben Probe. Die Ergebnisse der beiden Versuche sollen keine größere Abweichung als 2 % haben. Wenn die Differenz größer ist, macht man einen dritten Versuch. Das Limit der Plastizität ist das Mittel der Resultate aus den zwei bzw. drei Versuchen.



Abb. 103-106: Durchführung des Versuchs zur Bestimmung des Limits der Plastizität

Auswertung

Das Limit der Liquidität liegt bei 52 %. Dies bedeutet, dass beim Überschreiten dieses Wassergehaltes, die Erde einen flüssigen Zustand eingeht. Beim Unterschreiten dieses Prozentsatzes nimmt die Erde einen plastischen Zustand an.

Das Limit der Plastizität liegt bei 20,3%. Dies heißt, dass beim Unterschreiten dieses Wassergehaltes die Erde einen festen Zustand eingeht.

Somit lässt sich errechnen, dass die Spanne des plastischen Bereiches etwa 32 % einnimmt.

Ergebnisse des Liquiditätsversuchs

	1. Versuch	2. Versuch
Anzahl der Schläge (N) $15 < N < 35$	28	20
Nummer des Leergewichts	1	2
Gesamtmasse feucht= mth	214,48	211,09
Gesamtmasse trocken= mtd	208,35	205,73
Masse des Gefäßes= mt	195,88	195,88
Masse des Wassers= $mth - mtd = mw$	6,13	5,36
Masse der Erde trocken= $md = mtd - mt$	12,47	9,85
Wassergehalt in % $(mw \times 100)/md = W$	49,16	54,42
$WI = W \times (N/25)^{0,121}$	51	53
Durchschnitt [%]		
Limit der Liquidität		52

Ergebnisse des Plastizitätsversuchs

	1. Versuch	2. Versuch
Nummer des Leergewichts	2	4
Gesamtmasse feucht= mth	198,94	197,42
Gesamtmasse trocken= mtd	198,45	197,1
Masse des Gefäßes= mt	195,75	195,68
Masse des Wassers= $mth - mtd = mw$	0,49	0,32
Masse der Erde trocken= $md = mtd - mt$	2,7	1,42
Wassergehalt in % $(mw \times 100)/md = W$	18,15	22,54
Durchschnitt [%]		
Limit der Plastizität		20,34

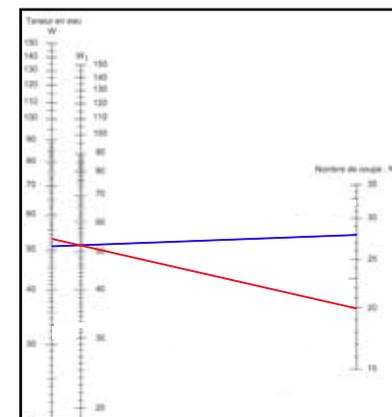


Abb. 107: Graphische Ermittlung des Limits der Liquidität

Index der Plastizität

Index der Plastizität I_p	
$I_p = Li - Lp$	
$Li =$	52%
$Lp =$	20,34%
$I_p = 51 - 20,34$	31,66%

Die Plastizität definiert die Eigenschaft des Bodens Deformationen durch Kriechen und Schwinden ohne wesentliche Reaktionen wie Rissbildung oder Pulverisierung zu überstehen. Der Index der Plastizität gibt einen quantitative Wert dafür an. Er wird aus der Subtraktion des Limits der Liquidität und dem Limit der Plastizität berechnet. Je höher der Index der Plastizität, desto mehr schwillt die Erde durch Feuchtigkeitszunahme an und desto mehr schwindet die Erde beim Trocknen.

Klassifizierung der Erde

Die Erde kann nach grafischen Ermittlungen einer Tabelle zugeordnet werden, die Aufschluss gibt über die Eignung des Bodens zur Pisé-Herstellung. Die Einstufung der Erde von Nivolas Vermelles als At, also sehr plastischen Lehm, deutet auf eine eher geringe Eignung hin und empfiehlt eine Aufbereitung durch sandiger Erde.

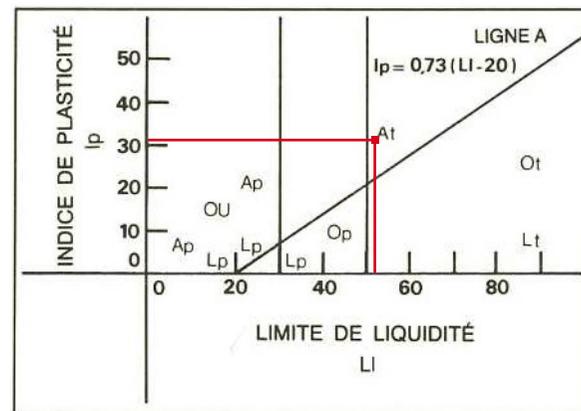


Abb.108: Grafische Bodenzuordnung

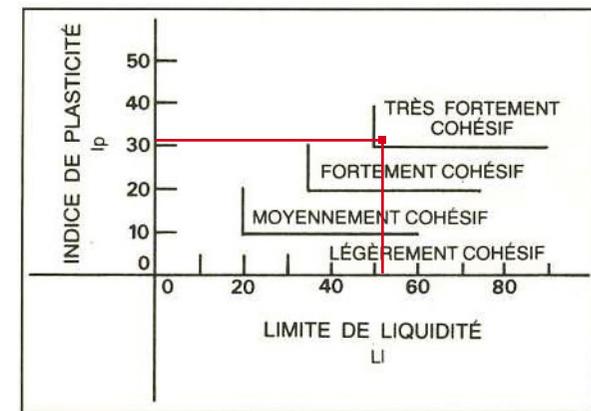


Abb.109: Grafische Bodenzuordnung

Kritik

Die Resultate des Limits von Atterberg sind äußerst abhängig von der Genauigkeit der Durchführung und von der Geschicklichkeit des Prüfers. Deshalb haben diese Werte weitgehend empirischen Charakter, obwohl sie auch wertvolle Aussagekraft haben können. Auf jeden Fall sollten mehrere Versuche durchgeführt werden oder noch besser auf genauere Messinstrumente zurückgegriffen werden um die Plastizität einer Erde zu ermitteln.

Graphik 1 zeigt eine diagrammatische Gegenüberstellung des Index der Plastizität mit dem Limit der Liquidität wodurch auf eine Zuordnung der Erde geschlossen werden kann. Die Erdprobe von Nivolas Vermelles kann der Klassifizierung At = sehr plastischer Lehm zugeordnet werden. Die Eigenschaften dieser Erde können aus nachfolgender Tabelle abgelesen werden.

Graphik 2 stellt wiederum den Index der Plastizität mit dem Limit der Liquidität gegenüber und zeigt eine Abstufung der Kohäsionskräfte der Erde. Die Erde von Nivolas Vermelles beinhaltet Feinkörner, welche über eine sehr starke Kohäsion verfügen.

Erde		Schwellen und Schwinden	Sensibilität auf Eis	Masse trocken [kg/m ³]	Resistenz gegen Verdichtung (trocken)	Eignung zur Konstruktion (ohne Stabilisierung)
Ap	Lehm wenig plastisch	mittel bis hoch	schwach bis stark	>1520		Eignet sich manchmal Sandige Erde zusetzen
Lp	Schlamm wenig plastisch	schwach bis hoch	mittel bis stark	>1600		Geeignet manchmal Kohäsionsmangel
Op	Schlamm u. organischer Lehm wenig plastisch	mittel bis hoch	mittel bis stark	>1440		Nicht geeignet manchmal doch
Ot	Schlamm u. organischer Lehm sehr plastisch	hoch	sehr stark	>1600	mittel bis stark	Nicht geeignet
Lt	Schlamm sehr plastisch	hoch	mittel bis stark	>1600	sehr schwach bis mittelstark	Eignet sich manchmal eher selten
At	Lehm sehr plastisch	hoch	sehr schwach	>1440	mittelstark bis sehr stark	Eignet sich selten Sandige Erde zusetzen

Abb.110: Tabelle zur Zuordnung eines Bodens nach den Limits von Atterberg

_ lehmprüfverfahren

_ konstruktionsversuche

Experimentelles Bauen in den Grans Ateliers (Ville Fontaine)

Um einen Zugang zum Bauen mit Erde zu bekommen und das Material kennen zu lernen ist es von Vorteil, praktische Erfahrungen zu machen. Im Rahmen eines Projektes der École d' Architecture de Grenoble wurde diese Intension verfolgt und in einer zweiwöchigen Intensivphase ermöglicht verschiedene Projekte im Maßstab 1:1 umzusetzen. Einige dieser Projekte befassten sich mit dem Themenfeld „Bauen mit Erde“ und dem Experimentieren von Lehmwänden, an welchen es mir ermöglicht wurde teilzunehmen.

An dieser Stelle möchte ich Patrice Doat, Pascal Rollet und den Studenten danken, die mir die Beteiligung ermöglichten.

Bau von Stampflehmwänden

Das erste Projekt befasste sich mit dem Bau verschiedener Stampf-Lehmwände in der Größenordnung von ca. 1m². Verschiedene Erdkornmischungen sollten hergestellt werden, das Ermitteln der benötigten Wassermenge und die Dauer der Mischung in der Mischmaschine sollte erlernt werden und mit der Zugabe von Zementzusätzen experimentiert werden.

Zubereitung der Erde

- Die Erde, die wir zur Konstruktion der Versuchswände verwenden wollten, war bereits vor Wochen aus der näheren Umgebung angeliefert worden. Sie lag halb gefroren unter einer Reifschicht und wartete nur darauf von uns zubereitet zu werden.

- Als ersten Schritt mussten wir genügend Erde mit Spaten und Hacke bereitstellen und sie in Schubkar-

ren zu unserer Lehmbaustelle heranführen.

- Dann sollte erst die richtig schwere Arbeit erfolgen, nämlich das Sieben der Erde. Zwei Drahtgitter mit verschieden großen Maschenweiten (das erste mit 2,5 cm, das zweite mit 1,5 cm) verwendeten wir als Siebe. Somit konnten wir vier verschiedene Kornmischungen herstellen, jeweils das Siebgut und den Siebrückstand der beiden Siebe. Schon nach wenigen Spatenwürfen wurde uns aber klar, dass die Erde zu feucht und klebrig war. Die patzigen Erdklumpen rollten vom Sieb ab und nur ein minimaler Anteil landete im Schaff. Deshalb gingen wir daran die Schalungen für unsere Erdwände herzustellen und machten mit dem Sieben am Tag darauf weiter. Am Abend fuhren wir die Schubkarren ins Innere der Ateliers, wo sie die Nacht über blieben.



Abb. 111-114: Zubereitung der Erde

Die Pisé – Baukunst

Indessen gebraucht man zum Pisé nichts anderes als eine fast trockene Erde, denn man nimmt sie, um sie ein wenig frisch zu haben, nicht unter zwei bis drei Fuß Tiefe in dem Boden.

Zur Verfertigung der Form nimmt man Bretter von zehn Fuß Länge, und einem Zoll Dicke, wenn sie abgehobelt sind. Am liebsten nimmt man leichtes Holz; Das schicklichste Holz ist ohne Zweifel das von der Tanne, weil es sich nicht so leicht wirft;

- Das Fundament wurde aus einem Holzbalken mit drei darunter liegenden Holzklötzen gefertigt. An den äußeren Enden des Balkens wurden zwei I-Profile in vertikale Richtung geschraubt, welche als Tragstruktur und Verlorener Schalung der Erdwände dienen sollten. Als Schaltafeln verwendeten wir 1,5 cm dicke OSB-Platten, welche mit Schnellschraubzwingen an die I – Träger gepresst wurden.

- Als die Erde im Laufe des Tages etwas getrocknet war setzten wir mit dem Sieben fort.

- Das Einrichten der Baustelle war schnell getan: eine Mischmaschine und ein Wasser-schlauch wurde bereitgestellt, die gesiebte Erde in Reichweite gebracht und die mobilen Wände bereitgestellt. Dann konnten wir beginnen. Insgesamt wollten wir sechs verschiedene Erdwände herstellen, drei ohne Zusätze und drei mit.



Abb. 115: Schalung für die Versuchswände

François Cointeraux, Die Pisé-Baukunst. Aus dem französischen Original bearbeitet und mit Zusätzen versehen von Christian Ludwig Seebaß, 1826. Seite 59, 60.



Abb. 116-119: Einrichten der Baustelle und Mischen der Erde

Bau einer Grobkörnige Lehmwand (terre coulée)



Abb.120-124: Das Mischen und Vermauern der Erde



Abb. 125: Abnehmen der Schaltafel

1.Versuch

Für die Herstellung der ersten Wand verwendeten wir die Siebrückstände des 2,5 cm Siebes, die grobkörnigste der Mischungen. Um die Menge an Erde und Wasser einschätzen zu können, füllten wir jeweils vier Eimer mit Erde für eine Mischmaschine und gaben etwa einen halben Kübel Wasser hinzu. Nach Durchmischung der Erde kippten wir sie eimerweise in die Schalung und verteilten sie schichtweise und gleichmäßig am Boden. Ein Holzpfosten benutzten wir um die Erde leicht fest zu stampfen, um sie zu verdichten und die Hohlräume zwischen den Steinen zu verkleinern. Nach 4 Mischmaschinen hatten wir die Wand bis an den Rand der Schalung aufgefüllt.

Unsere Wand sollte Angaben zufolge bereits nach kurzer Zeit durch Eigenstabilität halten ein sofortiges entfernen der Schaltafeln aushalten. So lösten wir nach

ca. 15 Minuten die Zwingen und entfernten die erste OSB-Platte von den Stahlstützen. Die Wand stürzte sogleich ein und lies uns über die möglichen Fehler nachsinnen.

Die Konsistenz der Erde war zu schwach. Die Gründe dafür konnten entweder im falschen Mischverhältnis von Erde und Wasser liegen, in einer zu kurzen Mischzeit oder gar in einer mangelhaften Erde, die zu wenige feinkörnige Anteile im Tonbereich aufweist. Schrittweise sollte der Fehlerquelle auf den Grund gegangen werden.



Abb. 126: Die richtige Konsistenz...?

2. Versuch

Unser Scheitern ließ uns im selben Zug einen wesentlichen Vorteil des Bauens mit Erde erkennen: Die eingestürzte Wand schaufelten wir direkt wieder in die Mischmaschine und starteten den Versuch ohne Materialverlust von neuem. Die Konsistenz der Erde wollten wir verbessern indem wir die Erde besser vermischten. Uns war aufgefallen, dass die feinkörnigen Anteile der Erde in der Mischmaschine an den Wänden klebrig anhafteten und sich dadurch in der Maschine nur der grobkörnige Teil im Kreise drehte. Deshalb entfernten wir mit einer Maurerkelle immer wieder von den Innenwänden der Maschine die klebrige Lehmmasse ab. Die Mischung in der Schubkarre wurde einem Haftarrest mit der Kelle unterzogen. Dazu wurde eine Kelle Erde in die Luft gehalten und von der waagrechten in die senkrechte Stellung gedreht. Haf-

tete die Erde an der senkrechten Kelle und rutschte gar nicht oder nur langsam nach unten, zeugte dies von einer guten Klebewirkung und guten Voraussetzungen für den Bau.

Zur zusätzlichen Absicherung ließen wir die Wand über Nacht trocknen, da sich die Festigkeit durchs Trocknen sehr schnell erhöht. Am nächsten Morgen entfernten wir die Schalung und zu unserer Freude hielt die Wand stand. Beim Bewegen mit dem Handstapler brach die Wand allerdings wieder in sich zusammen. Die Schwingungen an den Stahlstützen hatten beim Absetzen zu stark auf die Wand eingewirkt und die Wand zu Fall gebracht. Beim nächsten Versuch, wollten wir durch eine zusätzliche Aussteifung der Stahlstützen diesem Problem entgegenwirken.



Abb. 127-132: Der Arbeitsprozess von der Materialzubereitung- Herstellung der Wand und schließlich der Einsturz beim Transport der Wand

Die Pisé-Baukunst

In einer Zeit von 45 Tagen war das Auf-trocknen völlig zu Stande gekommen, und das Gewicht fand sich nur ungefähr um einen achten Teil vermindert;

François Cointeraux. Die Pisé- Baukunst. S. 66

3. Versuch

Die Erde wurde zum wiederholten Male in die Mischmaschine geworfen und etwas Wasser und ein paar neue Schaufeln Erde zugegeben. Dann beobachteten wir wie sich die Erde vermischte und sich ihre Konsistenz augenblicklich veränderte. Besonders verblüffte uns, welche Auswirkung die Zugabe eines Spritzers Wasser hatte. Aussehen und Festigkeit änderten sich schlagartig und glichen sich nach einigen Minuten Mischen wieder dem vorherigen Zustand an.

Als Schalwand verwendeten wir diesmal eine durch einen Längsbalken ausgesteifte Stahlkonstruktion. Doch auch dieser Eingriff sollte unsere Erdwand nicht stabiler machen. Wenige Minuten nach entfernen der Schalwände brach die Wand in sich zusammen. Die Ursache dafür sollte allgemeiner Meinung nach der zu dünne Wandquerschnitt mit 12 Zentimeter sein.



Abb.133: Die fertig gestampfte Wand



Abb. 134-138: Erneute Herstellung der Wand. Kurze Zeit nach Entfernen der Schalung bricht die Wand in sich zusammen



Die Pisé – Baukunst

Die hier genannte Bauart auf bloßer Erde, welche Pisé genannt wird, ist jedoch keine neue Erfindung, deren Erfolg noch zweifelhaft sein könnte, sie ist vielmehr eine sehr alte und schon bei den Römern üblich gewesene Bauart, welche sich in den südlichen Provinzen Frankreichs erhalten hat, noch jetzt dort, so wie in den neueren Zeiten auch in anderen Ländern, besonders in manchen Gegenden und Städten Deutschlands, mit großem Vorteil angewendet wird.

Was sie Neues erhalten hat, ist der Grad von Vollkommenheit, zu welchem sie unlängst gebracht wurde, so dass sie jetzt mit der sorgfältigsten Bauart auf gebackenen Steinen wetteifern, und zur Erbauung ganzer Städte gebraucht werden kann;....

François Cointeraux, Die Pisé-Baukunst. S. 2, 3

Bau einer Pisé-Wand

Zum Bau der Pisé-Wand verwendeten wir die Kornmischung unter 2,5 cm Sieblinie.

Diese feinkörnige Mischung sollte besseren Halt versprechen als unsere vorigen Versuche, denn die Kornzwischenräume waren kleiner und sollten zudem nach Art des Pisé-Baus durch Kompression möglichst verengt werden.

Wir mischten die weniger als 2,5 cm umfassenden Erdkörner mit etwas Wasser in der Mischmaschine und achteten besonders darauf, die sich an den Innenwänden ansetzenden klebig-lehmigen Patzen mit einzumischen. Von Zeit zu Zeit prüften wir mit der Kelle die Klebrigkeit der Erde. Nach etwa 10 Minuten hatte die Erde deutlich an Haftung gewonnen, sie klebte an der Kelle bei senkrechter Haltung und fiel auch bei einer 180 Grad Drehung der Kelle nicht runter. Dies überzeugte uns mit dem Bau beginnen zu können.



Abb. 140: Die fertige Pisé-Wand

Werkzeug zum Stampfen der Erde.

Das wesentliche Werkzeug zum Pisé-Bau, wovon die Festigkeit dieser Arbeit, seine Dauer auf mehrere Jahrhunderte, mit einem Wort seine Vollkommenheit abhängt, ist dasjenige womit die Erde bearbeitet oder gekaut wird; diese Bauart ist entweder vollkommen gut, oder äusserst schlecht. Dieses wichtige Werkzeug heißt der Stampfer, oder Stößel.

...Man wir aber die Vorsicht brauchen, dass die Stampfer niemals neue Erde annehmen, als sie die erste Lage gut gestampft haben, welches sie an den Stößen ihres Werkzeugs erkennen müssen, welche kaum mehr die Stelle bezeichnet, wohin sie treffen. ...und so folgt eine Schicht auf die andre, bis die Form ganz aufgefüllt ist.

François Cointeraux, Die Pisé-Baukunst. S. 22, S 28

Wir kippten die Erde eimerweise in die Schalung und stampften sie mit einem Holzplock sorgfältig und möglichst gleichmäßig fest. So stellten wir Schichten mit 7 bis 10 cm Dicke her. Beim Stampfen klopfen wir zuerst leicht die Ränder entlang der Schalung an, um der Wand dort möglichst große Stabilität zu verleihen. Dann arbeiten wir uns zur Mitte vor und stampften schließlich von Außen nach Innen noch mal die gesamte Fläche mit starken Stößen fest. So arbeiteten wir uns Schicht für Schicht nach oben. Das Feststampfen war der schwerste Teil der Arbeit, für welche wir uns Schicht für Schicht abwechselten. So hatte auch schon François Cointeraux in seinen Lehmbauregeln festgehalten, dass die stärksten Arbeiter für das Stampfen eingeteilt werden sollten. Nach Fertigstellung der Wand entfernten wir sogleich die Schalung und freuten uns über das Resultat.

Resümee

Am Bau der Pisé-Wand hatten wir festgestellt wie zeitintensiv diese Technik ist und welche Kraftanstrengungen wir auf uns nehmen mussten. Dabei hatten wir lediglich ein Quadratmeter Fläche Wand mit 12 cm Dicke hergestellt. In der Praxis haben Stampflehmwände einen Durchmesser von mindestens 40 cm. Auf einer professionellen Baustelle, wird das Stampfen maschinell ausgeführt, wenn auch händisch gefertigte Pisé-Wände eine größere Festigkeit haben. Durch diese Rationalisierung wird viel Zeit gewonnen. Ebenso können durch den Einsatz mehreren Mischmaschinen größere Mengen Erde zubereitet werden, wodurch längere Schichten in einem Mal hergestellt werden können und Wartezeiten ausgeschlossen werden können.



Abb. 141-145: Bau der Pisé-Wand

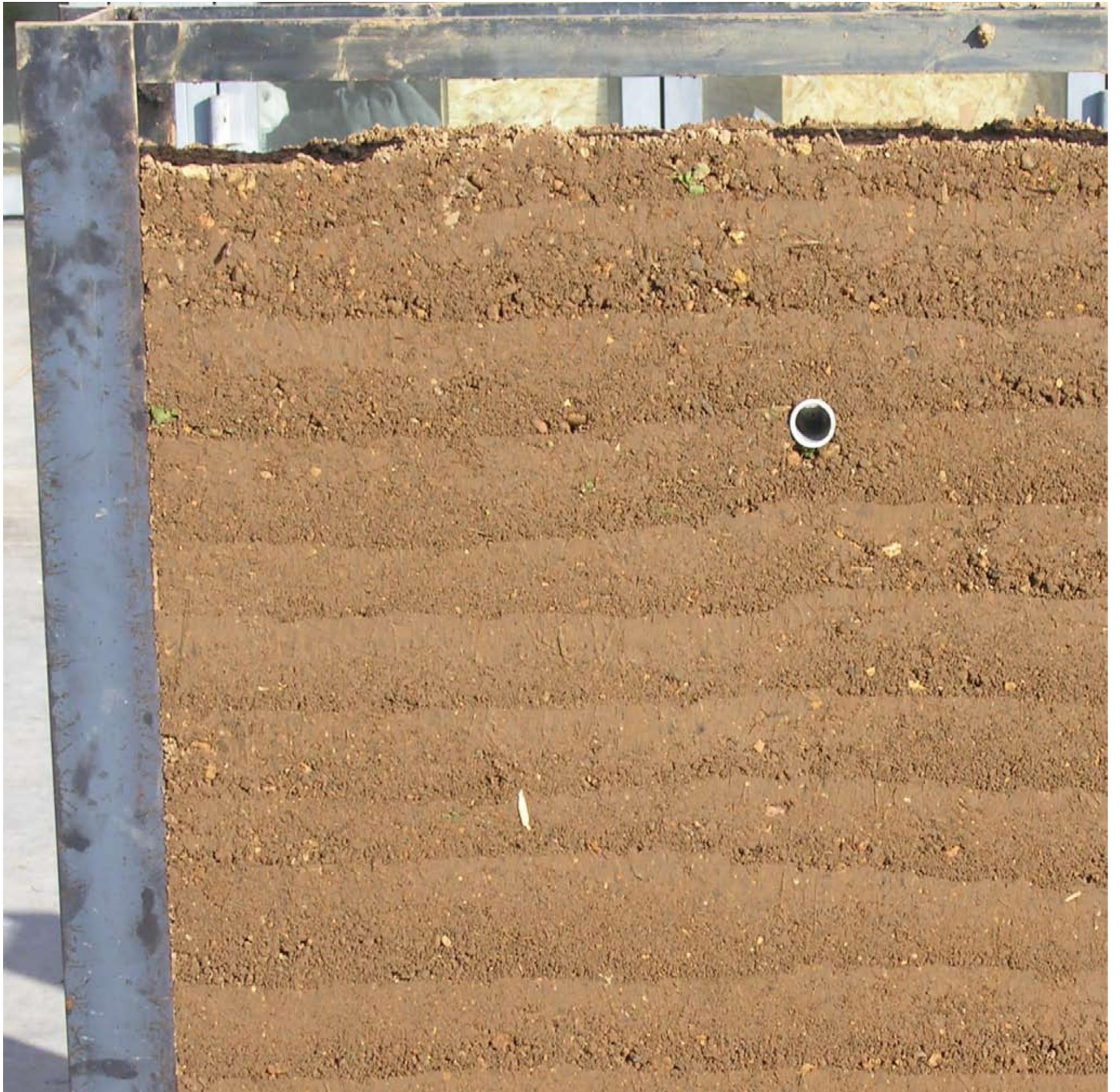




Abb. 147: Detail der Lehm-Ziegelwand

Unser nächstes Experiment sollte gebrannte Erde mit ungebrannter Erde in einer Wand vereinigen. Die Erde wollten wir in Form einer dicken Mörtelschicht zwischen übereinander folgenden Ziegelreihen verwenden. Dazu brauchten wir eine fette Mörtelmasse, die die Bindung mit den Ziegelsteinen herstellen konnte.

Um eine gute Haftung gleich eines Mörtels zu erreichen, mischten wir zur Erde der Siebrückstände des 2,5 cm Siebes etwa 2% weissen Zement hinzu. Die verwendeten Ziegel haben das Maß von 12x8x6 cm. Am Boden der Schalung trugen wir eine etwa 5 cm dicke Erdmörtelschicht auf, und setzten eine Ziegelreihe links und rechts in Aufrechter Form darauf. Dann fügten wir die Schaltafeln hinzu und kippten eimerweise Mörtel in die Schalung. Mit Hilfe eines Holzpflocks stampften wir den Mörtel in den Zwischenraum der beiden Ziegelreihen. Zwischen den Ziegelreihen trugen wir jeweils 5 bis 8 cm Erdmörtel auf. So fügten wir Ziegelreihe um Ziegelreihe an, bis wir an den oberen Rand der Schalung gelangt waren. Die Schalung konnte nach Beendigung der Maurerarbeiten sofort entfernt werden.

Resümee

Der Bau der Wand gestaltete sich etwas schwierig, da die Ziegel nicht an ihre Position gesetzt werden konnten, sondern oberhalb der Schalung auspositioniert werden mussten und dann senkrecht nach unten fallen gelassen wurden. Dies erforderte ein nachträgliches Zurechtrücken der Ziegel mit mehreren Holzstangen. Trotz dieses Manövers konnte die Wand aber in viel kürzerer Zeit und mit weniger Muskelkraft als die Pisé-Wand erbaut werden.



Abb. 148-152: Bau der Lehm-Ziegelwand

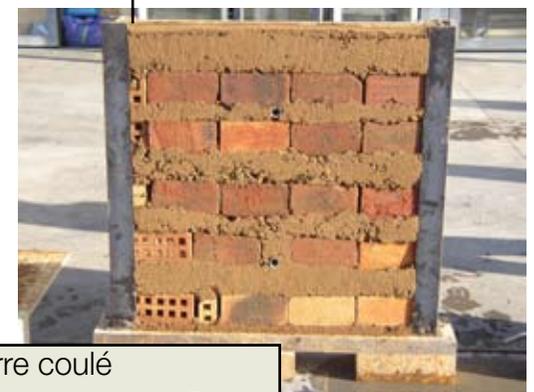




terre coulé
Siebgut 2,5cm, 1 Eimer
Sand, 2% Zement



terre coulé
Siebrückstand 2,5cm +
Zement



terre coulé
Siebrückstand 2,5cm
+ Zement



pisé
Siebgut 2,5cm



terre coulé
Siebrückstand 2,5cm



Ziegel-Erde
Siebrückstand 2,5cm,
5%Zement

Das zweite Projekt, an welchem ich mitarbeiten konnte, bestand darin einen Pavillon mit Leichtlehmwänden herzustellen. Als leichte Anteile wollten wir Holzhäcksel und Stroh verwenden.

Unser Leichtlehm sollte zur Errichtung von nicht tragenden Wänden in einem aus Holz und OSB-Platten gefertigten Pavillon dienen. Dazu musste erst einmal der Pavillon in rund viertägiger Arbeit gefertigt werden, bevor wir daran gehen konnten uns mit dem Leichtlehm zu beschäftigen. Holzskelett und Wandtafeln wurden so geplant, dass 120 cm Breite Abschnitte mit innen liegender, verlorder Schalung als Modul für unsere Leichtlehmfüllung verwendet werden konnten. Aus Zeitgründen wollten wir jeweils nur ein Wandmodul mit Holz-Erde und Stroh-Erde fertigen.

François Cointeraux schrieb am Ende des 18. Jahrhunderts folgendes über diese Lehmbautechniken:

Man verwechsle aber nicht die hier angekündigte Bau-Art mit jener elenden, wo man Gebäude auf Erde aufführt, welche mit Stroh, Heu, Werg, oder Tierhaaren vermischt und mit den Füßen getreten wird. Die auf solche Art gleichsam auf Koth gefertigten Wohnungen sind nicht nur ungesund, und der Fäulnis unterworfen, sondern sie sind auch keiner Festigkeit, keiner Dauer, und keiner Annehmlichkeit fähig.

François Cointeraux, Die Pise- Baukunst. S. 4



Abb. 161-165: Bau der Holzlehmwand



Abb. 166: Pavillon mit Leichtlehmwänden



Abb. 167: Textur der Holzleichtlehmwand

Am Anfang verwendeten wir ein Lehmfertigprodukt aus dem Handel, in dem bereits Holzhackschnitzel mit Baulehm vermischt und verarbeitungsfertig vorlagen. Um den an den Hackschnitzeln angetrockneten Lehm zu lösen, mussten die Hackschnitzel mit etwas Wasser in die Mischmaschine. Nach kurzem Durchmischen konnten wir die klebrige Masse in die Schalung schütten. Dort wurde sie leicht festgestampft, um zu verhindern, dass größere Leerräume zurückbleiben. So arbeiteten wir uns Schicht für Schicht nach oben. Zu unserem Erstaunen war unser 500 kg Big Bag Sack mit Hackschnitzel-Lehm bereits auf der halben Wandhöhe zu Ende. So stellten wir die Mischung aus Hackschnitzel und Lehm selbst im Verhältnis von 2:1 her. Auf zwei Kübel Hackschnitzel wurde jeweils ein Kübel feine Erde mit etwas Sand vermischt, hinzu gegeben und in der Mischmaschine verrührt. Nach einigen Stunden Arbeit hatten wir einen Wandabschnitt fertig gestellt und konnten die Schalung entfernen.



Abb. 168: Holzleichteilwand unmittelbar nach entfernen der Schalung

Resümee

- Der Arbeitsaufwand zur Herstellung einer Holz-schnitzel-Erdwand, hält sich in Grenzen. Nach kurzem Durchmischen ist die Erde sofort einsetzbar und kann schichtweise in die Schalung geleert werden. Ein leichtes Verdichten durch Feststampfen kann mit wenig Kraftaufwand vollzogen werden, wobei ein Abwechseln des Stampfarbeiters vorgesehen werden sollte. Das Hochrücken der Kletterschalung sollte zu zweit gemacht werden. Wichtig ist, dass die Schal-tafel nach entfernen der Schrauben seitlich weg ge-schoben und nicht abgenommen wird, da mit der Tafel ansonsten die an ihr haftenden Bestandteilen entfernt werden.

- Der Zeitaufwand ist abhängig von der Zahl der Hilfs-kräfte, der zur Verfügung stehenden Mischmaschinen und der Art des Baumaterials. Liegen die Holz-schnitzel bereits als Fertigprodukt vor, so ist mit wesentlich kür-zeren Arbeitszeiten zu rechnen. Muss die Mischung jedes Mal präpariert werden, so sind längere Zeiten für das Aussieben der Feinerde (Siebgut des 2,5 cm Siebes) und das Herstellen des richtigen Mischungs-verhältnisses einzurechnen.

- Die Festigkeit der Wand ist relativ gering, weshalb sie nicht tragend ausgeführt wird. Bauphysikalische Qualität der Wand ist in Bezug auf Wärmedämmung hoch, die Wärmeleitzahl liegt je nach Art und Verdich-tung zwischen 0.5 und 0.7 W/mk. Die Wärmespei-cherzahl steigt mit zunehmender Masse (600 - 1200 kg/m³) und reicht von 900 bis 1500 kJ/m³K. (1)

(1) Werte aus: Leichtlehm-bau, Alter Baustoff- Neue Technik; Vollhard, Franz



Abb. 168: Textur der Holzleichtlehmwand

Zu Beginn musste das Stroh und die Erde verarbeitungsfähig gemacht werden. Dazu musste das in Ballen vorliegende Stroh auseinander genommen werden. Die bereits geschnittenen Strohhalme haben die optimale Länge von etwa 15-20 cm. Dann musste die Erde gesiebt werden bevor mit dem Durchmischen von Stroh und Erde begonnen werden konnte. Nach einigen Mischversuchen hatten wir uns auf ein Verhältnis von drei Schaufeln feiner Erde mit einem halbem Kübel Wasser und einigen Armvoll Stroh festgelegt. Als die beste Methode setzte sich das Mischen des Gemenges mit den Händen direkt in der Schubkarre durch. Die Benutzung einer Mischmaschine ist abzuraten, da das Stroh sich um die Mischschaufeln der Maschine legt und sich nicht mit der Erde vermischt.



Abb. 170-175: Bau der Strohleichtlehmwand



Resümee

- Der Arbeitsaufwand zur Herstellung der Strohleichtlehmwand hatte sich im Vergleich zur Holzhackschnitzelwand erheblich gesteigert, da das Vermischen nicht maschinell erledigt werden konnte. Die Schubkarrenweise Fertigung des Leichtlehms ist nur für eine geringe Menge geeignet. Bei längeren Wandabschnitten ist das in den Lehm-baubüchern beschriebene Vermischen am Boden mit den Füßen oder das maschinelle Vermischen mit einer Gartenfräse besser geeignet.
- Der Zeitaufwand zur Herstellung der Mischung kann mit Hilfe eines Zwangsmischers erheblich verkürzt werden. Das Mauern und Verdichten der Wand in der Kletterschalung benötigt wenig Zeit.

- Die Festigkeit des Strohleichtlehms ist ebenso gering wie die des Holzleichtlehms. Die Rohdichte der trockenen Lehmwände sollten mindestens 650 kg/m^3 betragen, leichtere Mischungen von 400 kg/m^3 sind nicht zu empfehlen, da sie Anforderungen an Brand- und Schallschutz nicht genügen und Trocknungsprobleme entstehen können. Wanddicken über 25 Zentimeter trocknen sehr schwer wodurch es zu Fäulnis und Schimmelbildung kommen kann. Wichtig ist ebenso, dass in warmer, trockener Jahreszeit gebaut wird. Ein Nachteil gegenüber der Holzleichtlehmwand ist seine etwas geringere Wärmespeicherfähigkeit ($600\text{-}1200 \text{ kJ/m}^3\text{K}$).

IV_ projekt: leichtes bauen in nord-isère

Problematik

Die Region Rhône-Alpes hat heute wie beinahe der ganze französische Raum einen großen Bedarf an Sozialwohnungen zu stillen. Frankreich ist an einem Punkt angelangt wo Mieten und Nebenkosten der Wohnungen die finanzielle Kapazität vieler Familien überschreiten. Darum steigt die Nachfrage für finanzielle staatliche Unterstützung akut an.

In Anbetracht dieser Problematik sollen neue architektonische Konzepte entwickelt werden, die hohe Wohnqualität mit reizvollen Wohnungen auch für Familien mit geringem Einkommen ermöglichen sollen.

Absichten

In diesem Sinne möchte ich eine architektonische Annäherung zum Sozialwohnbau durchführen. Diese soll von Überlegungen des übergeordneten Themas „Leichtes Bauen“ ausgehen, welches ökologische Prinzipien, Nachhaltigkeit, Energiehaushalt und Rückbau berücksichtigt und ein Modell des Siedlungsbaus im Departement Isère, der Region Rhône-Alpes, im Südosten Frankreichs darstellen.

Folgende zentrale Fragen sollen im Projekt beantwortet werden:

1. Wie kann die Baukultur verbessert werden?
2. Wie können die lokalen Ressourcen besser genutzt werden?
3. Wie kann den Menschen ein besseres Wohnen geboten werden und den Generationen von morgen eine Unterkunft geschaffen werden?

- _ bauplatz**
- _ konzept**
- _ referenzprojekte**
- _ zielsetzungen**
- _ projektskizzen**
- _ projektpräsentation**
- _ projektüberprüfung**

Der Standort

Die Verkehrs-Anbindung

Die Gemeinde Nivolas Vermelle liegt ungefähr 50 km von Lyon und 65 km von Grenoble entfernt und gehört zum Département Isère.

Über die Nationalstraße 85 ist der Ort über eine 4 km vom Dorfkern entfernte eigene Ausfahrt mit dem Auto gut erreichbar. Die nächst-gelegene Zug-haltestelle liegt ca. 6 km entfernt im Nachbarort Bourgoin-Jallieu. Internationale Anbindung bietet der 20 Minuten entfernten Flughafen Lyon Saint-Exupéry.

Regionale Beziehung

Das Dorf gehört mit anderen 47 Gemeinden dem globalen Entwicklungsvertrag Contrat Global de Développement - Isère Portes des Alpes an, welcher gemeinsame Projekte zur Förderung und Entwicklung der Wirtschaft, Landwirtschaft, des Tourismus, des kulturellen Erbes, des Umweltschutzes und Städtebaus vorsieht.

Insbesondere soll die in der Region vorherrschende historische Bausubstanz aus Stampflehm geschützt und aufgewertet werden und Projekte zur Identitätsbewahrung gefördert werden.

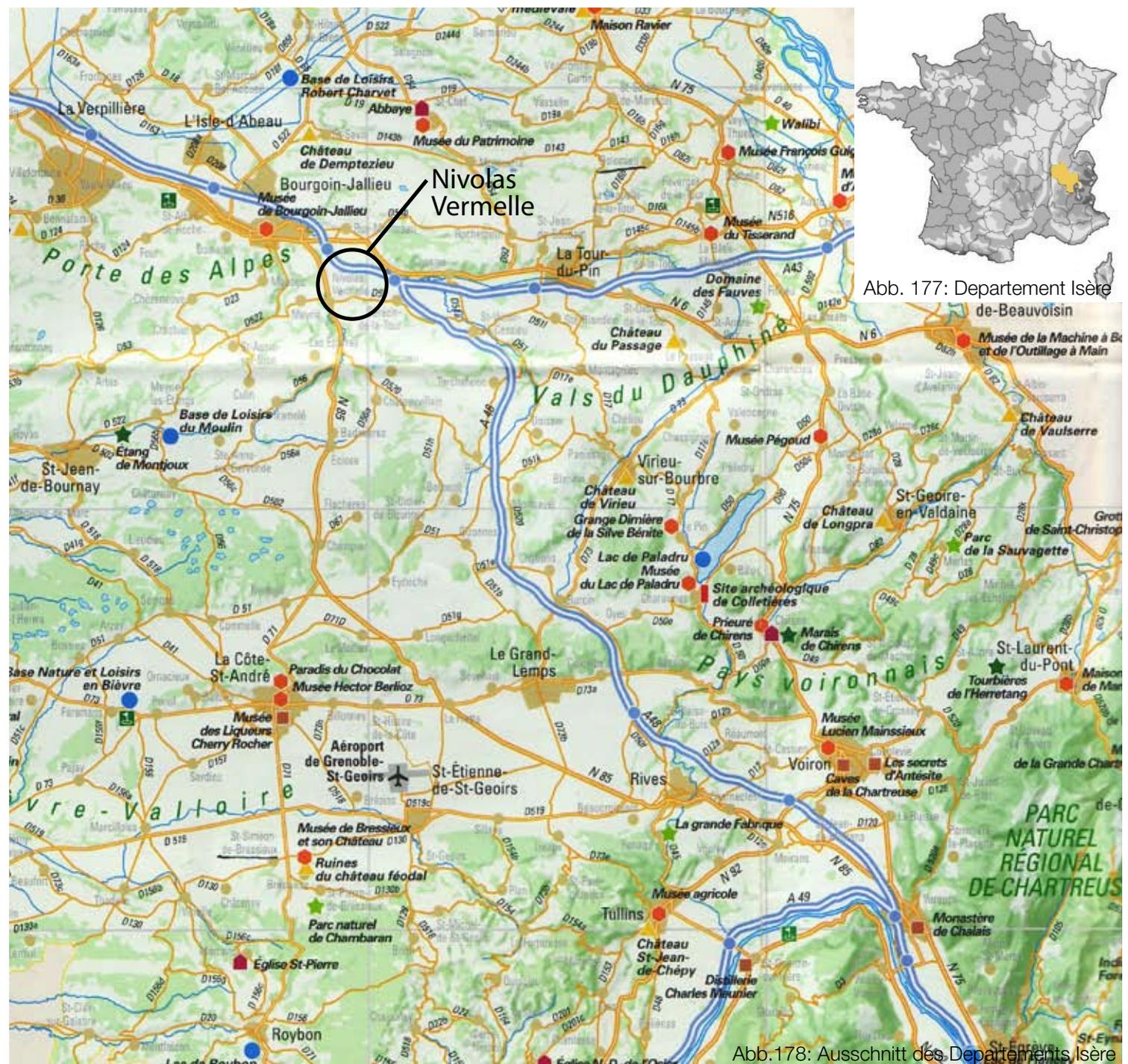


Abb. 177: Département Isère

Abb.178: Ausschnitt des Départements Isère

Die Geologie der Landschaft

Geologisch kann Nivolas Vermeilles dem Territorium der „Terres Froides“ dem Kalten Land zugeordnet werden. Die Entstehung geht auf die Tertiär-Zeit von 20 -2 Millionen Jahren zurück.

In der mittleren Tertiär-Zeit traten die Alpen hervor und das Meer formte sich als schmaler Arm von Lyon bis Österreich entlang des Alpenkamms. Durch die ständige Erosion und Abrieseln bildete sich ein Sanddepot und mit ihm die heutigen Gewässer.

Vor 6 bis 2 Millionen Jahren im Mioncene-Zeitalter ging das Meer zurück und die Ebene verschlammte. Die Erosionsmassen sammelten sich in den Niederungen und formten eine 3000-m-tiefe Furche aus Molasse.

Nach Einbringung jurassischen Kalkgesteins und verschiedener Tonmassen setzte sich der im Meer gelöste Schlamm ab und formte aus der einstigen Mee-Region ein Territorium aus fruchtbaren und durchmischten Sedimentationen.

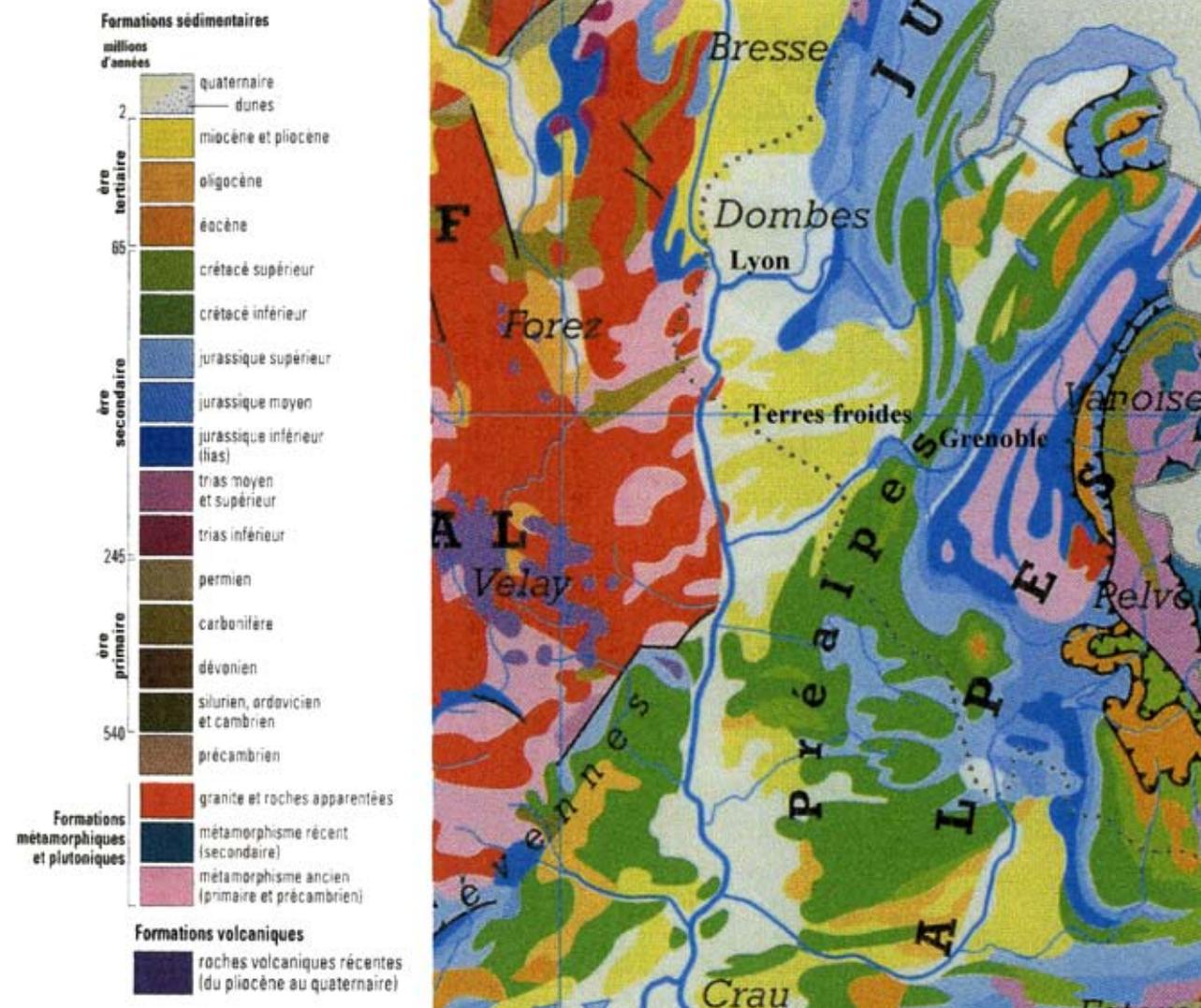
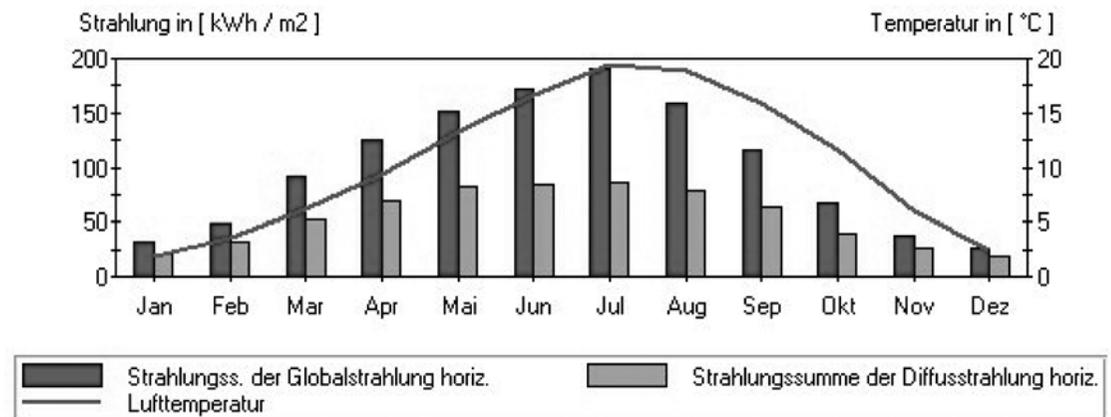
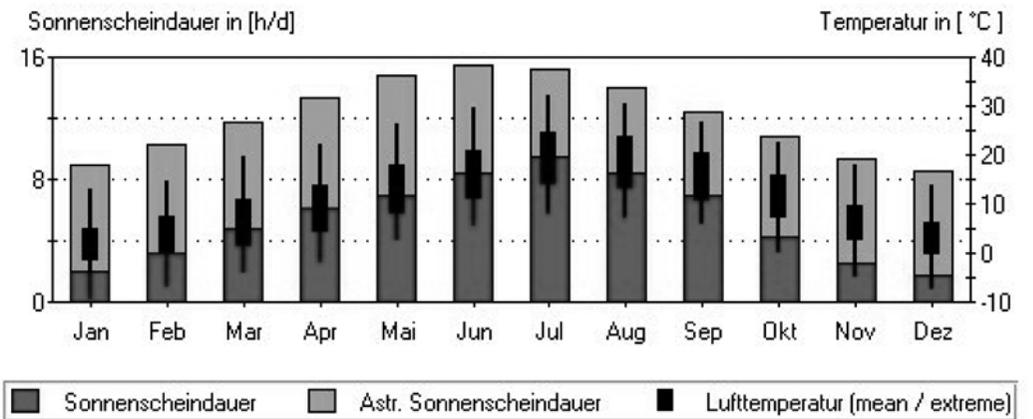


Abb.179: Die Geologie der Landschaft Dauphiné (seit 1790 in drei Departements geteilt: Isère; Drôme und Haute-Alpes)

Das Klima der Region

Das Klima der Region Rhone-Alpes kann als kontinentales Klima bezeichnet werden. Die Klimadaten der Stadt Lyon geben einen Überblick dazu. Lyon liegt auf 299 Metern Meereshöhe, seine geographische Breite ist: 45,46, seine geographische Länge: 4,50. Jährlich werden durchschnittlich 1974 Sonnenstunden gemessen.

Das Dorf Nivolas Vermelles liegt süd-östlich von Lyon (geographische Länge 5,30, geographische Breite 45,55). Genaue Klimadaten konnten nicht in Erfahrung gebracht werden.



Monat	Ta	Ta min	Ta max	RH	SDm	SDd	SD astr	RR	RD	FF	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Ta
Jan	1,8	-9,7	13	96	63	2	8,9	63	4	3,1	32	20	38	1,8
Feb	3,5	-7,2	14,4	87	90	3,2	10,3	52	5	3,3	49	32	42	3,5
Mar	6,1	-4,2	19,6	80	148	4,8	11,8	55	7	3,5	92	53	76	6,1
Apr	9,4	-2	22	72	184	6,1	13,4	77	9	3,6	125	70	94	9,4
Mai	13,3	2,5	26,3	80	216	7	14,8	80	6	3,2	151	82	105	13,3
Jun	16,7	5,2	29,4	72	251	8,4	15,5	71	7	3	172	84	137	16,7
Jul	19,5	8	32,1	68	293	9,4	15,2	61	6	2,9	190	86	156	19,5
Aug	18,8	7	30,6	74	259	8,3	13,9	68	6	2,7	158	79	127	18,8
Sep	15,9	5,7	26,8	73	208	6,9	12,4	88	9	2,8	115	63	94	15,9
Okt	11,5	0	22,5	88	134	4,3	10,8	78	7	2,8	68	40	66	11,5
Nov	5,9	-4,9	18,1	88	75	2,5	9,3	79	5	3	37	26	34	5,9
Dez	2,5	-7,6	13,7	95	55	1,8	8,5	55	4	3	26	18	30	2,5
jahr	10,4			81	1974	5,3		827	75	3,1	1211	652	999	10,4

Ta: Lufttemperatur
 RH: relative Luftfeuchtigkeit
 Ta min: 10-jahres Minimum (approx.)
 Ta max: 10-jahres Maximum (approx.)
 SD: Sonnenscheindauer
 RR: Niederschlag
 RD: Tage mit Niederschlag

FF: Windgeschw.
 SD astr.: Sonnenscheindauer, astronomisch
 H_Gh: Strahlungss. der Globalstrahlung horiz.
 H_Dh: Strahlungssumme der Diffusstrahlung horiz.
 H_Bn: Strahlungssumme der Direktnormalstrahlung
 Ta: Lufttemperatur

Strahlung in [kWh/m²]
 Temperatur in [°C]
 Windgeschwindigkeit in [m/s]
 Sonnenscheindauer in [h/Tag]



Die ältesten Erwähnungen des Dorfes gehen auf das Mittelalter zurück. Nivolas und Vermelle waren damals getrennte Orte. Nivolas gehörte zu Châteauvillain, Vermelle gehörte der Gemeinschaft der Eparres an. Im 18ten und 19ten Jahrhundert entwickelte sich die Gemeinde Nivolas mit dem Aufschwung der Seidenwebindustrie, die sich die Wasserkraft des Flusses Agny zu Nutze machte. Im Jahr 1860 wurden 800 Webstühle aufgeteilt in Bauernhäuser und 4 Fabriken gezählt.

Im Jahre 1882 wurde Nivolas-Vermelle zur unabhängigen Gemeinde erklärt.

Mit der Industrialisierung erfolgte ein Umschwung und besonders seit dem Ende der Fünfzigerjahre änderte sich der Lebenswandel. Das Dorf hat von der Anwesenheit der Nationalstraße N.85 profitiert, von der Nähe zu Bourgoin-Jallieu und seit 1972 von der Autobahnausfahrt die es mit Lyon, Grenoble und Chambéry verbindet. Die Textilindustrie ist heute nicht mehr präsent, doch haben sich andere Industriezweige angesiedelt wie der Metallsektor, die Stahl-, Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie, welche die Gussformen für die Plastikindustrie herstellen. Weitere lokale Industriezweige sind das Baugewerbe und die Automobilindustrie.

Neben einem Unternehmen für Lebensmittel gibt es in der ca. 1800 Einwohner Gemeinde heute ein Einkaufszentrum, das die näheren Geschäfte zusammenfasst, ein Restaurant, ein Hotel, eine Diskothek, ein Discountgeschäft und ein Warendepot.

Abb.180: Gemeinde Nivolas Vermelle



Abb. 181: Chapelle Notre Dame de Vermelles



Abb. 182: Kirche von Nivolas



Abb. 183: Rathaus und Schule von Nivolas Vermelle mit Boules Spielenden



Abb. 184: Rathaus von Nivolas Vermelles, heute

Lokale Betrachtung des Grundstücks

A →



Abb.185: Blick in Nördliche Richtung

B →



Abb. 186: Blick in Süd-Westliche Richtung

C →



Abb. 187: Blick in Süd-Östliche Richtung





Abb. 188: Grundstück in Nivolas Vermelle_Blickrichtung Süd; November 2005



Abb. 189: Grundstück in Nivolas Vermelle_Blickrichtung Nord; November 2005



Abb. 190: Grundstück in Nivolas Vermelle_Blickrichtung Süd-West; Februar 2006



Abb. 191: Grundstück in Nivolas Vermelle_Blickrichtung Nord; Februar 2006



Abb. 192: Nivolas Vermelle_Die nähere Umgebung des Planungsortes

Die angrenzende und umliegende Bebauung



Abb. 193: Gebäudeteil in Pisébauweise



Abb. 194: Wohnhaus in Pisé-Bauweise



Abb. 195: Wohnhaus aus Stein



Abb. 196: Wohnhaus aus Stein

Verkehrsstudie zum Bauplatz

Westlich des Grundstücks führt die Nationalstrasse N 85 vorbei, die als Haupteerschließung des Dorfes fungiert.

Eine Seitenstrasse **A** läuft durch eine Böschung getrennt, am Grundstück vorbei und führt in südlicher Richtung vorbei an einer Industriezone weiter zum Nachbardorf Vernay.

Süd-westlich des Grundstücks verläuft die Bahnlinie **B** Lyon - Grenoble. Auf ihr verkehren unter anderem die Hochgeschwindigkeitszüge.

In östlicher Richtung ist das Grundstück von der Dorfstrasse „Boussieu“ **C** eingegrenzt. Von ihr aus führt eine Straßenüberführung **D** über die nahegelegene Autobahn A 43 Lyon - Chambery.

Die Schallmessung in der Grafik zeigt Werte nach dem bewerteten Schallpegel LA [db(A)] (gehörliche Bewertung)

Der Momentane Schallpegel (Messung inmitte der Parzelle) hat folgende Werte ergeben:

Auto: 56 dB
Zug: 62 dB

A →

Abb. 197



B →

Abb. 198



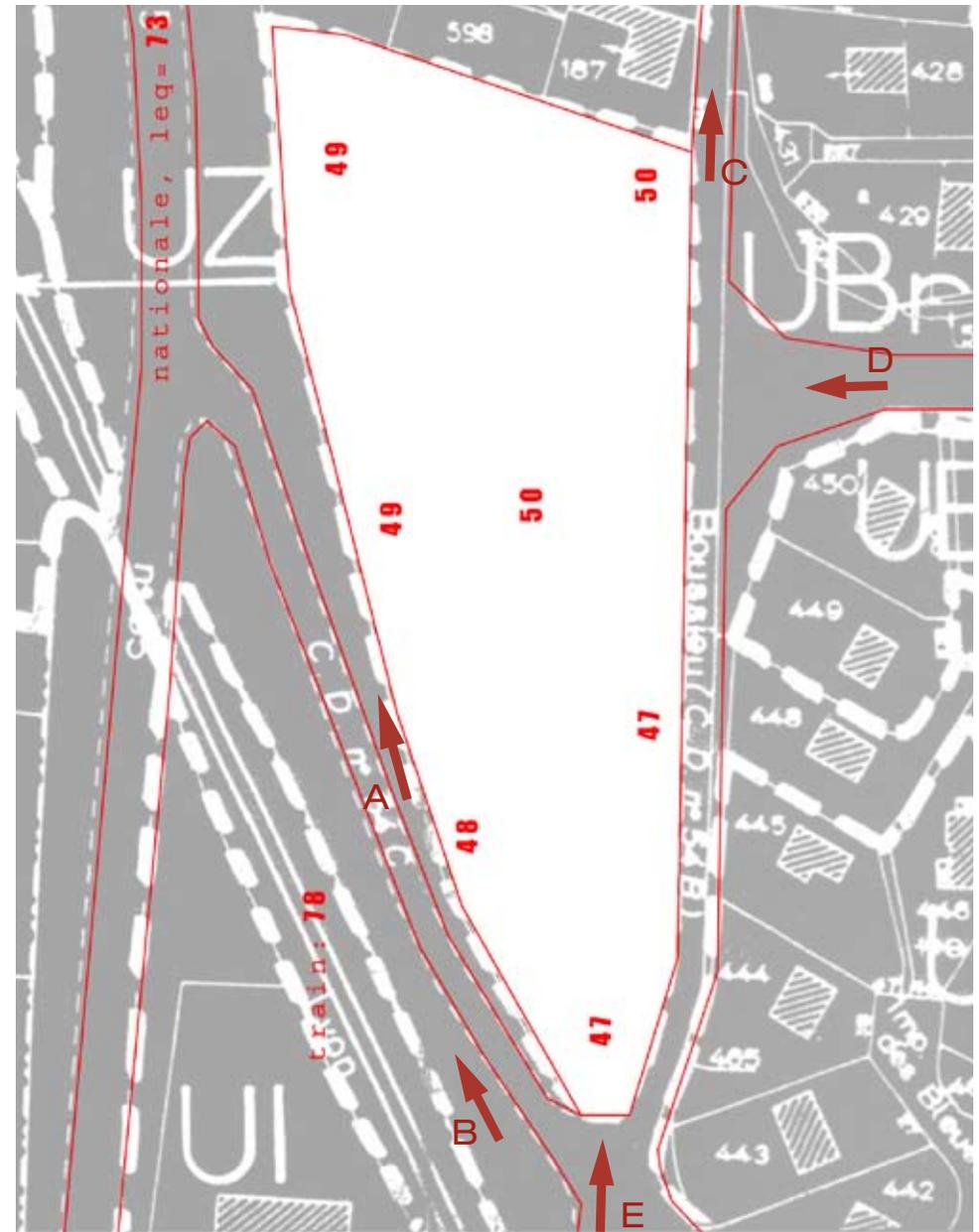
C →

Abb. 199



D →

Abb. 200



E →

Abb. 201

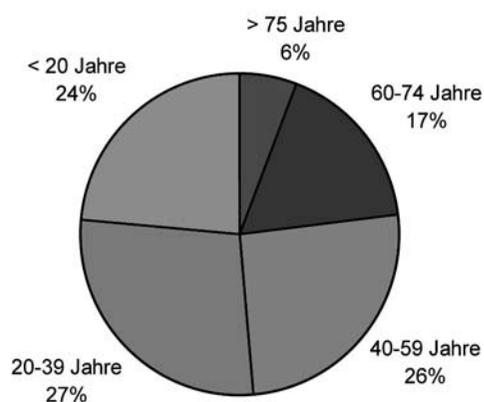


Auswertung

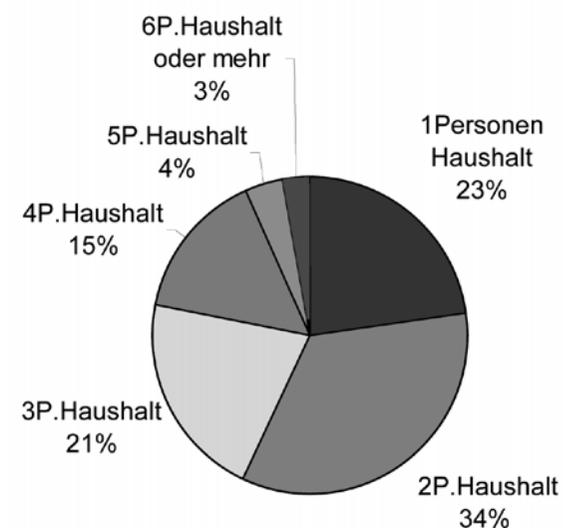
Das Verhältnis von junger und alter Bevölkerung ist relativ ausgeglichen. Auffallend ist, dass der Anteil an Haushalten mit ein oder zwei Personen hoch ist. Was die Mobilität betrifft, spielt das Auto für die Bewohner eine wichtige Rolle.

Es besteht vor allem ein Bedarf an Unterkünften für Haushalte mit ein oder zwei Personen und für Kleinfamilien. Aufgrund der Notwendigkeit der Bewohner, sich mit dem Auto fort zu bewegen, ist es erforderlich Parkplätze großzügig einzuplanen.

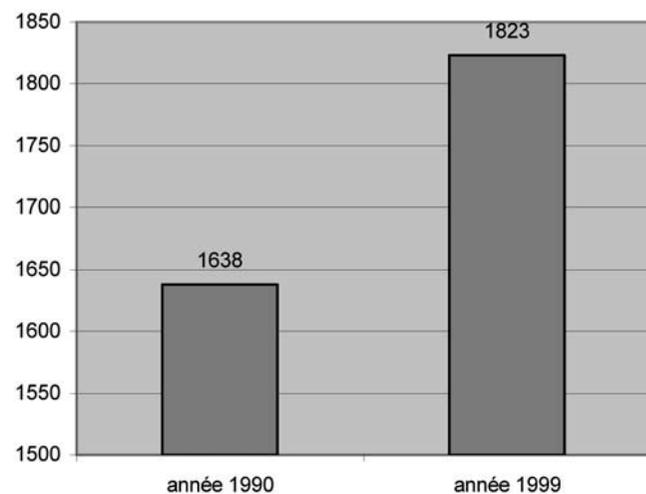
Alter der Bevölkerung



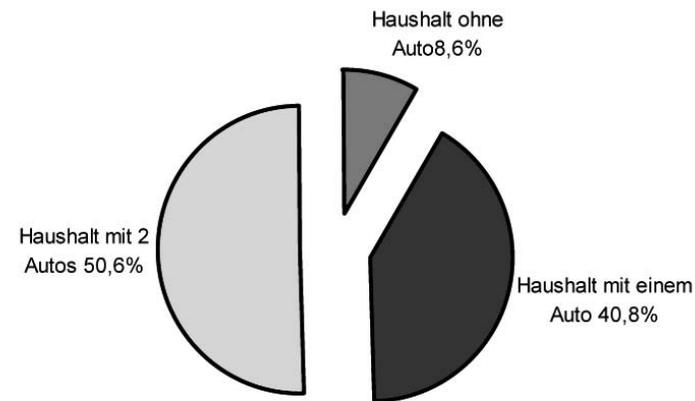
Größe der Haushalte



Bevölkerungsentwicklung



Haushalte mit PKW



Bevölkerungszunahme von 1990 bis 1999: +185 Einwohner
 Natürlicher Zuwachs von 1990 bis 1999: +39 Einwohner
 Prozentuelle Zunahme der Einwohnerzahl: +1,1%
 Bevölkerungsdichte: 299 Ew/km²
 Fläche: 6,09km²

Abb. 202-205: Statistiken zur Bevölkerung in Nivolas Vermelle; Quelle: Insee (Institut National de la Statistique et des Études Économiques)



Abb. 206-209: Landschaft in Nord Isère

- _ **bauplatz**
- _ **konzept**
- _ **referenzprojekte**
- _ **zielsetzungen**
- _ **projektskizzen**
- _ **projektpräsentation**
- _ **projektüberprüfung**

1. Die Umwelt

- Erhaltung der Umwelt durch ökologischen Entwurf
- Sensibilisierung der Beziehung Gebäude - Boden

2. Die Beziehung zur Umgebung

- Sensible Intervention
- Rückbau
- Temporäre Bebauung...hinterlässt keine Spuren

3. Eine leichte Haltung

„Wenn sie in Bezug des Kontexts der Umwelt, kann Leichtigkeit in der Architektur eine doppelte Bedeutung übernehmen:

Leichtigkeit im Sinne der physischen Leichtigkeit und konzeptionelle Leichtigkeit, eine Philosophie der leichten, reversiblen Intervention, einer Art des Einfügens von Objekten oder eines Systems von Objekten mit Leichtigkeit in die Umwelt und des Verschwindenlassens wieder mit der selben Leichtigkeit, sobald ihre Präsenz überflüssig geworden ist, und alles ohne schweres Trauma für den Kontext der Umwelt.“

Aldo Capasso, *Architettura e leggerezza, il significato del peso nella costruzione*, 1998)



Abb. 210:Nomadenzelt im Antiatlas, Marokko

Die Industrialisierung und Urbanisierung unserer Welt haben dazu geführt, dass wir heute mit einer hohen CO₂-Belastung der Umwelt konfrontiert sind. Laut Prognose der Princeton University sind für die nächsten 90 Jahre mit Temperaturdifferenzen von bis zu 15°C zu rechnen. Angesichts des Klimawandels und des zu erwartenden Anstiegs des Meeresspiegels der Ozeane stellt sich ein bedrohliches Szenario dar.

Das Bauen ist der Sektor mit dem größten Rohstoff- und Energieverbrauch. Es benötigt mehr als die Hälfte aller Rohstoffe. Am Ende des Nutzungszyklus von Gebäuden erzeugt der Bausektor über 60% des gesamten Abfallvolumens. Deshalb wird sich auch in diesem Sektor eine Entwicklung zu Umweltbewusstsein, Recycling, Wiederverwendung und Rücknahmepflicht von Produkten vollziehen müssen. So wie unsere Komfort- und Flächenansprüche steigen, steigt ebenso der Ressourcen- und Energieaufwand unserer Gebäude. Gerade hier können durch bessere Ressourceneffizienz höhere Ansprüche kompensiert werden und die Umweltbelastungen gesenkt werden.

Siedlungsform

Raumgreifende Siedlungsstrukturen potenzieren den Flächenverbrauch und den Infrastrukturaufwand. Ob diese Art des Bauens, deren Grundlage preiswert verfügbare Rohstoff- und Energieressourcen sind, auf Dauer anhalten kann, ist fraglich. Flächensparnis und größere Dichte mit einer damit verbundenen besseren Infrastruktur sprechen für eine dichtere Bebauung und das Leben in der dichten Stadt.

Wohnform

Unsere Häuser und Wohnungen werden immer mehr zu isolierten, von der natürlichen Umwelt abgeriegelten Räumen. Der Mensch verbringt in unseren Breiten bereits über 90% seiner Zeit in Gebäuden. Deshalb sollten die Beziehungen des Habitats zu seinem Ort mehr thematisiert werden- insofern unsere Häuser, Dörfer und Städte am offensichtlichsten mit dem Boden und Mutter Natur in Verbindung stehen.

So scheint als Beitrag zum Umweltschutz nicht nur ein auf ökologisch nachhaltigen Prinzipien bedachter Entwurf als sinnvoll, sondern auch ein Versuch der Sensibilisierung der Gesellschaft über den Zugang der Architektur und des Städtebaus, um die Beziehung von Mensch und Natur zu überdenken.

2. Die Beziehung zur Umgebung

Eingriffe in die Natur

Unsere Bauwerke sind oft sehr schwer. Sie werden tief im Gelände verankert und ziehen die Problematik mit sich, Spuren in der Geschichte und an ihrem Bauort zu hinterlassen. Unvermeidbar wird die Umwelt durch ihre Präsenz gezeichnet.

Getreu nach dem Motto: Nichts ist umweltfreundlicher als Ungebautes, sollte der Sinn eines Neubaus oder Sanierungsprojektes auf langfristige Nutzbarkeit, Wirtschaftlichkeit, ökologische Verträglichkeit und sozial-kulturelle Relevanz überprüft werden.

Die anschaulichste Art keine permanenten Spuren zu hinterlassen, kann beim temporären Bauen beobachtet werden. Allein die Möglichkeit an sich, eine temporäre Bebauung mit geringem Aufwand entfernen und an einer anderen Ort wieder aufbauen zu können, macht einen möglichst minimalen Eingriff in die Umgebung fast zur Voraussetzung.

Temporäre Besetzung

Die temporäre Besetzung eines Gebäudes, erlaubt eine völlig andere Betrachtungsweise der Beziehung eines Bauwerks zu seiner Umwelt.

Cristina Diaz Moreno und Efrén G. Grinda schreiben dazu: „*Eine temporäre Intervention, sei sie baulich oder auch nicht, fügt sich in die Landschaft oder in ein Umfeld ein ohne Anspruch auf seinen Besitz zu nehmen, und sie zu verbrauchen.*“ (1)

Diese Art der Besetzung des Bodens oder Besiedelung ist inspiriert von der temporären Architektur der Nomaden. Ihr Zelt ist in vielen Fällen sichtbar und versucht nicht sich an die Landschaft anzupassen. Es hat eine unabhängige Existenz, abgekoppelt vom Ort wie ein äusseres Element, das für eine Zeitspanne abgestellt ohne feste Verankerung in der Landschaft steht. Mit seiner sachten, leichten und subtilen Berührung des Bodens hinterlässt es keine permanenten Spuren.

Im Artikel „*éloge de la légèreté*“ „Lobschrift zur Leichtigkeit“ nimmt Rosalba la Creta Stellung zur temporären Siedlungsform Stellung:

„*Das Zelt ist nach seinem Wesen eine vom Ort getrennte Behausung. Es ist nicht identifizierbar mit einem Ort wie es ein Haus ist, das zu einem gleichwesentlichen Element der Landschaft, eines dauerhaften Teils von ihm wird.*“ (2)

(1) „*Dans ces architectures instantanées et fugaces serait alors proposée une relation avec le paysage, construit ou non, moins violente. Elle s'insèreraient en lui, sans se l'approprier, sans le consommer, renonçant à le posséder ou à le dominer.*“ (revue Quaderns, n. 224, 2000)

(2) «*la tente est par essence même une demeure disjointe du site, non identifiable avec un site, comme l'est toujours la maison qui devient élément consubstantiel du paysage, partie durable de celui-ci.*» (Architettura e leggerezza, il significato del

Rückbau eines Gebäudes

Eine gewisse Unabhängigkeit zur Umwelt, kann sich im Konzept des Rückbaus einer Intervention ausdrücken, wodurch einem Ort ein sehr hohes Maß an Respekt entgegengebracht wird.

Cristina Diaz Moreno und Efrén G. Grinda schreiben darüber: „*Diejenige Architektur, welche zeitlich begrenzte Verhältnisse mit der Landschaft eingeht, manifestieren sich gleich einem Ereignis, einem Vorschlag der nicht bleibt und den Ort nicht hinter sich verändert wo er erzeugt wird, der keine Spuren hinterlässt.*“ (3)

Nach dieser Auffassung, beruht das Prinzip um die Präsenz einer Konstruktion zu begrenzen, nicht darauf seine Sichtbarkeit zu limitieren und die Konstruktion an die Landschaft anzupassen, sondern ein losgelöstes Element von seiner Umwelt zu errichten.

peso nella costruzione, 1998)

(3) «*Ces architectures qui établissent une relation avec le paysage limitée temporellement, se manifestent comme un événement, une proposition qui ne demeure pas et qui ne modifie pas derrière elle le lieu ou elle se produit, qui ne laisse pas de traces.*» (revue Quaderns n°224, 2000)

Konzeptionelle und physische Leichtigkeit

Eine Leichte Haltung kann sowohl durch die physische Masse einer Architektur als auch durch seine Haltung zur Umwelt ausgedrückt werden. Diskretion, Respekt, Subtilität oder eine Exzentrische Präsenz können Leichtigkeit vermitteln.

Aldo Capasso schreibt dazu: *„Wenn sie in Bezug auf den Kontext der Umwelt gesehen wird, so kann Leichtigkeit in der Architektur eine doppelte Bedeutung übernehmen: Leichtigkeit im Sinne der physischen Leichtigkeit und konzeptionelle Leichtigkeit, eine Philosophie der leichten, reversiblen Intervention, einer Art des Einfügens von Objekten oder eines Systems von Objekten mit Leichtigkeit in die Umwelt und alles mit der selben Leichtigkeit wieder verschwinden zu lassen, sobald seine Präsenz überflüssig geworden ist und alles ohne schwerem Trauma der Umwelt.“* (1)

Leichtigkeit als Konzept reicht über die Wahl von leichten Materialien hinaus. Sie kann als eine Philosophie verstanden werden, die den Berührungspunkt von Konstruktion und Umwelt thematisiert wie zum Beispiel die temporäre Mikro-Architektur. In ihr werden auf die Frage der Beziehung des Menschen zu seinem Lebensraum und ebenso diejenige nach der Beziehung der Konstruktion zu seiner Umwelt über experimentelle Zugänge wie mobiles Wohnen, leichtes, temporäres oder transportables Wohnen Antworten gesucht.

(1) *„Quand elle est vue en référence au contexte environnemental, la légèreté en architecture peut assumer une double signification: légèreté au sens physique (...) et légèreté conceptuelle (...), une philosophie d'intervention légère, réversible, une façon d'insérer avec facilité des objets ou systèmes d'objets dans l'environnement et de les faire disparaître tout aussi facilement une fois leur présence devenue superflue, le tout sans gros traumatismes pour le contexte environnemental“* (Architettura e leggerezza, il significato del peso nella costruzione, 1998)

- _ bauplatz
- _ konzept
- _ referenzprojekte
- _ zielsetzungen
- _ projektskizzen
- _ projektpräsentation
- _ projektüberprüfung

Respekt zur Umwelt „Impact minimum sur l'environnement“

97

Konzept

Ein kleines leichtes Gebäude inmitten eines Waldes wurde konzipiert, mit dem Ziel den Ort möglichst unberührt zu lassen. Die Bäume wurden ins Konzept integriert

Das Klimakonzept sollte so natürlich wie möglich sein.

Raumprogramm

Zwei Volumen bilden das Gebäude: der erste beinhaltet die Servicebereiche mit Küche, Bad und Sanitäreinheit, der zweite größere bildet den Wohnraum mit den Tätigkeitsbereichen Schlafen, Essen und Arbeiten.

Technische Lösungen

Um den Waldboden zu schützen wurde der eine leichte, transluzente Kubus auf drei Betonbalken gestellt. Wände aus Polykarbonat lassen das Licht gebrochen eindringen. Tragstruktur, Parkett und Terrasse sind aus lokalem, resistantem Holz gebaut.

Ein massiver Serviceblock, aus Beton und Ziegeln erbaut, stellt das Gegengewicht zu den leichten Kuben dar.



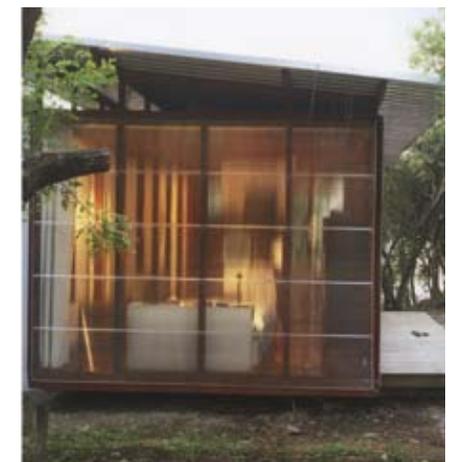
Pavillon d'Alessandro, Sao Paulo, Brasilien, 1998
Architekten: Vinicius Andrade u. Marcelo Morettin

Thermischer Komfort

Im Westen des Pavillons befindet sich der massive Block, der Wohn- und Schlafraum von der tief stehenden Sonne schützt. Das einfach geneigte thermoakustische Blechdach ist deutlich vom Volumen abgehoben und erhält die formelle Integrität des Pavillons und begünstigt die natürliche Belüftung. Der Schatten durch das dichte Laub der Bäume ergänzt die passive bioklimatischen Maßnahmen und leistet einen Beitrag zum Komfort der Bewohner während der warmen Jahreszeit.

Materialwahl

Die Auswahl der Materialien wurde bis ins Detail verfolgt. Holz aus lokalen Vorkommnissen wurde für die Tragkonstruktion und Verkleidungen verwendet und wegen ihrer natürlichen Nachhaltigkeit bevorzugt eingesetzt. Tragstruktur und Parkettböden sind aus Jatoba-Holz, die Terrasse aus Ipé.



Konzept

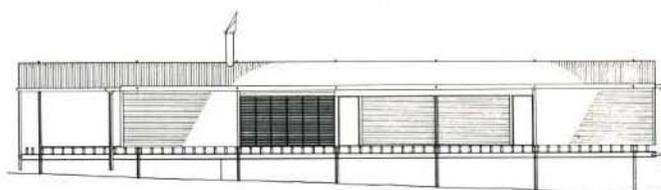
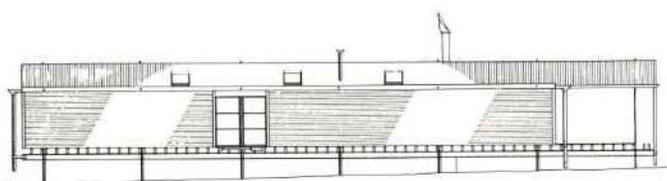
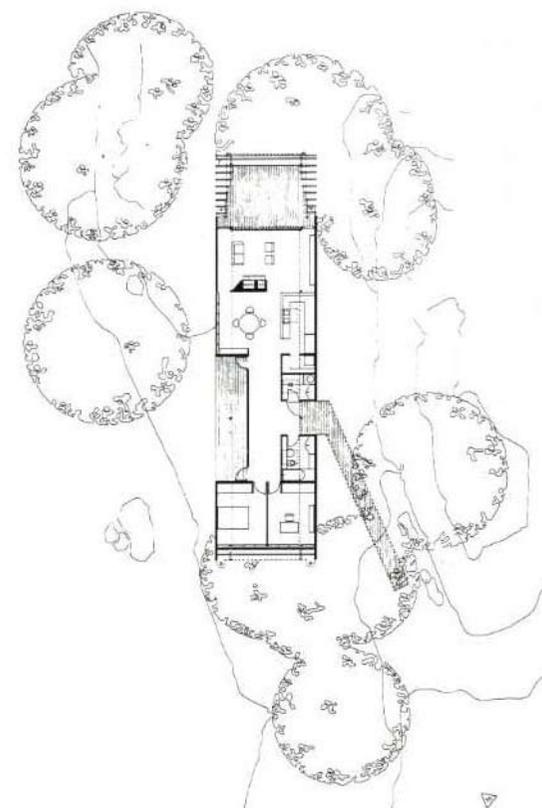
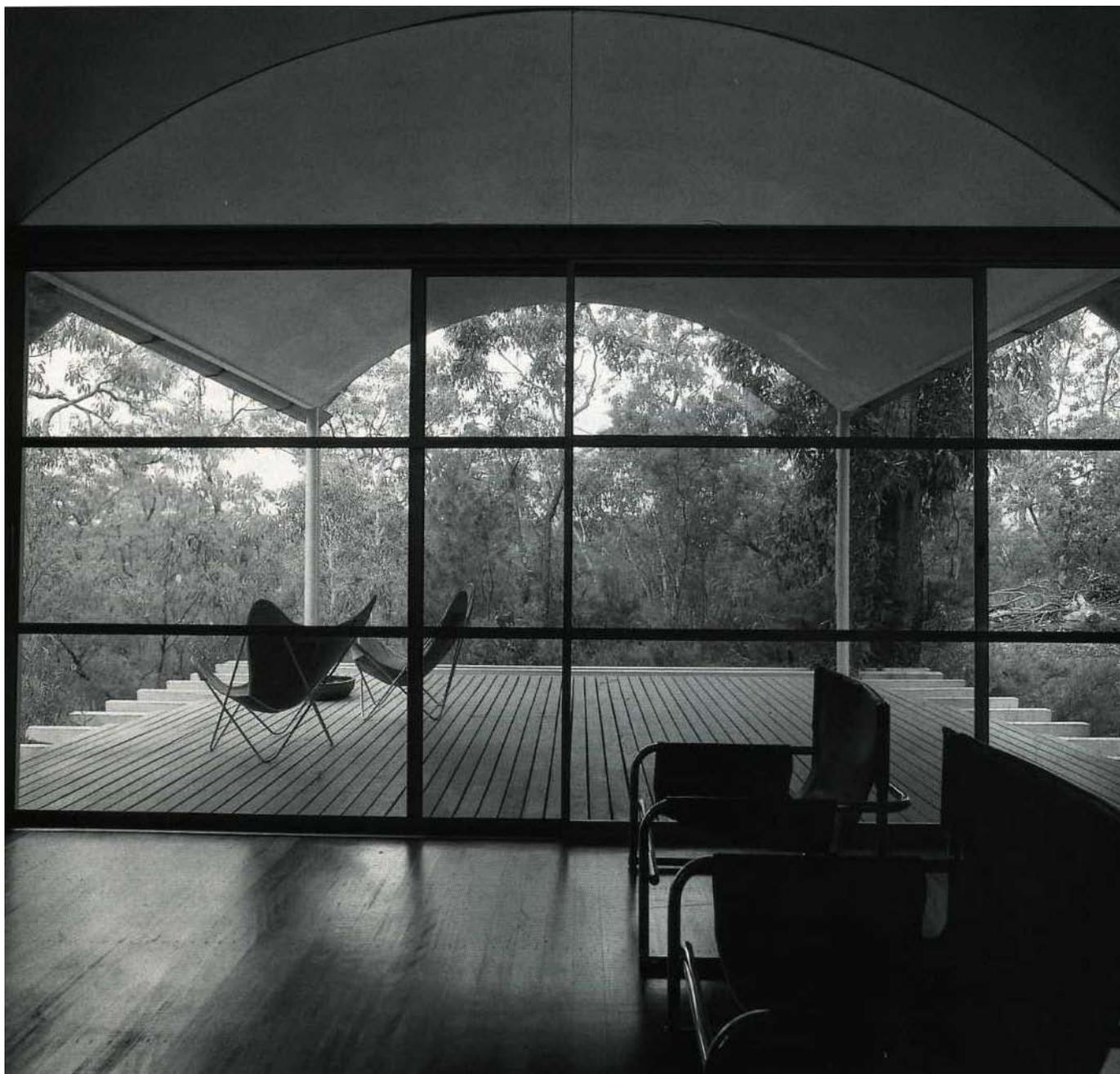
Ein länglicher Pavillon erscheint zwischen Bäumen des australischen Urwalds, einem 10 Hektar großem Grundstück. Es handelt sich um eine leichte Konstruktion aus einem Stahlskelett und Metallverkleidungen. Die industriellen landwirtschaftlichen und lokalen Konstruktionen dienen als Vorbild für einfache, effektive, inventionelle und adäquate Lösungen für die lokalen Verhältnisse.

Raumprogramm

Ein Langschiff beherbergt die einfache und klare lineare Struktur. Entlang der Längsachse befinden sich die öffentlichen Räume im äußersten Ende und die privaten Räume im gegenüberliegenden Ende. Die Erschließung erfolgt in der Mitte. Die zwei Fassaden an der Querseite unterscheiden sich ihrer Orientierung entsprechend. Die Südfassade hat einen sehr verschlossenen Eindruck, um sich gegen die direkte Sonnenstrahlung zu schützen während die Nordseite verglast ist. Sie erstreckt sich über eine halb bedeckte Terrasse, die Übergangsraum zwischen Aufenthaltsraum und der Landschaft bildet.



Haus für zwei Künstler, Sydney, Australien 1980-1983; Architekt: Glenn Murcutt



Quellen: Casas Refugio = private retreats, Gili Galfetti Gustau, Ed. G Gili, Barcelona, 1995
Fotos aus den Quellen

Einschreibung in die Umgebung Respekt zum Standort

101

Konzept

Das Gebäude wurde für eine unbebaute Landschaft konzipiert mit dem Ziel zu Bauen ohne den Ort und seine Beschaffenheit zu zerstören. Die Dichte des Waldes wurde erhalten und das Bodenrelief unberührt belassen.

Konstruktion

Das auf Stützen erbaute Gebäude läßt die Natur durch sich hindurchfließen und adaptiert sich an seine Beschaffenheit. Das Metaldach, die Wände aus Wellblech und die offene Fassade geben ihm einen leichten Charakter. Durch den Gebrauch einer modernen Formensprache und neuer Materialien erfährt das Gebäude eine gewisse Distanz zur Umgebung und drängt sich ihr nicht auf.



Maison au Cap Ferret, Aquitanien, Frankreich, 1998
Architekten: Anne Lacaton, Philippe Vassal



„Dieses Gebäude ist einzigartig in seiner Art, denn es ist mit einzigartigem Respekt zu seinem Standort erbaut. Es lässt die Oberfläche der Düne unverehrt und vor allem alle Bäume und Pflanzen die in seinem Einfluss stehen.“(1)

„Das bemerkenswerte an der maison du Cap ferret, ist ihre Leichtigkeit (...). Sie ist ein optimiertes Gebäude, das mit Technologie (das Metaldach, die Wände aus Wellblech) und moderner Formensprache (primäres Volumen, Pilotis, Flachdach, rießige Verglasung) den Ort, die Bäume (eine Pinie) und die Aussicht (auf der Dünde von Pilat) zur Geltung bringt ohne etwas zu entfernen, ohne etwas zu zerstören, ohne jeglichen Anspruch zu erheben und ohne jegliche Kustgriffe anwenden zu müssen.“(2)



(1)“Cette maison est unique en son genre car elle est construite dans un respect absolu de son site, qu'elle laisse intact le profil de la dune et surtout tous les arbres et les végétaux situés sous son emprise.“
Anne Laure Egg, revue Architecture intérieure Créé n 287

(2)“Ce qu'a de remarquable la maison du Cap ferret, c'est sa légèreté (...) c'est une maison optimisée ou la technologie (les micropeux, la charpente métallique, les parois en tôle ondulée) et le vocabulaire moderne (volume primaire, pilotis, toit plat, immense baies vitrées) mettent en valeur un site, des arbres (une pinède) et une vue (sur la dune du Pilat)sans rien enlever, sans rien détruire et sans aucune prétention ni aucun artifice.“
Patrice Goulet, revue Quaderns n 224, 2000



Lokale Technik, Lokale Materialien

103

Konzept

Die traditionellen lokalen Handwerks-Techniken werden adaptiert und in eine zeitgenössische Architektur umgesetzt. Genutzt werden natürliche und kostengünstige Materialien, die lokal zur freien Verfügung stehen: Erde, Stroh, Kalk, Wasser und die Arbeitskraft der Leute um zu bauen.

Programm

Ein zukunftsorientiertes, umweltbewusstes Konzept wird impliziert, d.h. ein minimaler Energieverbrauch angestrebt (Regenwassernutzung, Sonnenenergie..).

Technische Lösungen

Punktfundamente aus Beton

Haupttragstruktur aus Holz

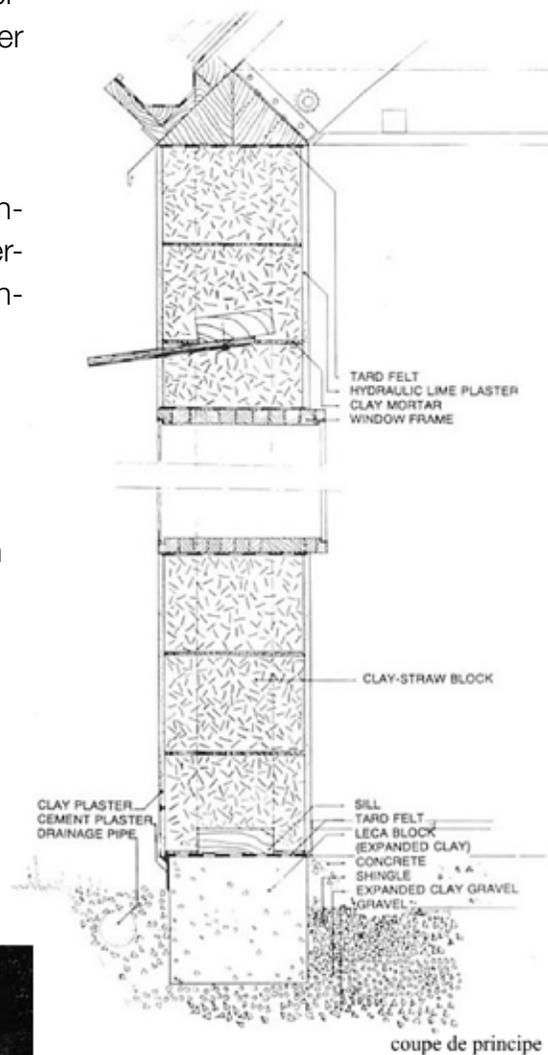
Ausfachung mit Ziegeln aus Erd-Stroh-Gemisch

Außenputz aus Erde

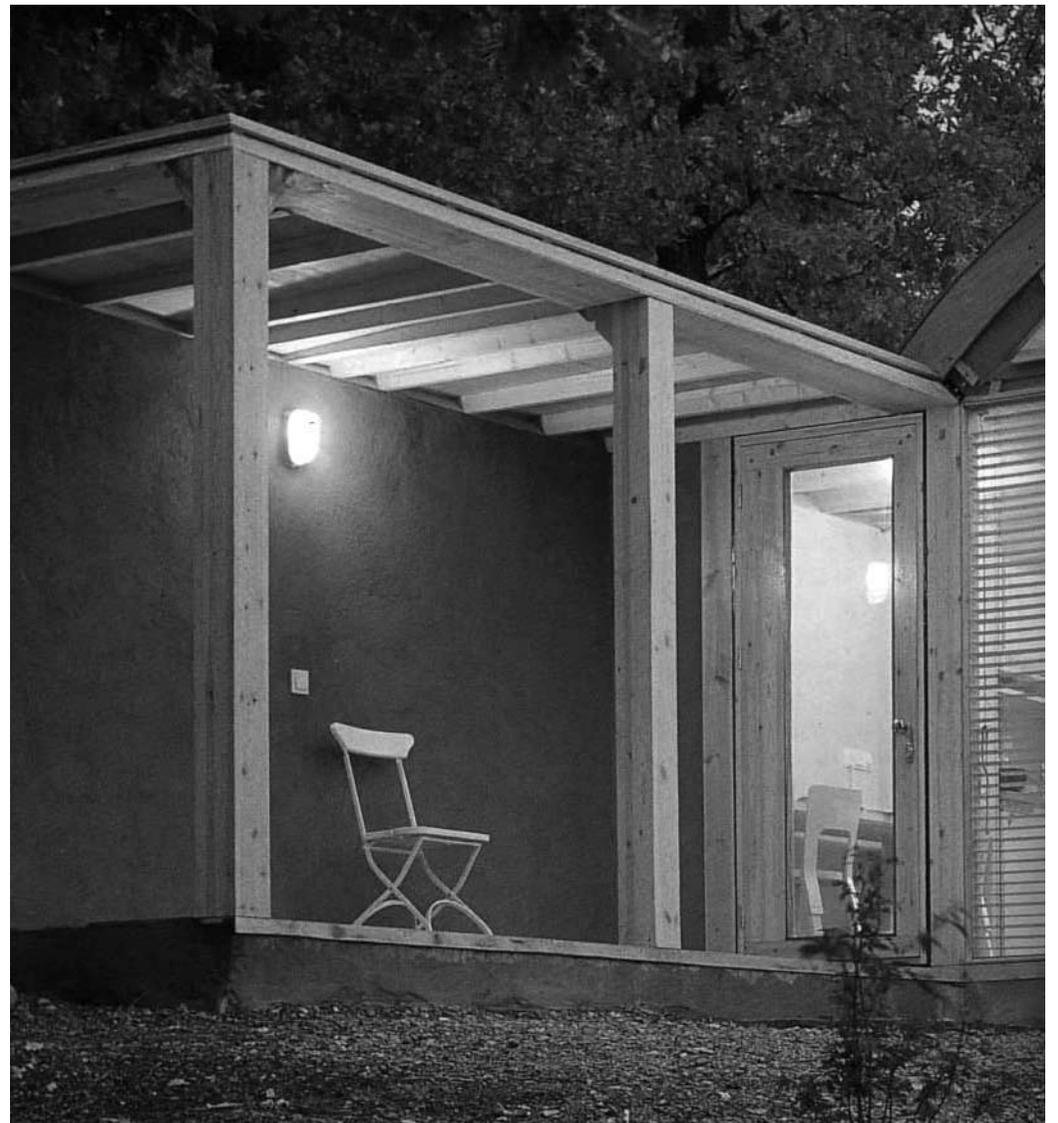
Innenputz aus Kalkmörtel

Dauer der Bauarbeiten

Acht Wochen, erbaut von Architekturstudenten.



Prototyp in Schweden, 1992
Architekt: Sverre Fehn



Ökologische Materialien Kontrast von Leicht - Schwer

105

Konzept

Der Architekt bedient sich der traditionellen Bautechnik des Pisé und adaptiert sie an eine zeitgenössische Architektur. Ebenso ist die Wahl dieses Materials aus thermischen und optischen Gründen gewählt.

Ein Gebäude soll auf einer schmalen Parzelle eingefügt werden. Ein ansprechendes Konzept soll für die trockene Region und dem wenig ansprechendem Bezirk ausgearbeitet werden.

Raumprogramm

Arbeitsbereich, eine kleine Küche, Nasszelle und ein Innenhof.

Technische Lösungen

Die Außenwände sind aus 1,2 m dickem Stampflehm gefertigt, der mit 3% Zement verfestigt wurde.

Die Eingangstür ist aus Holz, deren Metallrahmen in die Piséwände eingelassen ist. Eine Glaswand trennt den Arbeitsraum vom Innenhof. Sie ist an einem längslaufenden Metallbalken abgehängt.

Das Dach ist aus einer Stahlstruktur gefertigt, auf der eine nach innen geneigte Dachfläche liegt, um das Regenwasser zu sammeln.

Die Decke im Arbeitsraum ist aus Stahl. Sie vermittelt Kühle und dient überdies als Installationsebene.





Quellen: Architectural Review n°1246, 2000
Fotos aus Quellen

Modulare Erweiterbarkeit „Une maison extensible“

107

Konzept

Das Gebäude, am Dorfrand in ländlicher Umgebung gelegen, ist von Konzept des landwirtschaftlichen Hangars inspiriert. Um die Idee eines vergrößerungsfähigen Hauses umzusetzen, wurde eine große Hülle geschaffen, unter der Wohnmodule nebeneinander gereiht werden können. Dieser konstruktive Prozess erlaubt einen großen Entwicklungsspielraum und die Vorfertigung der Elemente im Werk.

Die Auswirkungen auf die Umwelt wurden auf ein Minimum reduziert: Trockene Baustelle, Geothermische Heizung, Passive Sonnenenergienutzung, Leichtigkeit der Struktur, Verzicht auf exotische Hölzer, Regenwassernutzung.

Raumprogramm

Das Gebäude ist auf zwei Ebenen ausgelegt. Die Ecken Süd-West und Süd-Ost sind weit geöffnet und bieten weiten Ausblick ins Tal. Freier Grundriss im Innenraum, der von der Tragstruktur unberührt bleibt.



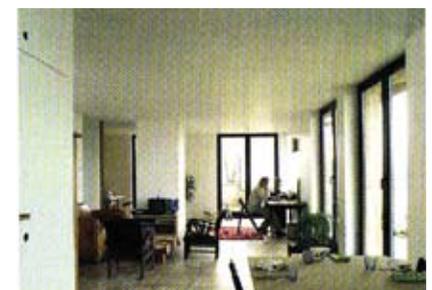
Maison extensible, Pays Voironnais, Frankreich, 2000
Architekten: Tectoniques

Technische Lösungen

Die Hülle aus Holzplatten ist hinter einer tragenden Struktur. Das Holzskelett besteht aus einer Serie von Stützen, die in regelmäßigen Abständen gesetzt sind. Die Aussteifung erfolgt durch Platten und Zugseilen. Die sichtbare Tragstruktur lässt die Möglichkeit der Erweiterung des Gebäudes erahnen.

Dauer des Baues

Der gesamte Bau dauerte drei Monate, die Montage wurde in 6 Wochen von einem 4-köpfigen Team durchgeführt.



Quelle: Exposition "Portraits d'architectures : au fil du bois". Grenoble 2006
Fotos aus Quelle

Vergängliche Bebauung Flexibilität

109

Konzept

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine temporäre Installation. Dadurch dass das Gebäude räumlich beinahe beliebig umfunktioniert werden kann und es relativ unabhängig vom Bestimmungsort installiert werden kann, wird ihm eine kurzlebige Besetzung der – bebauten oder unbebauten – Landschaft ermöglicht.

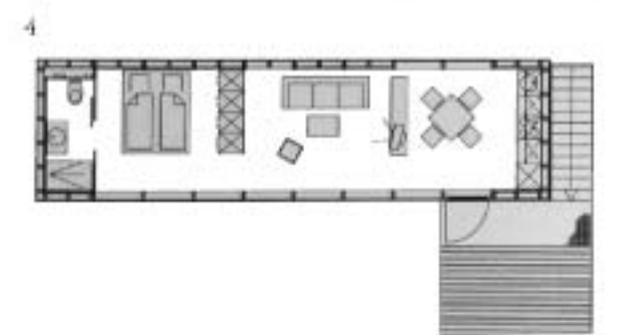
Mobilität

Die Montagezeit des Einfamilienhauses beträgt fünf Stunden. Die 12,5 Meter lange und 3,5 Meter breite Box wird als Fertighaus mit einem LKW geliefert. Sanitärbereich und Heizung sind bei der Anlieferung bereits installiert.

Teilweise Einschreibung

Das Fertighaus wird auf Stützen gestellt. Der leichte Kontakt mit dem Boden und die leichte Verankerung machen die Möglichkeit des Rückbaus augenscheinlich. Unterhalb des Gebäudes entstehen zusätzlich geschützte Freibereiche, die z.B. als Parkstellplatz dienen können.

Das Gebäude vermittelt einen von seinem Kontext unabhängigen Eindruck und strahlt eine gewisse Ungebundenheit aus.



Flexibilität

Das Innere der Wohnung (43m²) kann verändert werden. Trennwände können eingezogen werden und die Holzoberflächen gestaltet werden. Das Gebäude ist nicht als Haus konzipiert, das sich gezielt an eine Umgebung anpassen soll. Es ist multifunktional als Atelier, Werkstätte, Wohnhaus oder Büro einsetzbar und hat die Eigenschaften transformierbar, erweiterbar und schnell montierbar zu sein.



Quellen: Quaderns „Eclat :temps fugace, temps précaire“ n. 224, 2000;
 Nicolas Pople, Petites Maison, Éd. Seuil, Paris, 2003; www.jkarch.at;
 Fotos aus Quellen

Reversibilität und Leichter Kontakt der Mikroarchitektur

111

Konzept

Die Mikroarchitektur versucht Objekte vom Boden abzuheben und ihnen keinen festen Platz mehr zuzuweisen. Sie sucht nach neuen Typologien, die versucht mit wenig Mitteln viel zu erreichen, das Gewicht zu minimieren und den Geist inspiriert von Mobilität, Bionik und Mikroelektronik zu öffnen.

Mikroarchitektur verlangt neben Licht und Leichtigkeit, nach neuen Erfahrungen und einer besseren und engeren Verbindung zur Natur. Ein Ziel ist dabei Material und Energie zu minimieren und Transport und Wohnen zu verbinden.

Material

Durch die Reduzierung der Dimension einer Struktur, wird automatisch auch die Menge des Materials reduziert und die Energie begrenzt, die für seine Herstellung und seinen Transport benötigt wird. Je kleiner ein Raum, desto geringer ist die Energie, die zum Heizen und Kühlen des Innenraums aufzuwenden ist.

Natur

Ein kleineres Gebäudevolumen reduziert die menschliche Präsenz in der Natur, wodurch unser Naturerlebnis gesteigert wird. Außerdem erlaubt ein kleines Gebäudevolumen ein stärkeres Fließen der Natur zwischen den Gebäuden und um sie herum.

„Berühre die Erde sanft“ ist ein Leitsatz der Mikroarchitektur. Er drückt den Wunsch aus, die Masse zu reduzieren, dabei Volumen und Energie einzusparen und die Natur und ihre Ressourcen zu schonen.



Micro architectures, 1996-1998
Architekten: Richard Horden

Funktion

Die leichten Konstruktionen sind für Freizeitaktivitäten unter freiem Himmel entwickelt. Hohlprofile aus Aluminium bilden eine Konstruktion, welche keine Fundamente benötigt. Die Konstruktionen sind transportierbar, manchmal abmontierbar und es ist oft sogar möglich sie auf dem Rücken zu den unzugänglichsten Orten hinzutragen. Das Dach ist meist dem Zelt nachinspiert, die Befestigungen dem Wassersport.

Die Prototypen dienen dazu, die Konzepte leichter Architektur zu entwickeln und auf die Probe zu stellen. Sie erlauben Erfahrungen in der Natur zu sammeln ohne sie dauerhaft zu verletzen.

Quellen:

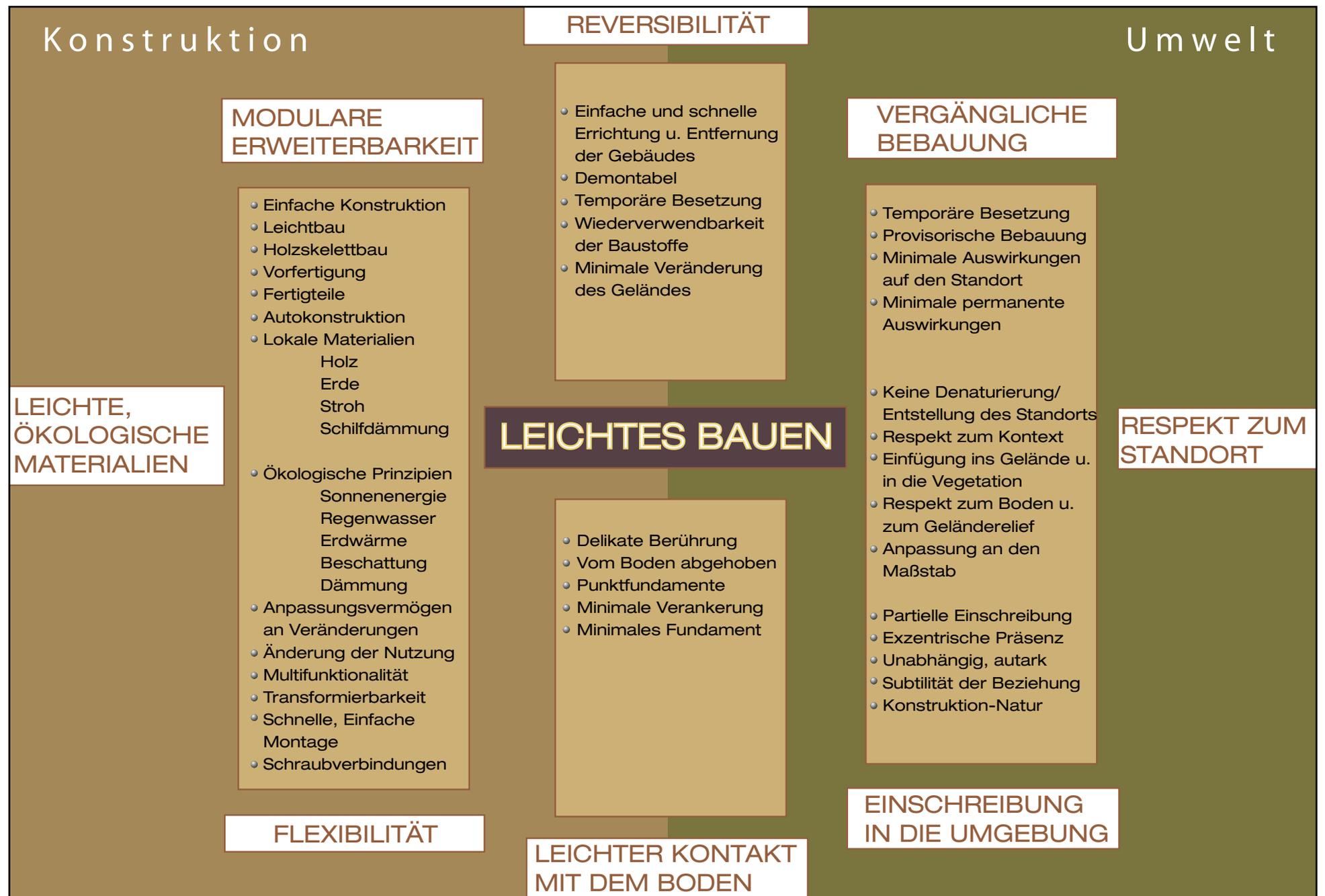
Detail 2004, Mikroarchitektur;
Richard Horden, architecture and teaching. Buildings, Projects, Birkhäuserverlag, Basel-Berlin-Boston, 1999
Fotos aus Quellen

Flexible Forschungsstation Ikos
Architekten: Gilles Ebersolt, Paris



- _ bauplatz
- _ konzept
- _ referenzprojekte
- _ **zielsetzungen**
- _ projektskizzen
- _ projektpräsentation
- _ projektüberprüfung

Zielsetzungen



1. Umwelt

Das Projekt soll sowohl Achtsamkeit und Respekt zur Umwelt aufbringen als auch ökologisch nachhaltig umgesetzt werden.

Dies soll erreicht werden, indem lokale Materialien und Bauweisen eingesetzt werden, die den örtlichen Ressourcen und dem Know-how der Region entsprechen.

2. Umgebung

Das Potential des Bauplatzes soll so gut als möglich genutzt werden und ein sensibler Eingriff in die Landschaft verfolgt werden.

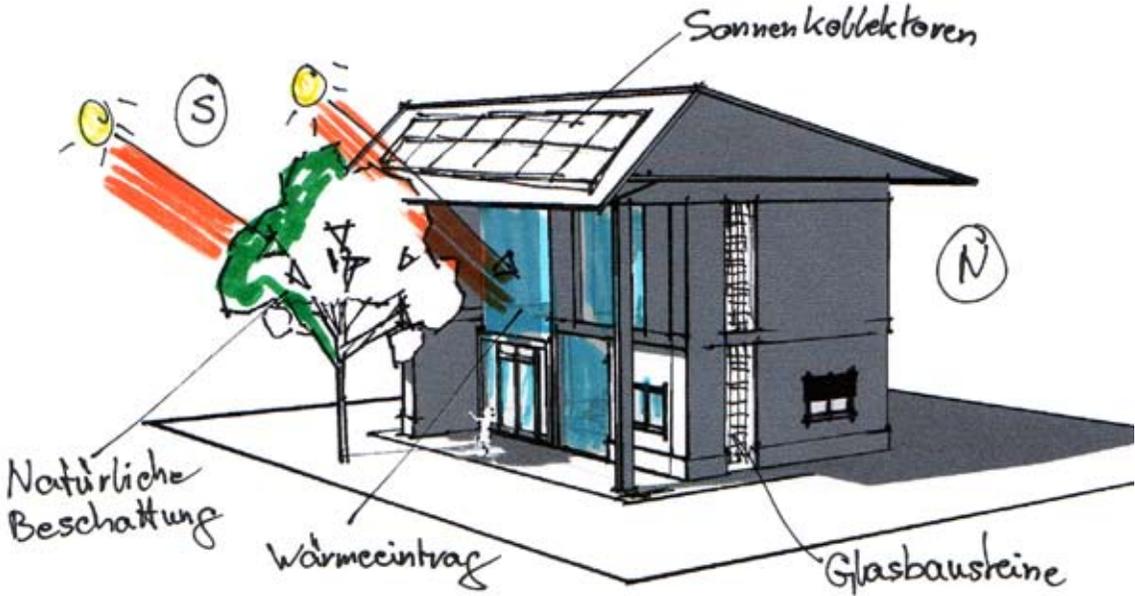
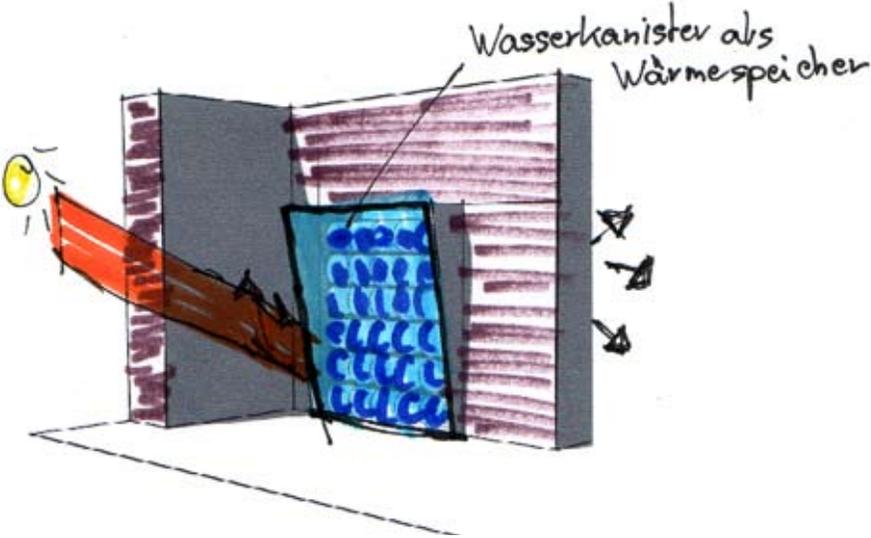
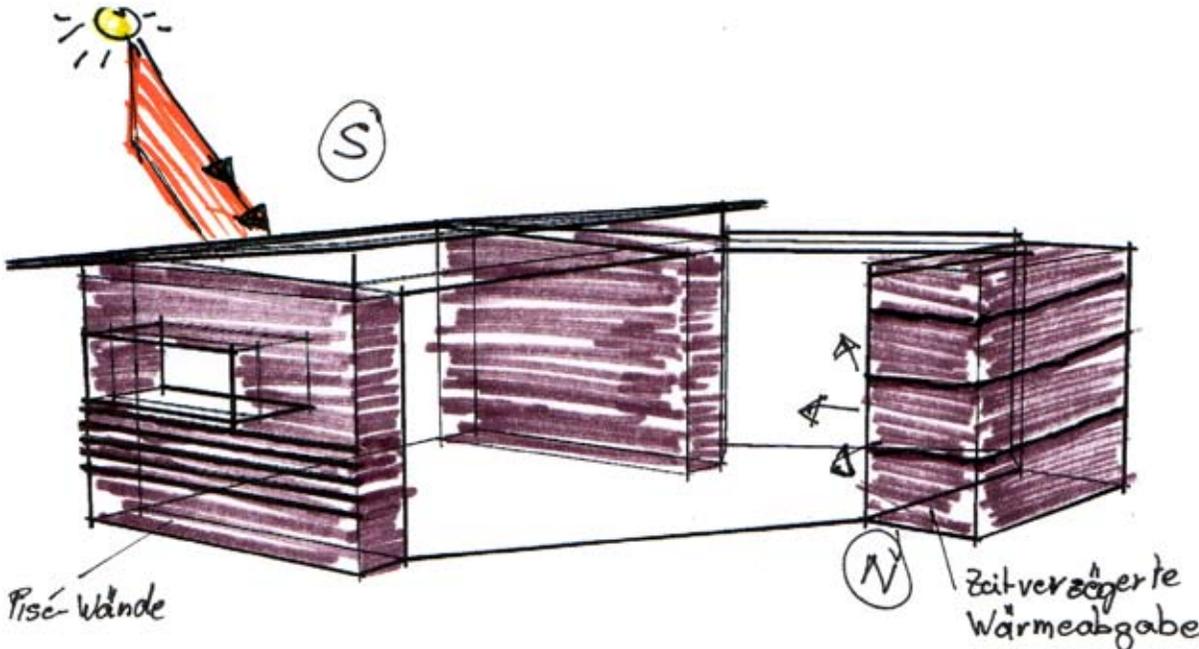
Ein einfacher Rückbau des Gebäudes mit einem hohen Ausmaß an wieder verwendbaren Materialien soll angestrebt werden.

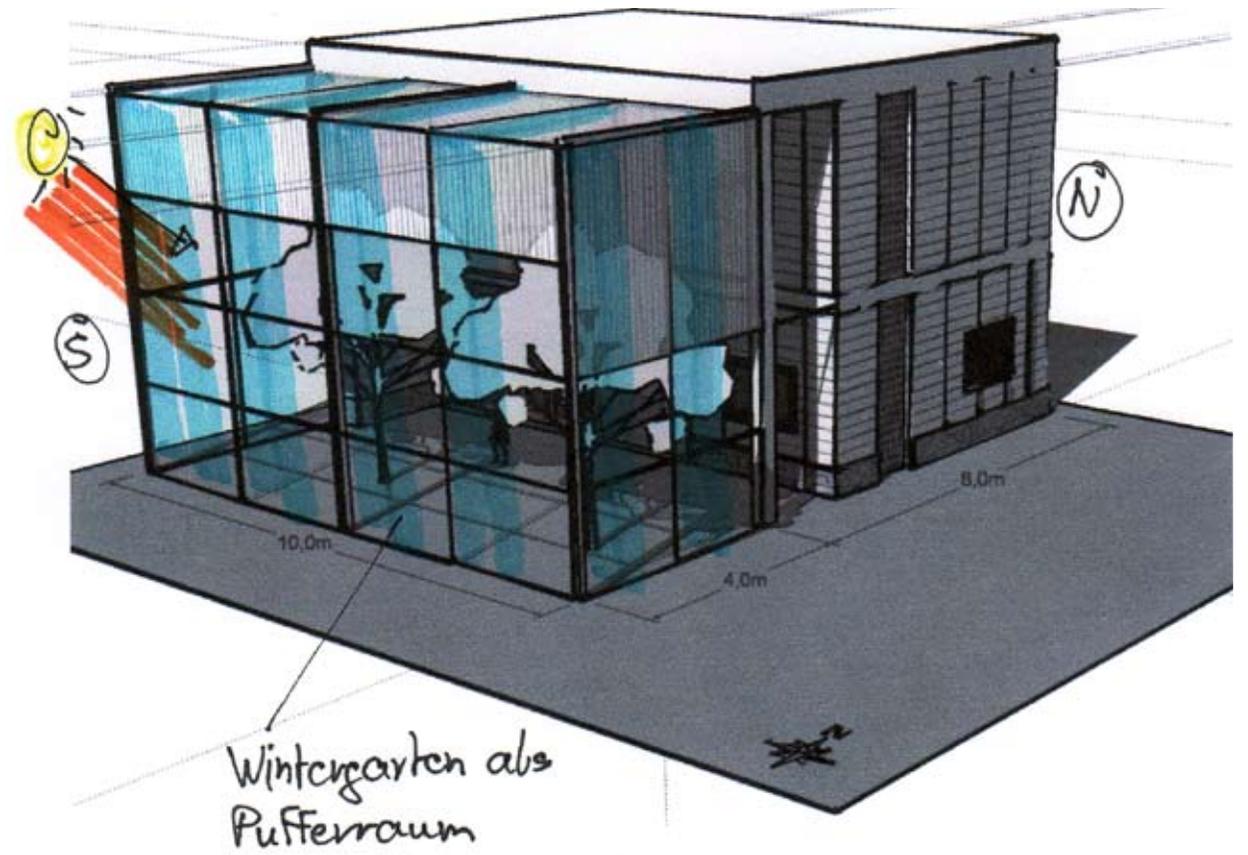
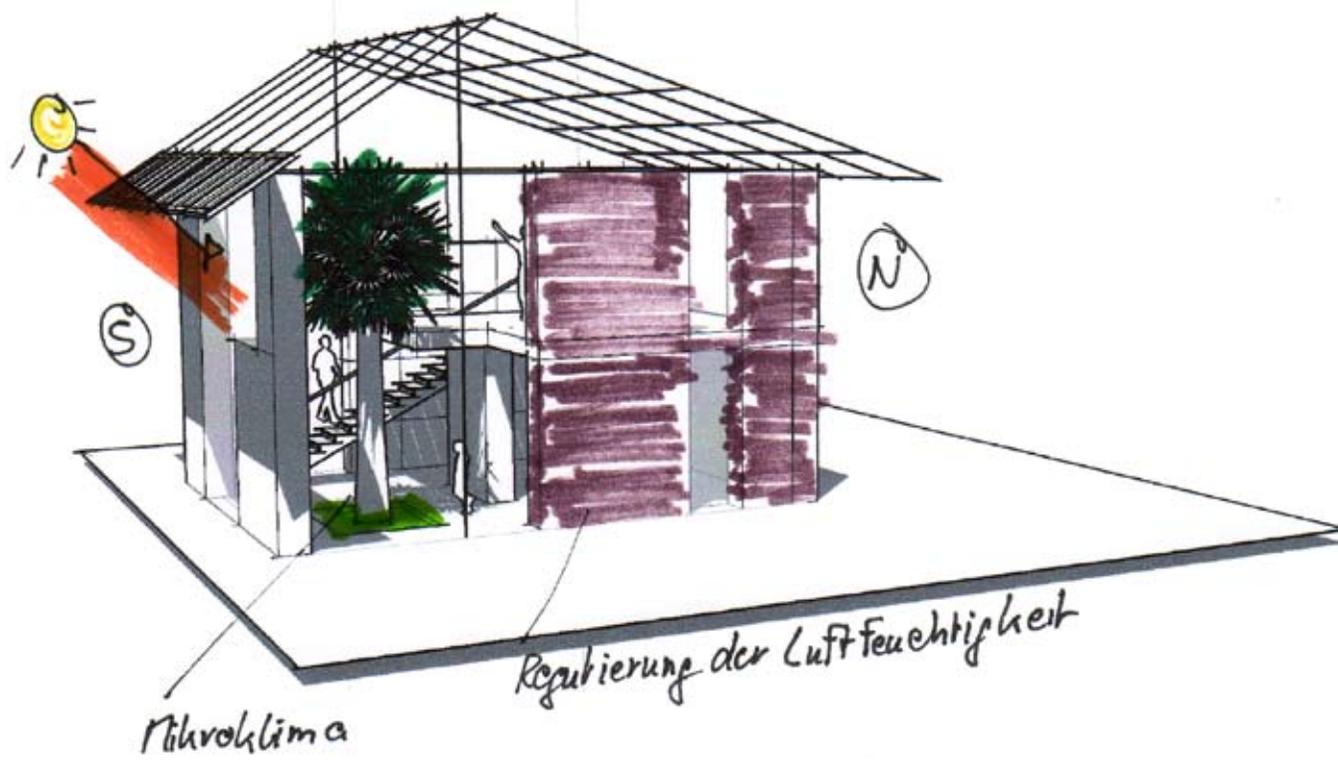
3. Leichte Haltung

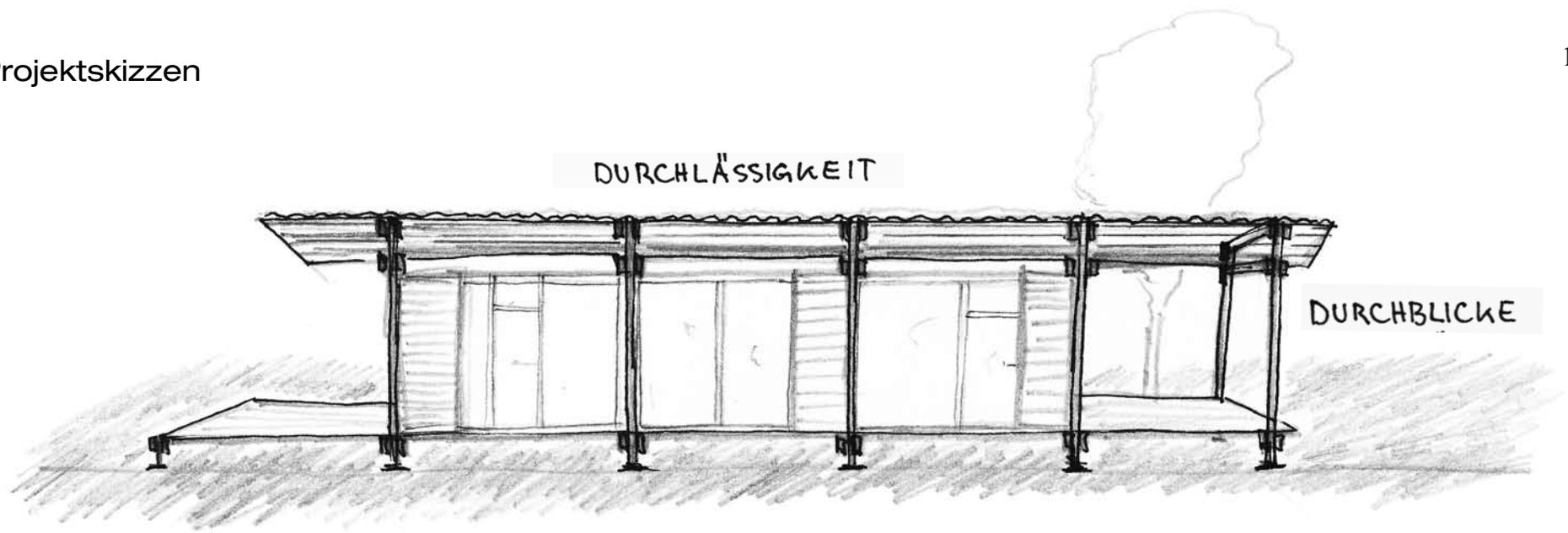
Eine einfache Konstruktion mit teilweise vorgefertigten Bauteilen soll zum Einsatz kommen, welche auch für den Selbstbau geeignet sein soll.

Die Konstruktion soll mit einem Raumprogramm vereinbar sein, das hohe Wohnqualität mit Ästhetik vereint. Funktionale Anforderungen sollen erfüllt werden und durch eine gewisse Flexibilität und Erweiterungsmöglichkeit entwicklungsfähig sein

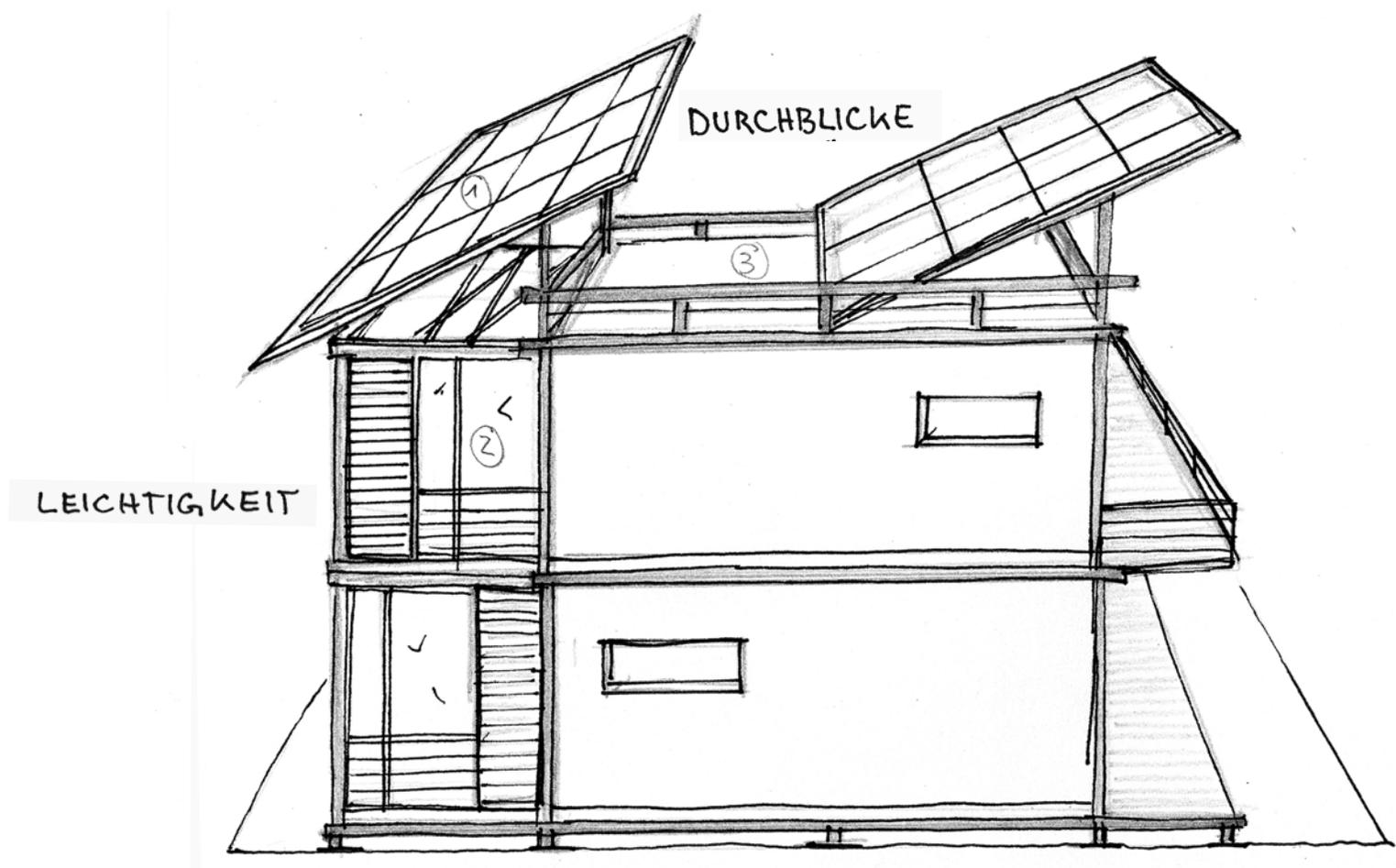
- _ bauplatz
- _ konzept
- _ referenzprojekte
- _ zielsetzungen
- _ projektskizzen
- _ projektpräsentation
- _ projektüberprüfung

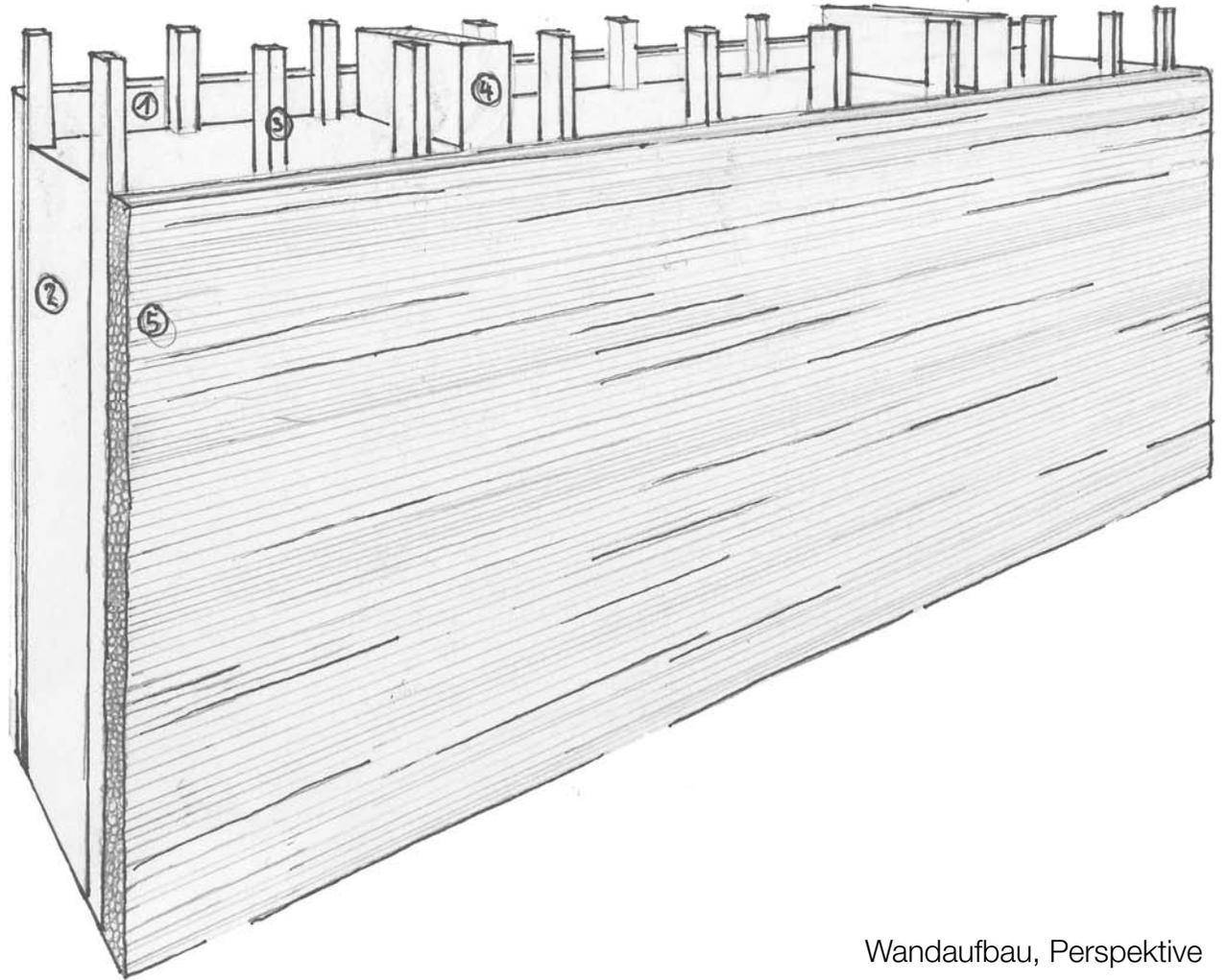






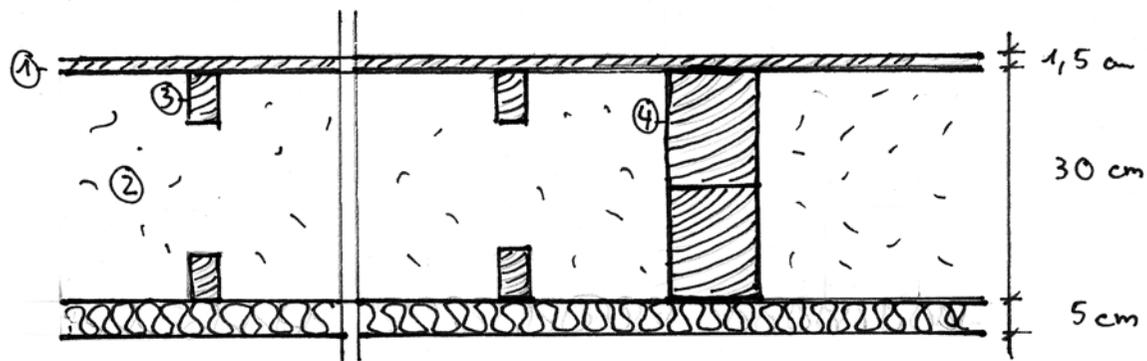
LEICHTIGKEIT





- ① OSB-PLATTE
- ② HOLZLEICHTLEHM
- ③ VERLATTUNG
- ④ PRIMÄRTRAGWERK
- ⑤ SCHLFDÄMMPLATTE

Wandaufbau, Perspektive



Wandaufbau, Grundriss

- _ bauplatz
- _ konzept
- _ referenzprojekte
- _ zielsetzungen
- _ projektskizzen
- _ **projektpräsentation**
- _ projektüberprüfung

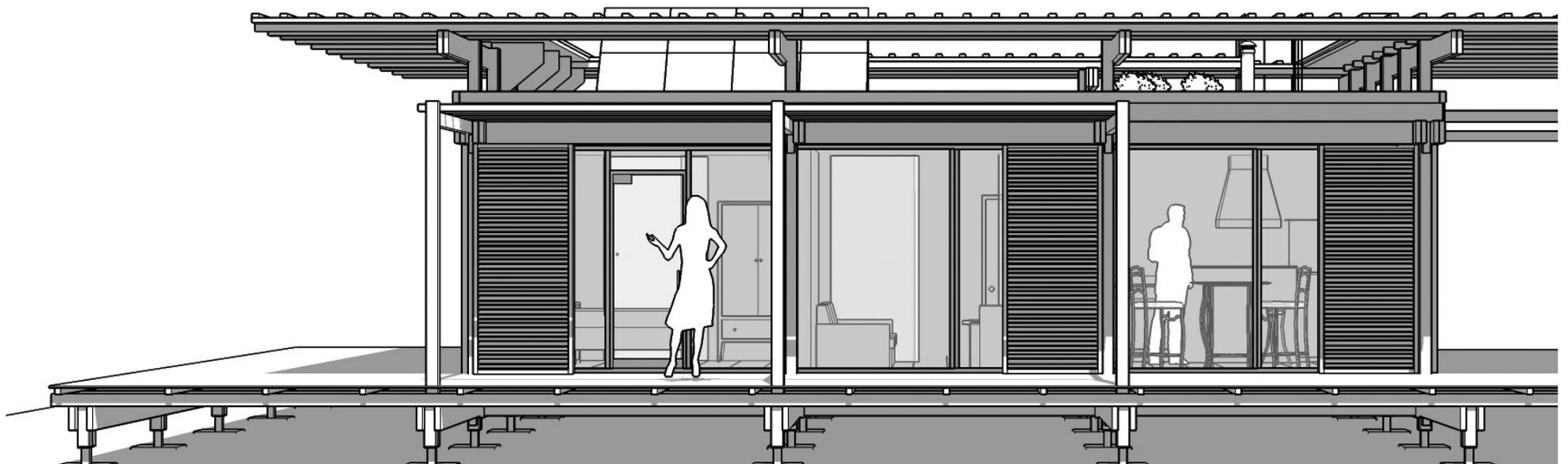
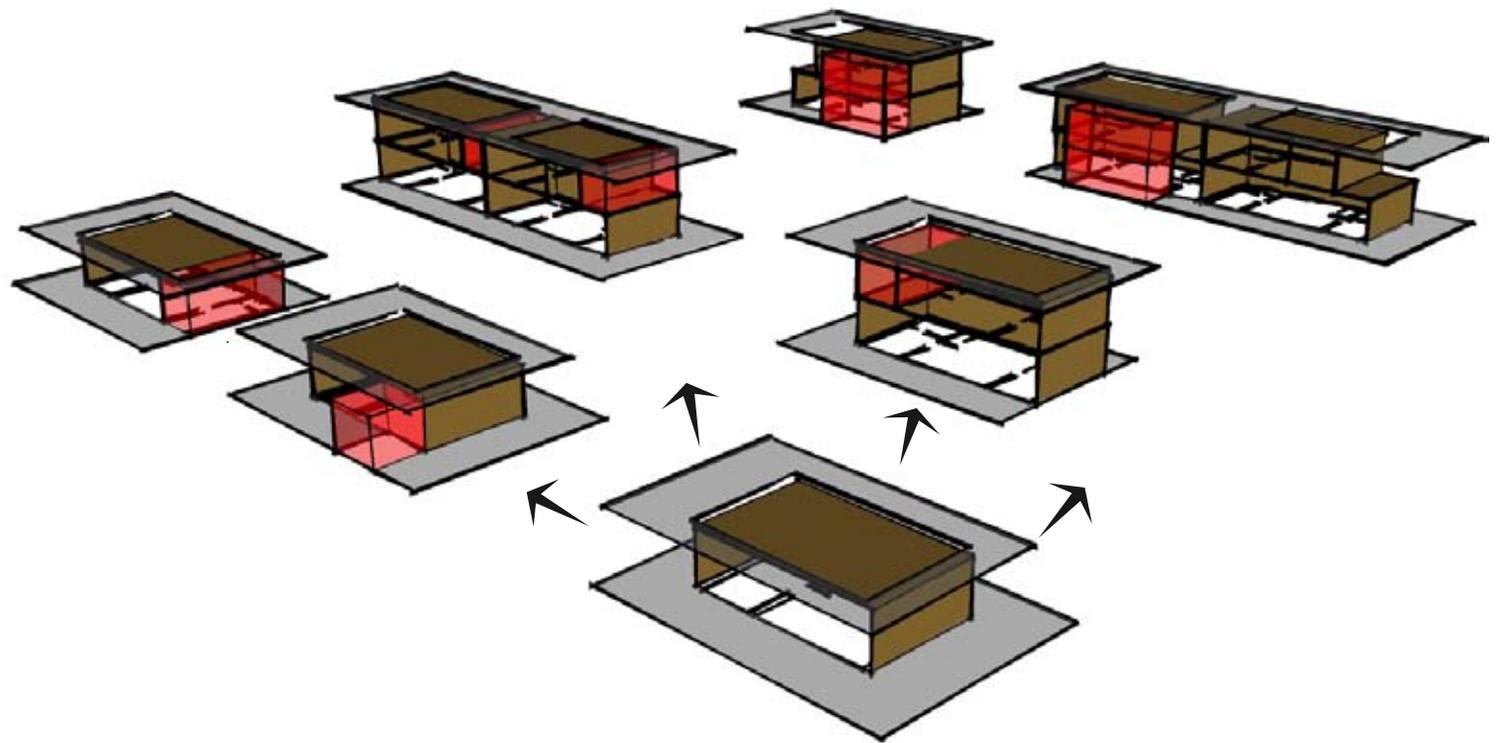


Ausgehend von einem Grundmodul in Form einer Minimaleinheit können verschiedene Konfigurations- und Erweiterungsmöglichkeiten angeboten werden:

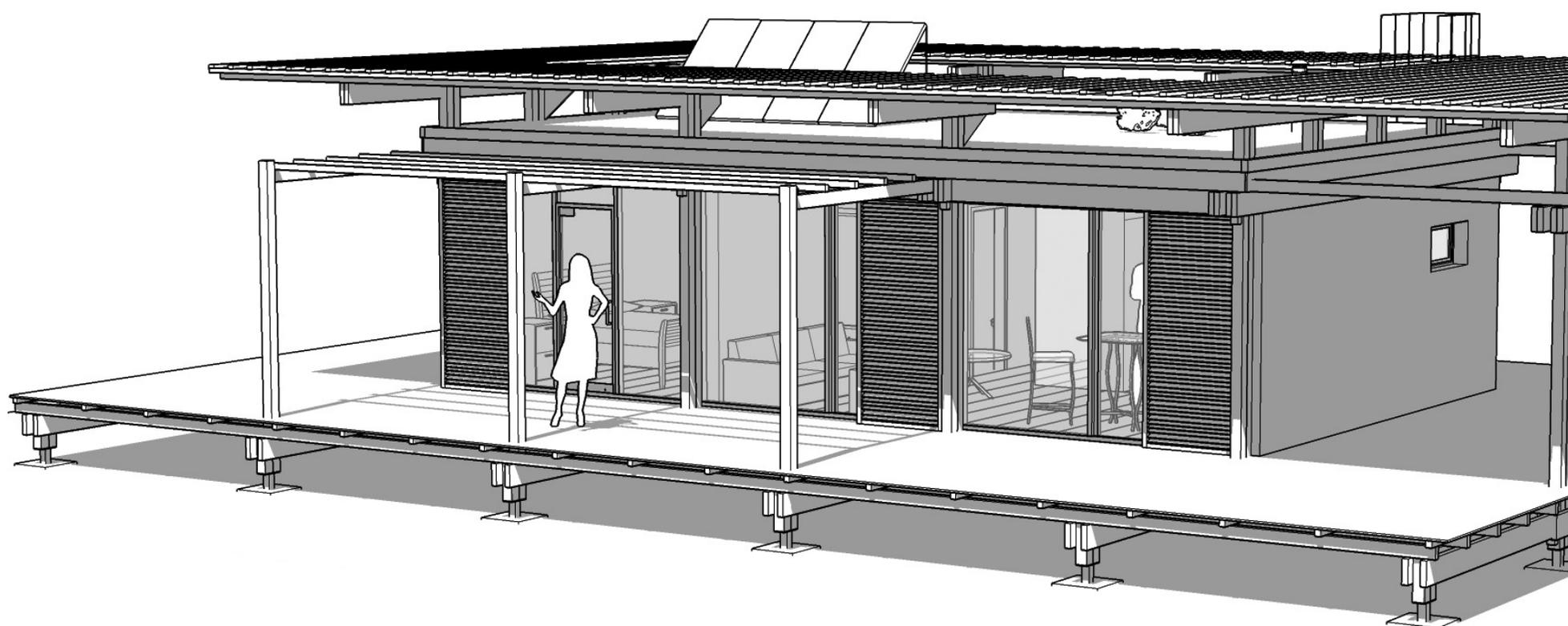
Die Grundversion ist eingeschossig. Sie erlaubt eine Erweiterung als Ausbau in Westrichtung und eine Erweiterung in Form eines Wintergartens in Südrichtung.

Eine zweigeschossige Version bietet Erweiterungsmöglichkeiten in östlicher Richtung und an der Forderseite des Gebäudes als Wintergarten.

Eine dritte Version als Kopplung der zweigeschossigen Einheit erlaubt ebenso die selben Ausbaumöglichkeiten.



maison légère 1



Maison légère 1

Wohnung für einen
Ein- bis Zwei-Personen-Haushalt
Grundheit: 60 m²
Erweiterung lateral: + 19m²
Erweiterung Wintergarten: + 22m²



Schnitt A



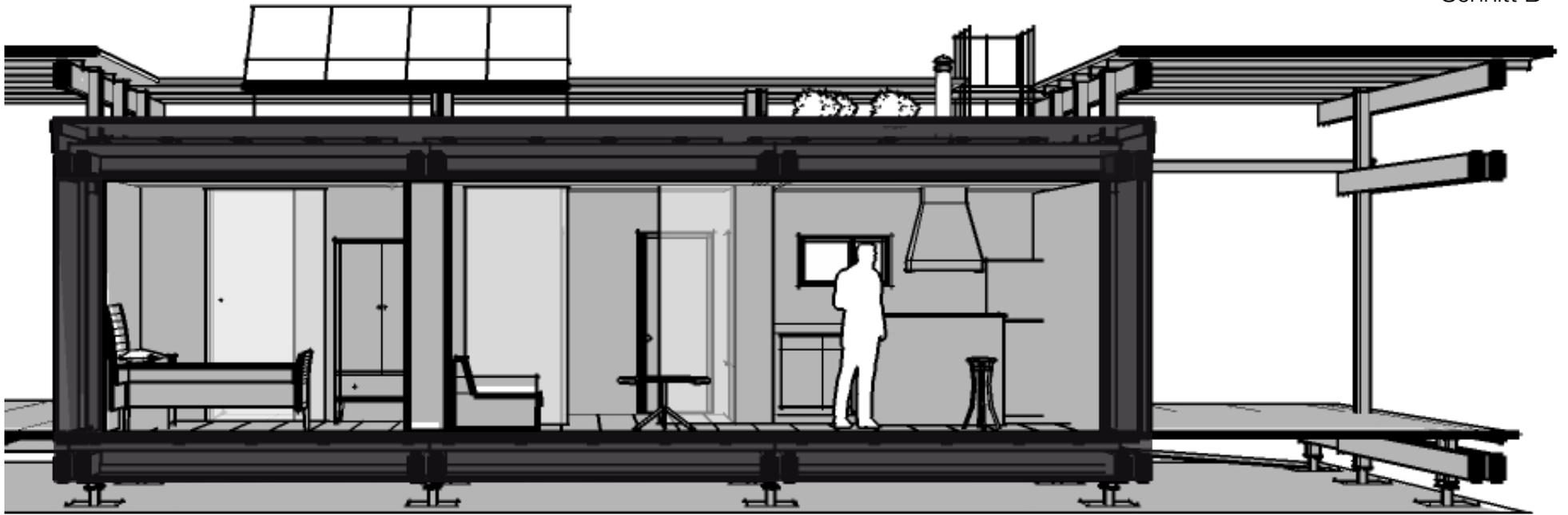
Grundriss



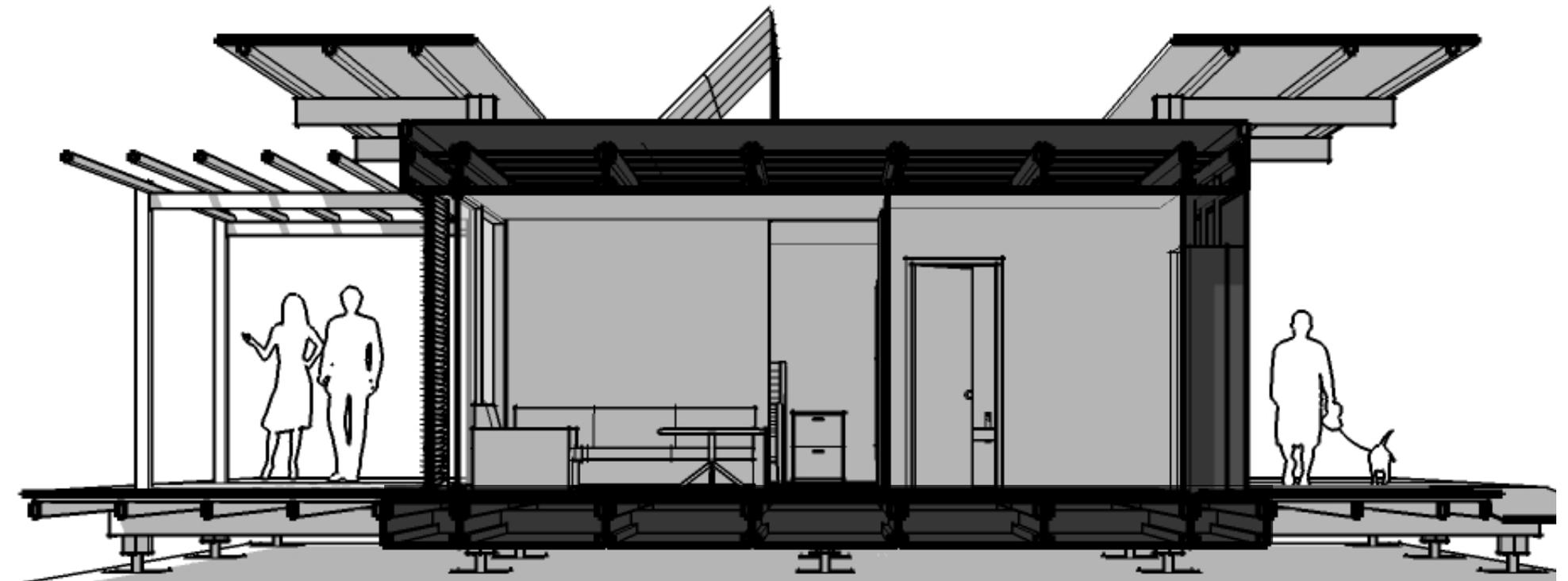
Maßstab 1:100



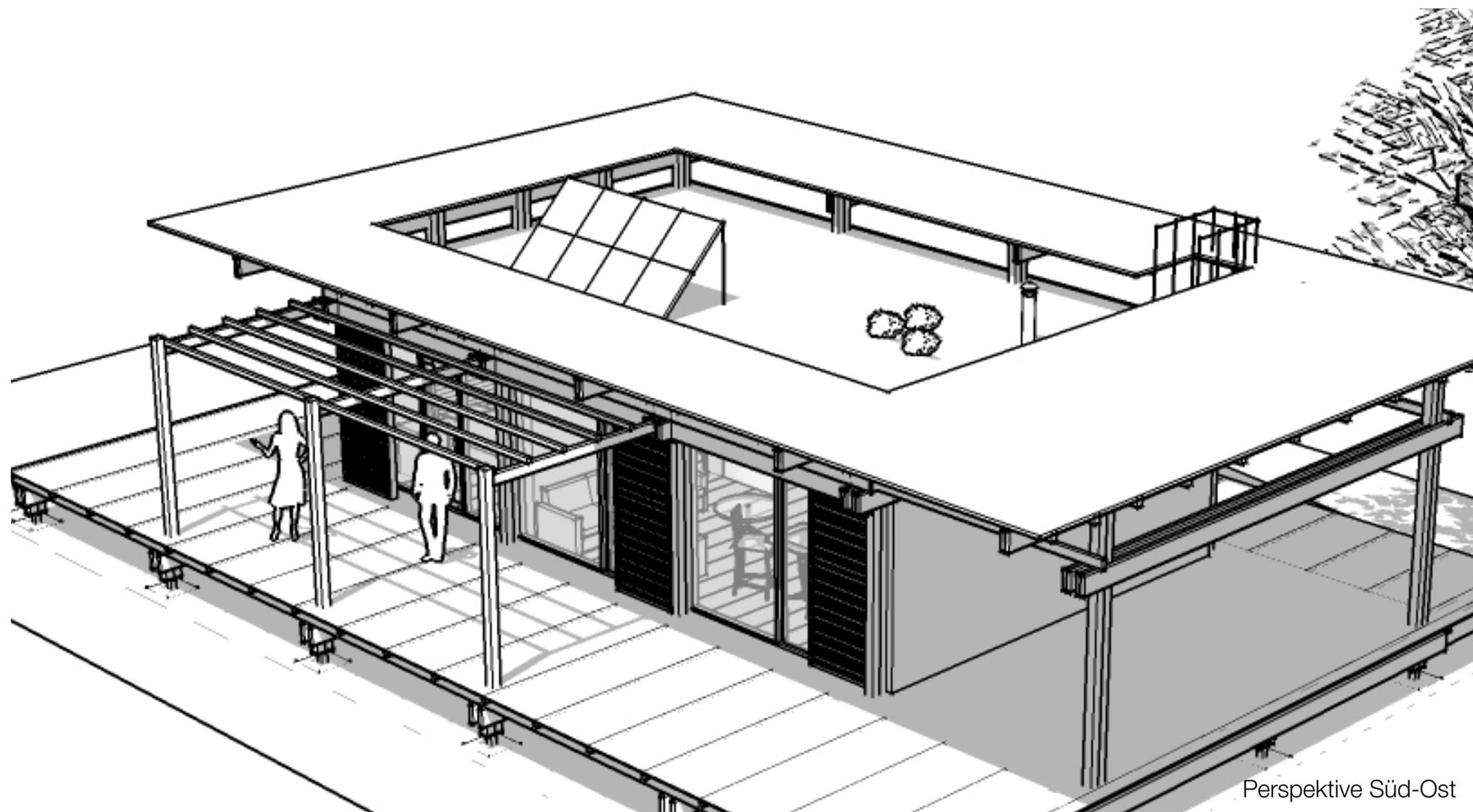
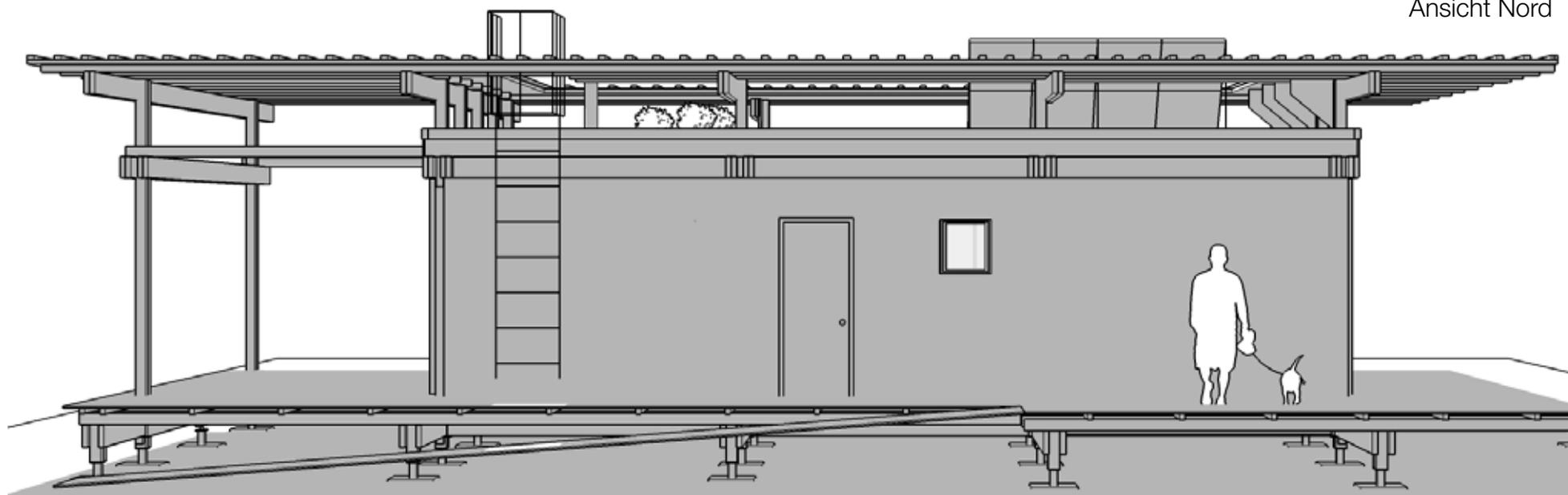
Schnitt B



Schnitt C

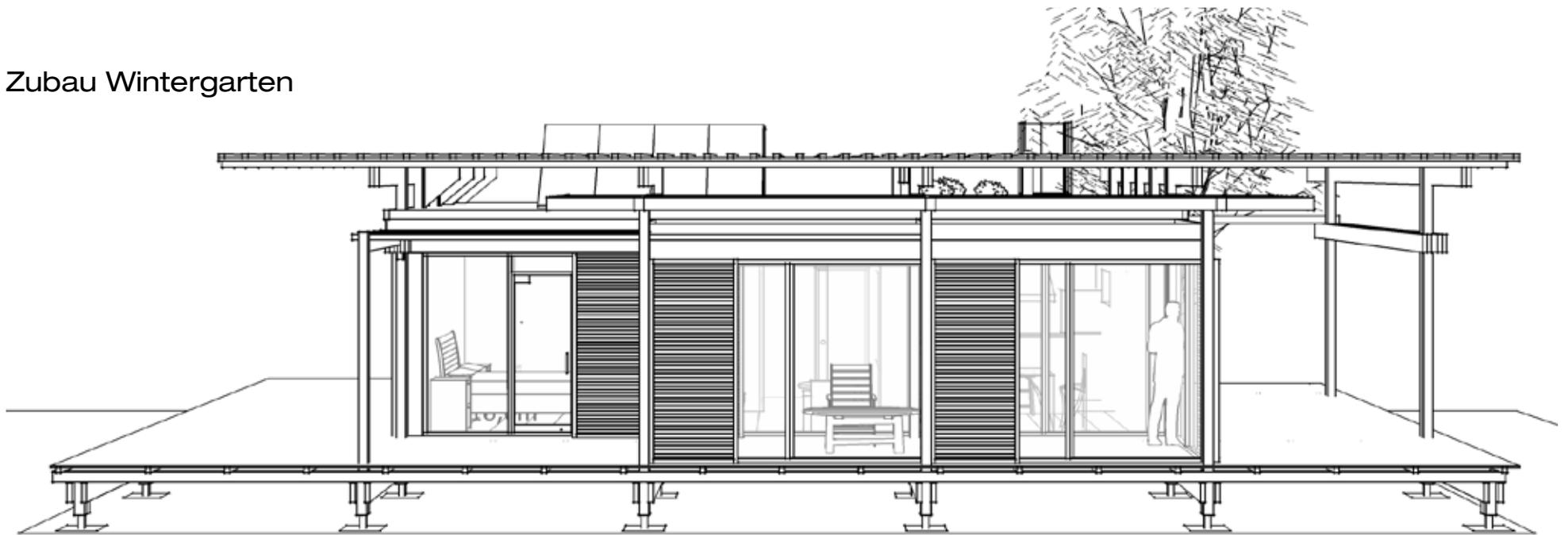


Ansicht Nord

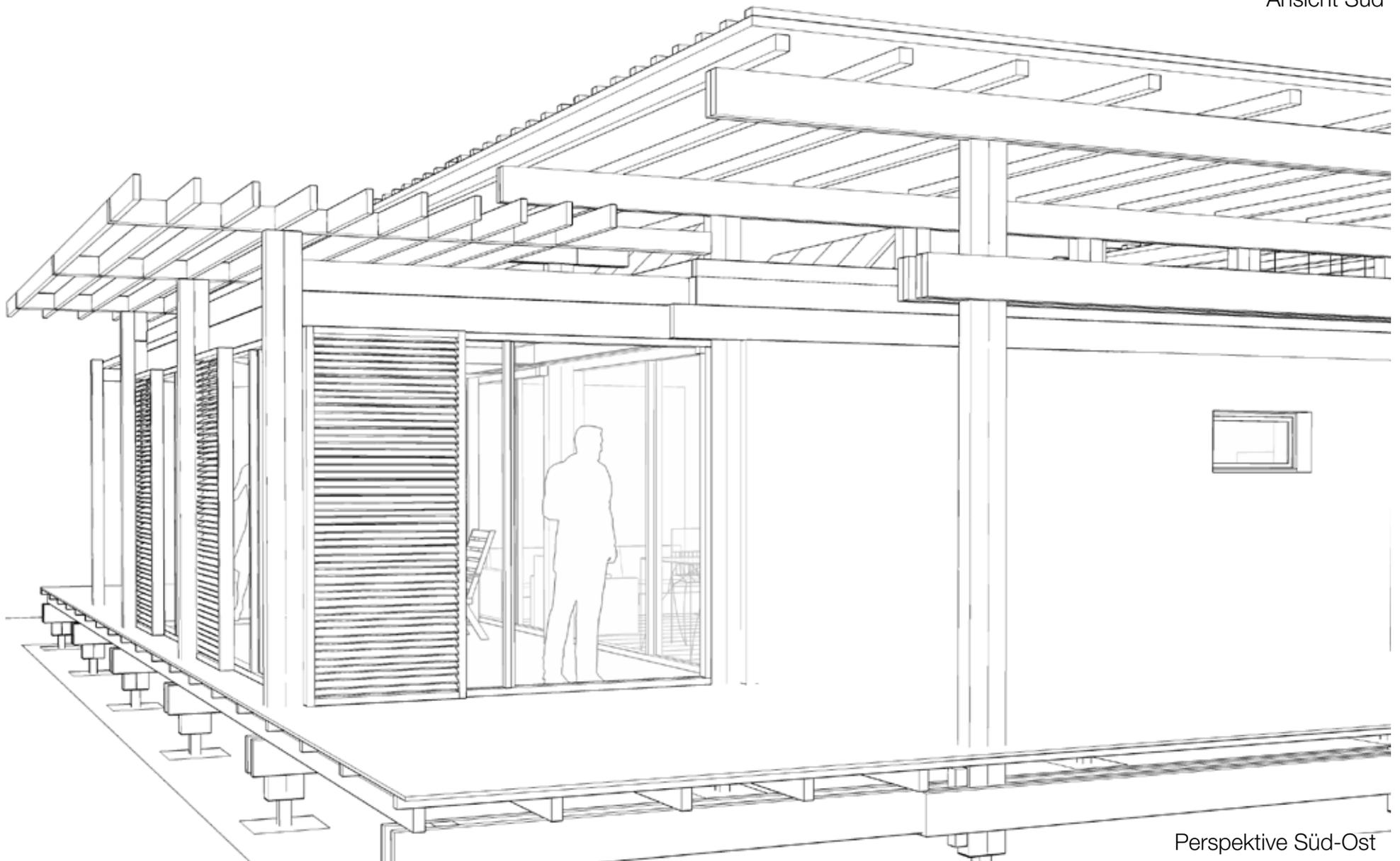


Perspektive Süd-Ost

Zubau Wintergarten



Ansicht Süd



Perspektive Süd-Ost

maison légère 2



Modellfoto, Perspektive Süd-Ost

maison légère 2

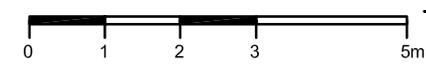
Wohnung Erdgeschoss, Kleinfamilienhaushalt

Grundheit: 79,5 m²

Erweiterung Wintergarten: + 22m²



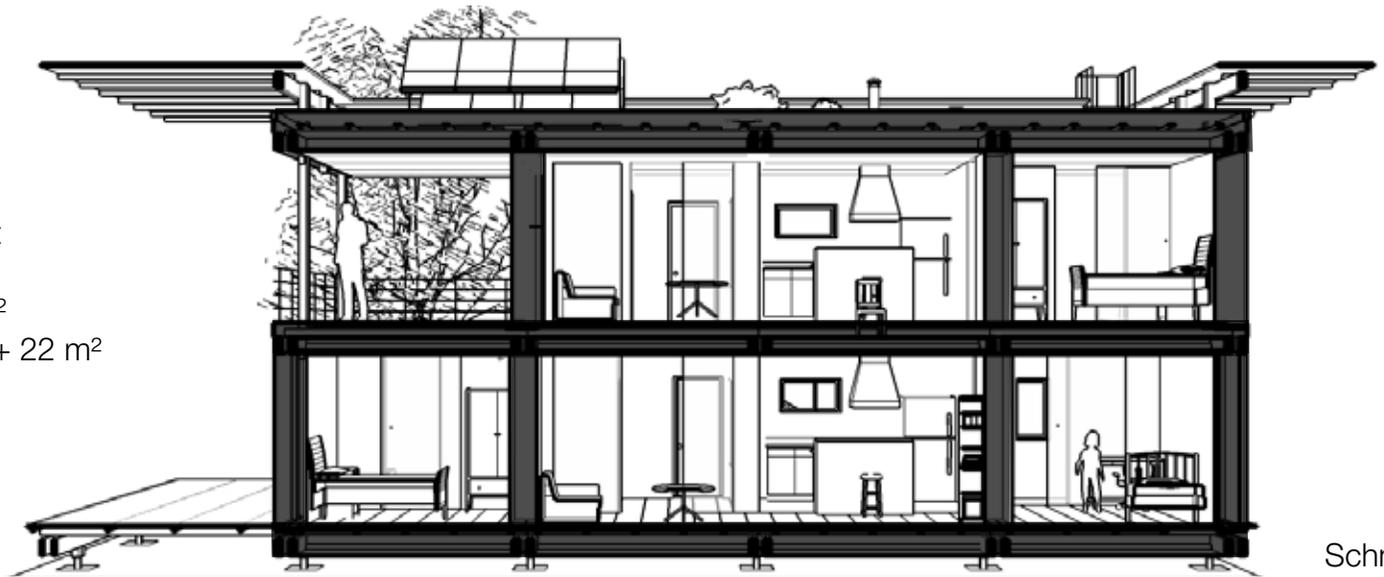
Grundriss Erdgeschoss



Maßstab 1:100



Wohnung Obergeschoss:
 Ein-Zwei-Personenhaushalt
 Grundheit: 60 m²
 Erweiterung lateral: + 19 m²
 Erweiterung Wintergarten: + 22 m²



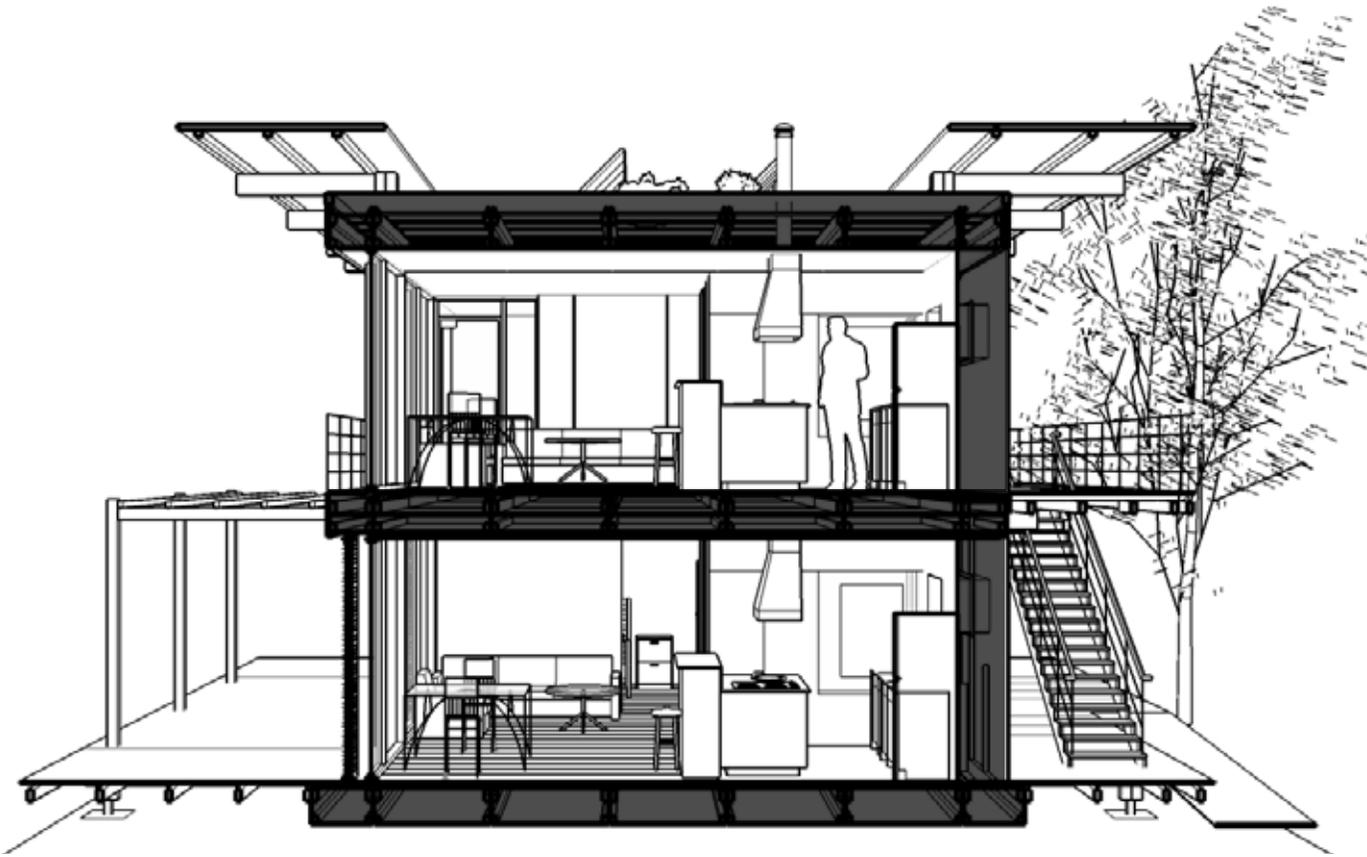
130

Schnitt A

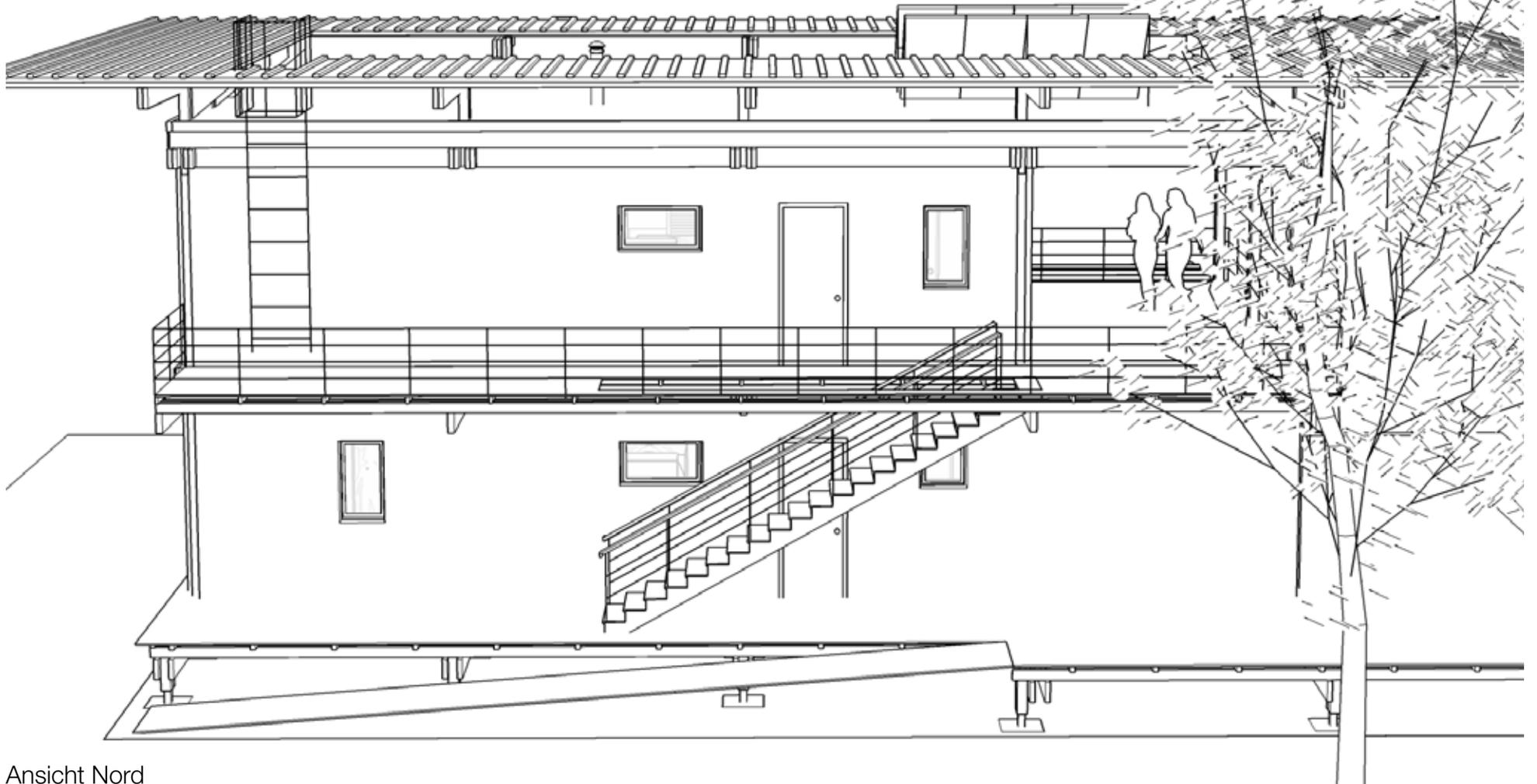


Grundriss Obergeschoss

Maßstab 1:100



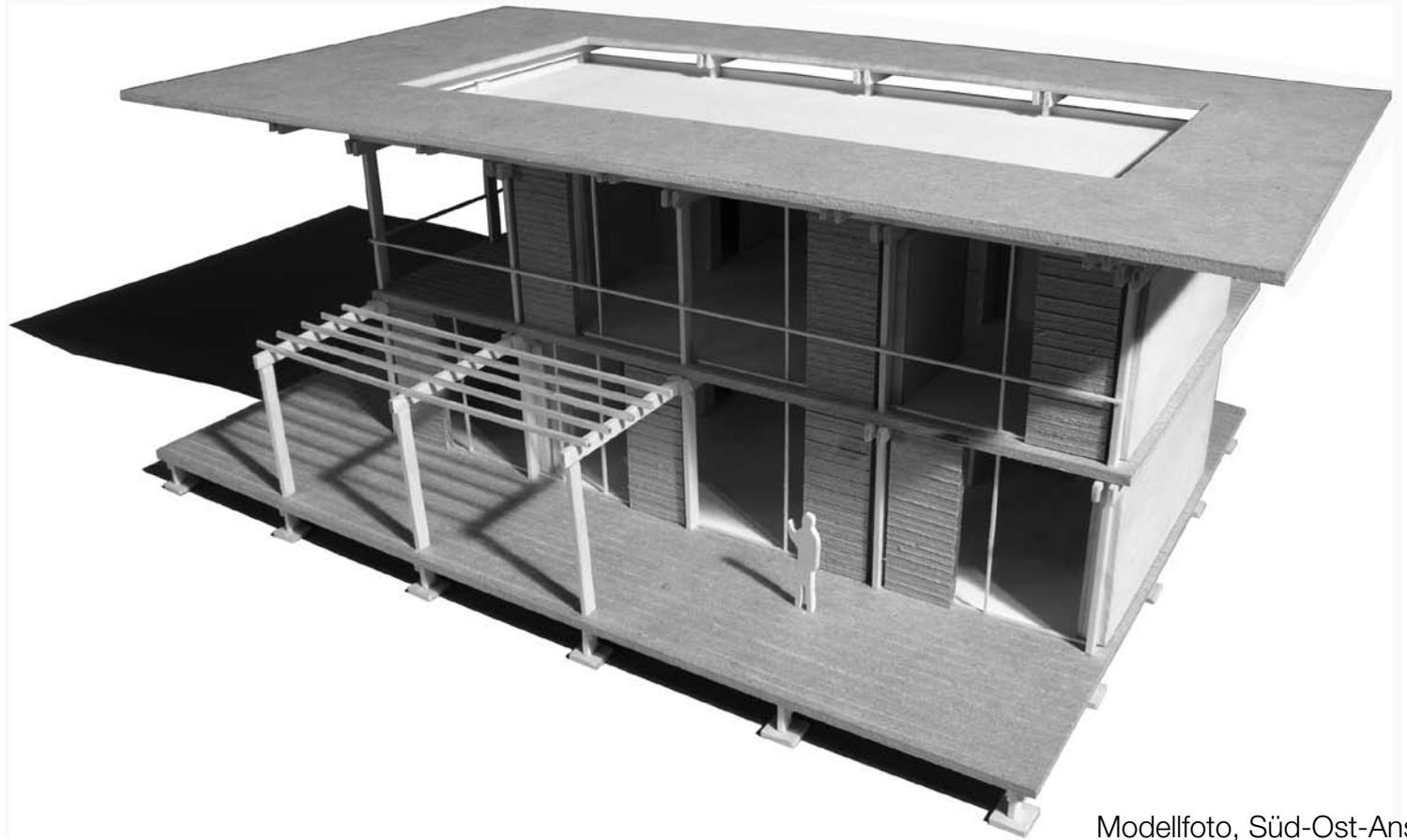
Schnitt B



Ansicht Nord



Modellfoto, Süd-West-Ansicht

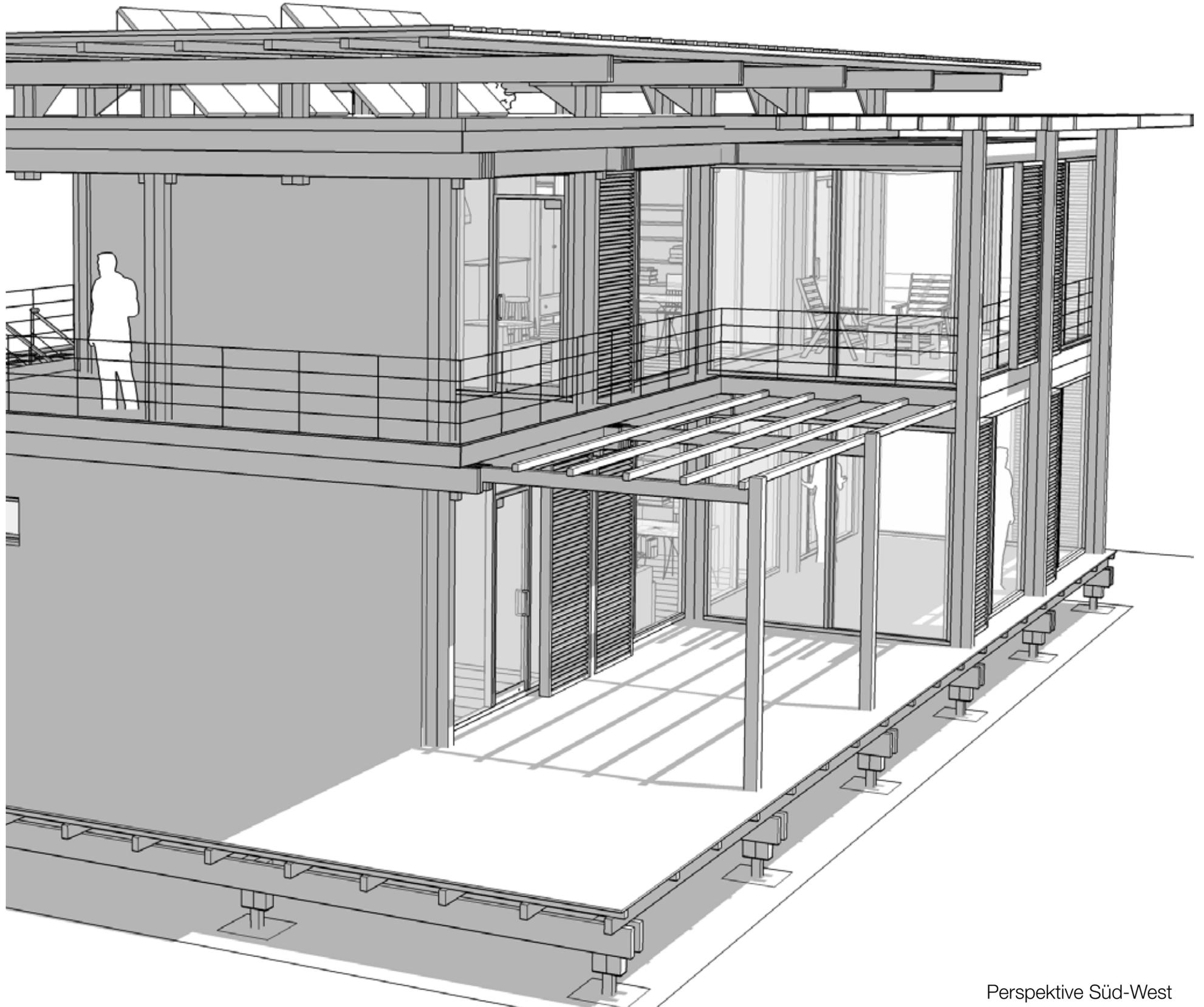


Modellfoto, Süd-Ost-Ansicht



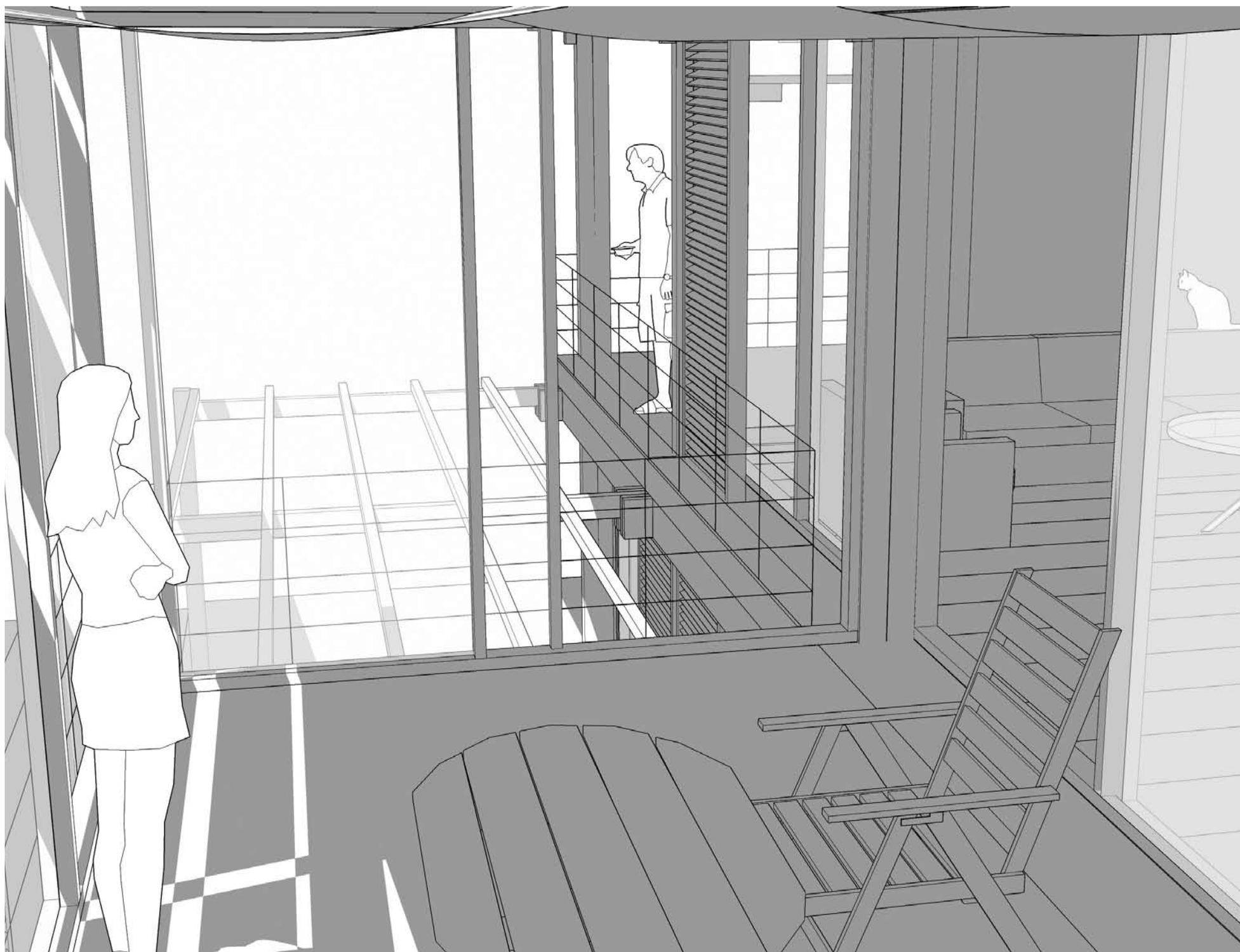
Modellfoto, Nord-West-Ansicht

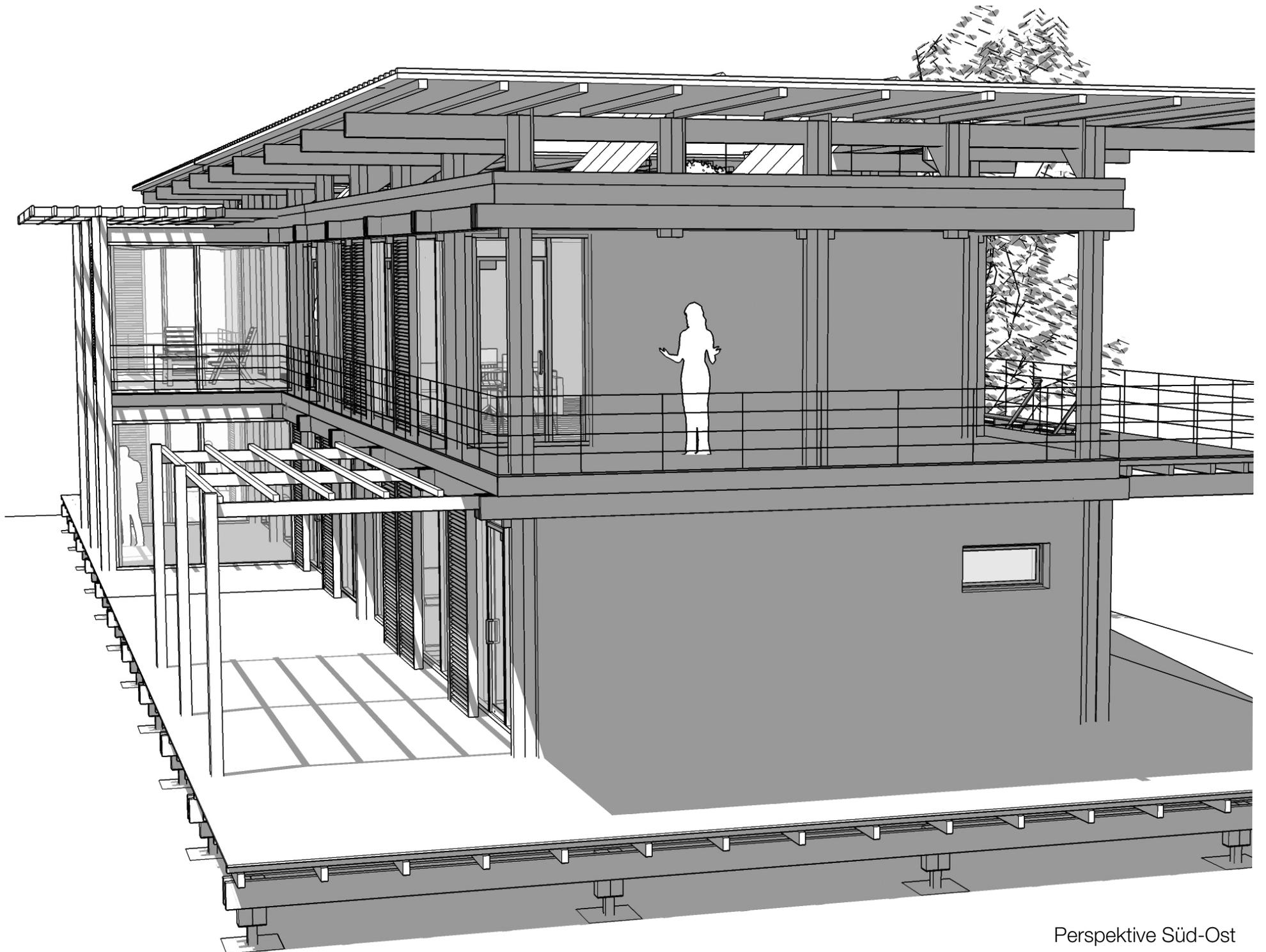
Zubau Wintergarten



Perspektive Süd-West

Innenansicht, Blick aus dem Wintergarten

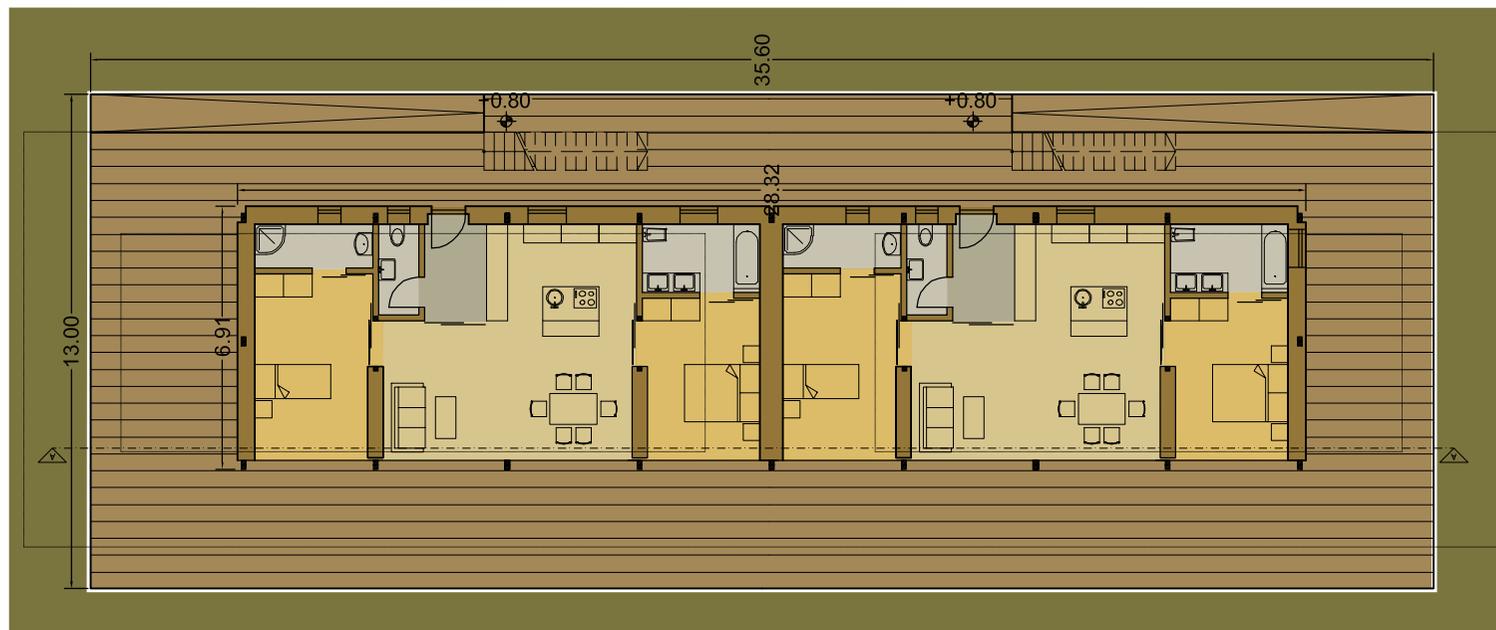




Perspektive Süd-Ost

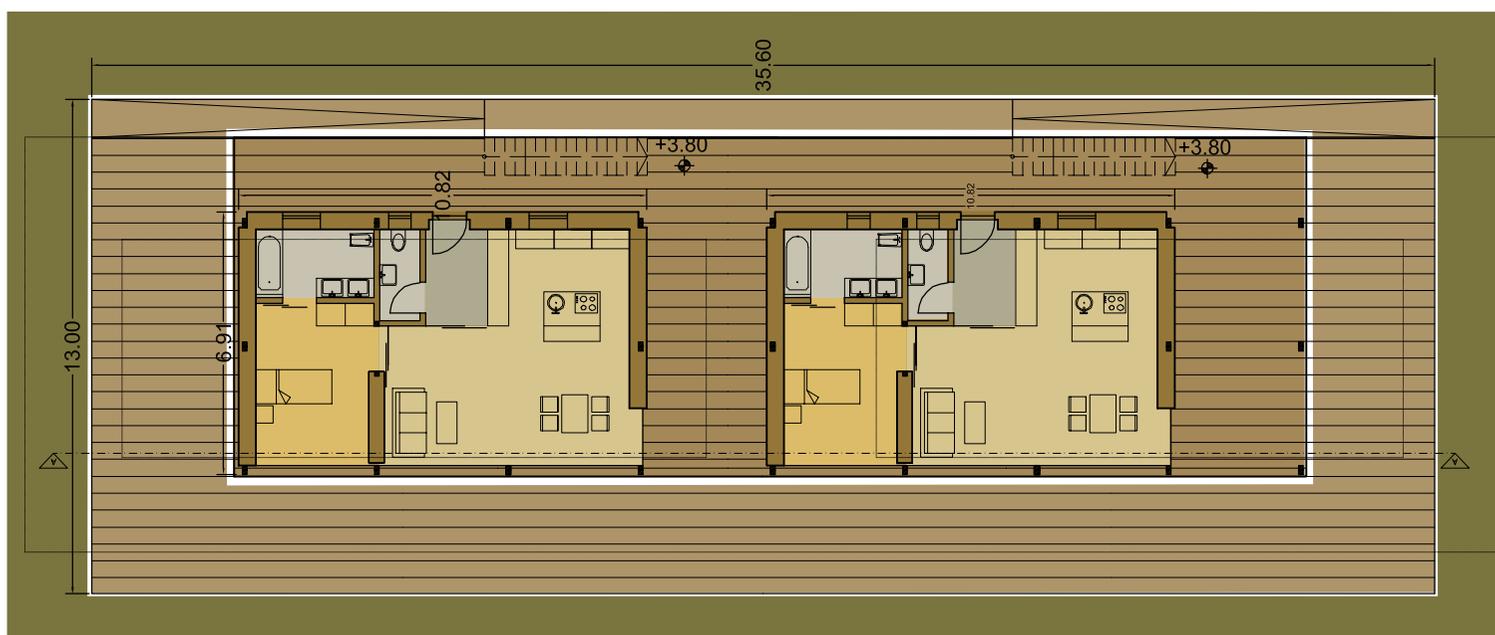
2 Wohnungen im Erdgeschoss,
Grundheit: 79,5 m²
Erweiterung Wintergarten: + 22m²

137

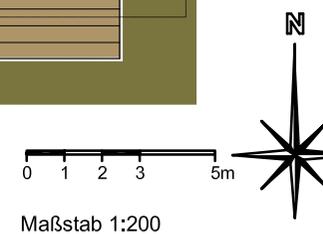


Grundriss Erdgeschoss

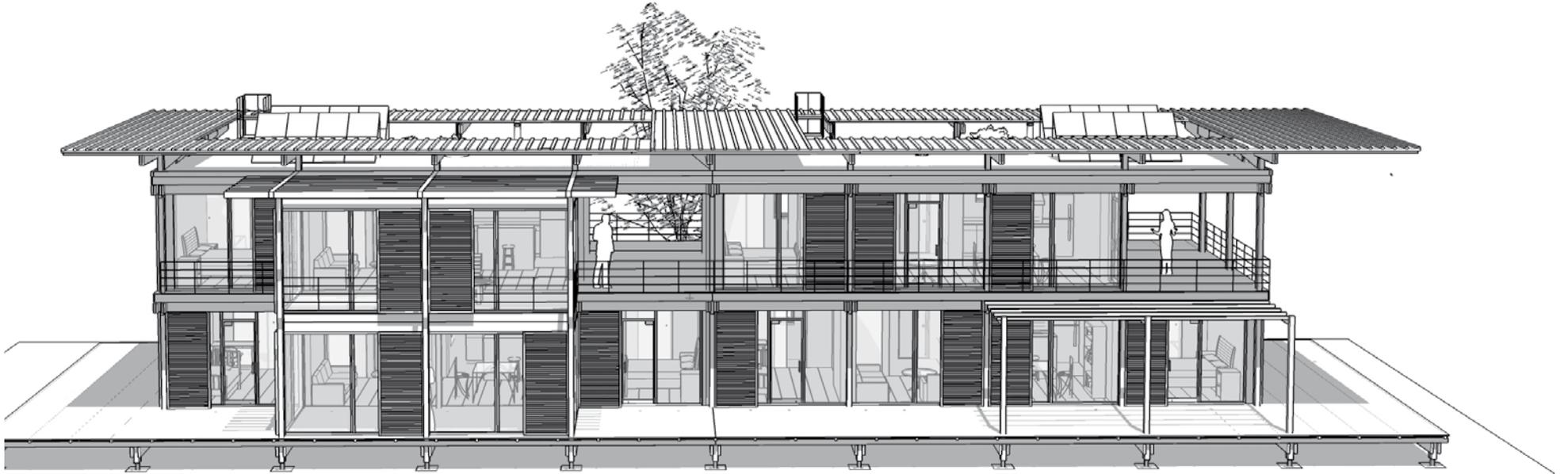
2 Wohnungen im Obergeschoss,
Grundheit: 60 m²
Erweiterung lateral: + 19 m²
Erweiterung Wintergarten: + 22 m²



Grundriss Obergeschoss



Maßstab 1:200



Ansicht Süd



Schnitt A



Masterplan

maison légère 3
4 Wohneinheiten

maison légère 2
2 Wohneinheiten

maison légère 2
2 Wohneinheiten

maison légère 1
1 Wohneinheit

maison légère 3
4 Wohneinheiten

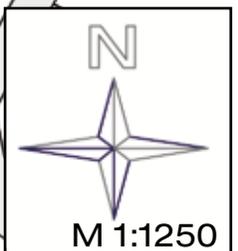
Nahwärme-
Heizzentrale

maison légère 3
4 Wohneinheiten

maison légère 2
2 Wohneinheiten

maison légère 1
1 Wohneinheit

- ① Solarzellen
- ① Gemüsegarten
- ② Parkplatz
- ③ Kinderspielplatz
- ④ Bambusgarten mit Regenwasserkanal
- ⑤ Schallschutzwand aus Lehm
- ⑥ Regenwasserspeicher
- ⑦ Spielwiese
- ⑧ Boule-Feld

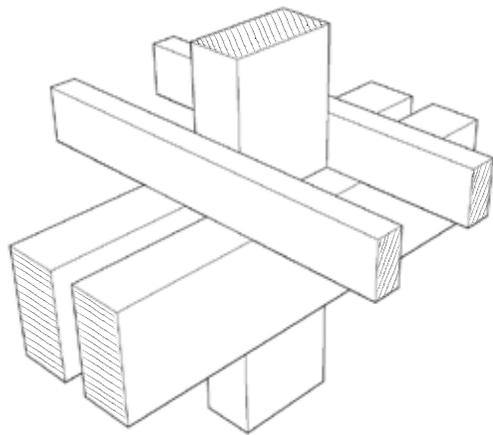
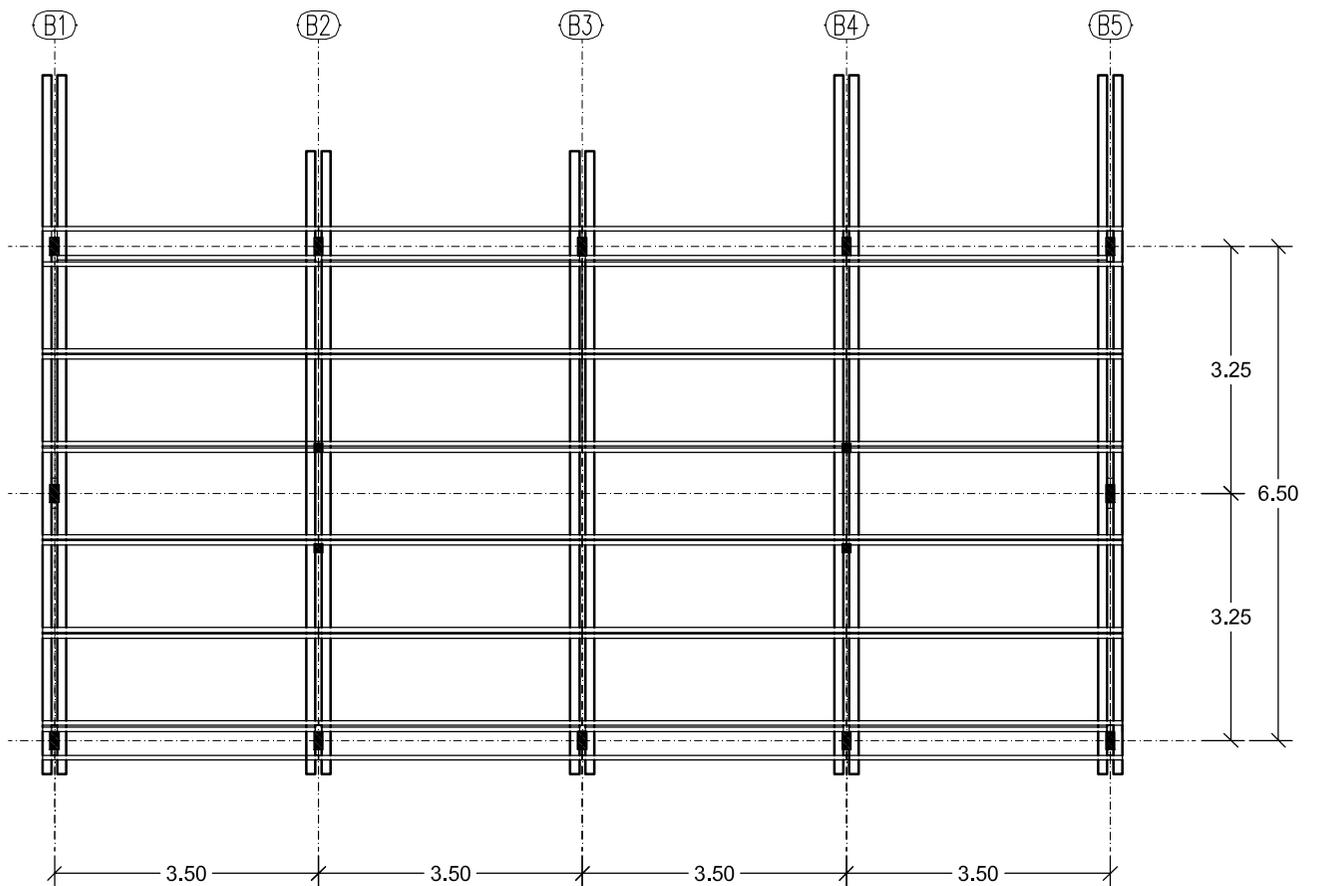
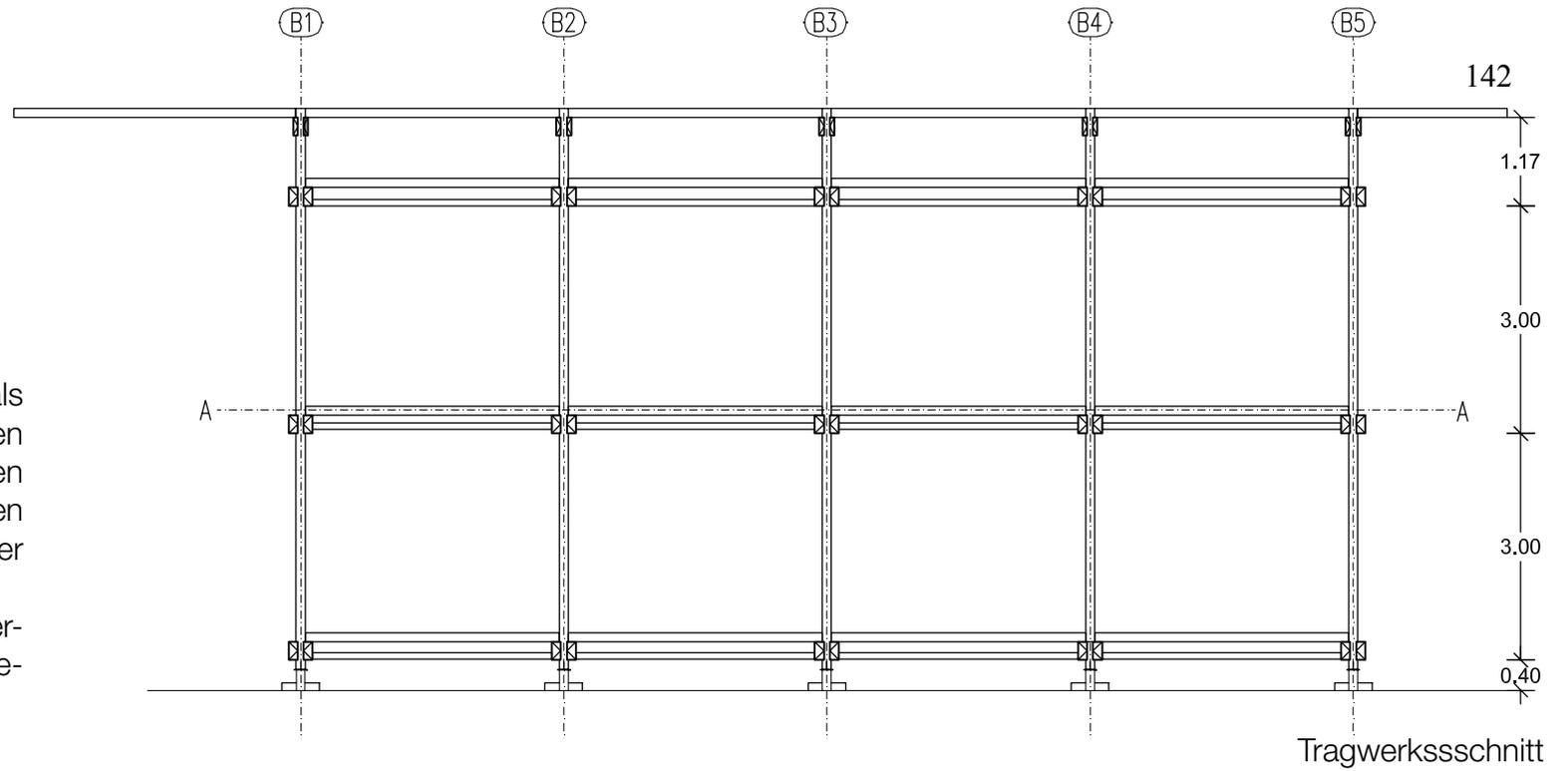




Blickrichtung Nord

Das Tragwerk

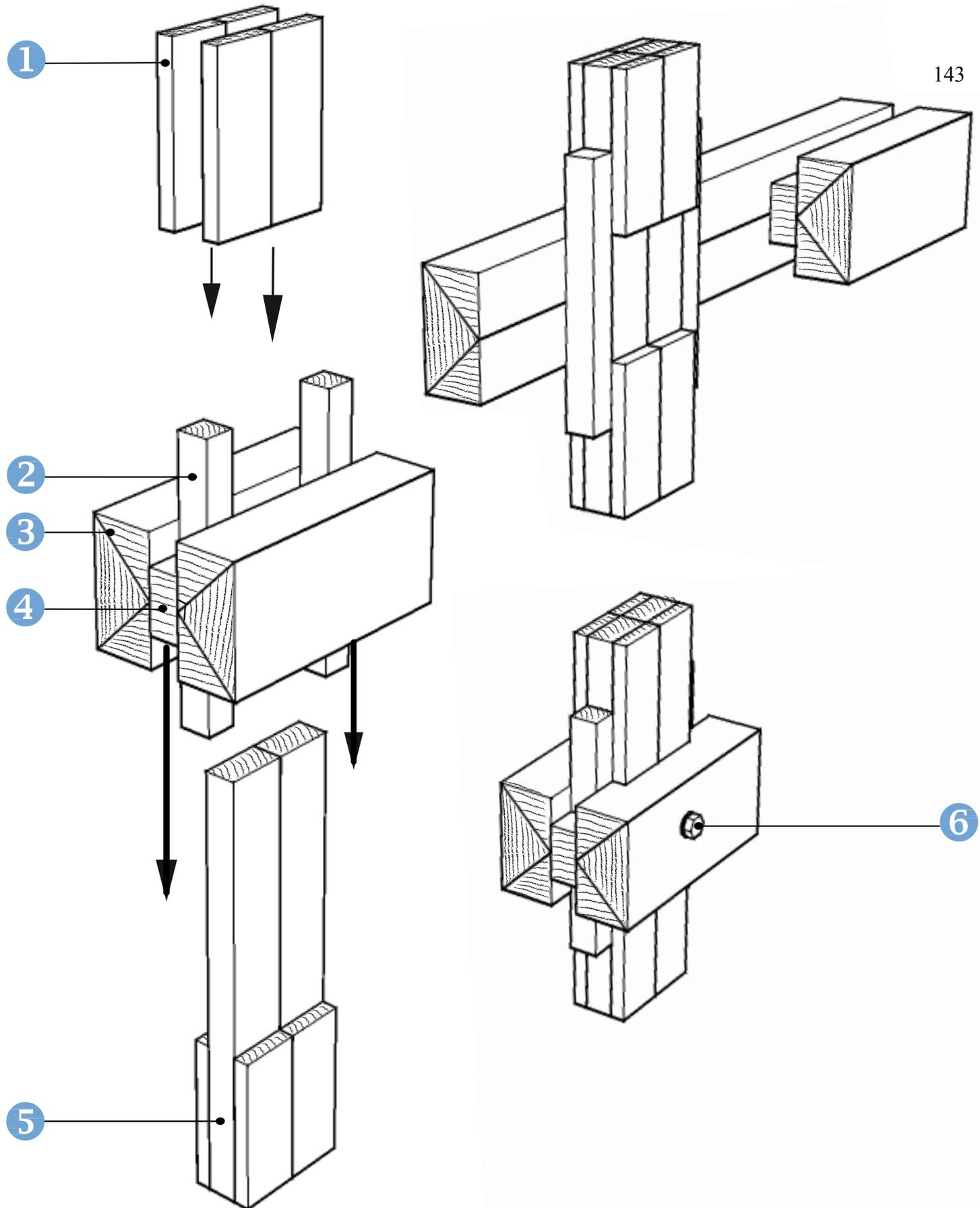
Zangenkonstruktion
 Ein zweiteiliger Träger läuft als Zange seitlich an den Stützen vorbei. Die Zangen werden durch Spreizschrauben an den Träger angeschlossen. In der Nebenrichtung liegen Balken. Stützen und Träger laufen über die gesamte Gebäudehöhe bzw. -Tiefe durch.



Konstruktiver Knoten

Tragwerkgrundriss A-A
 M 1:100

Die Konstruktion

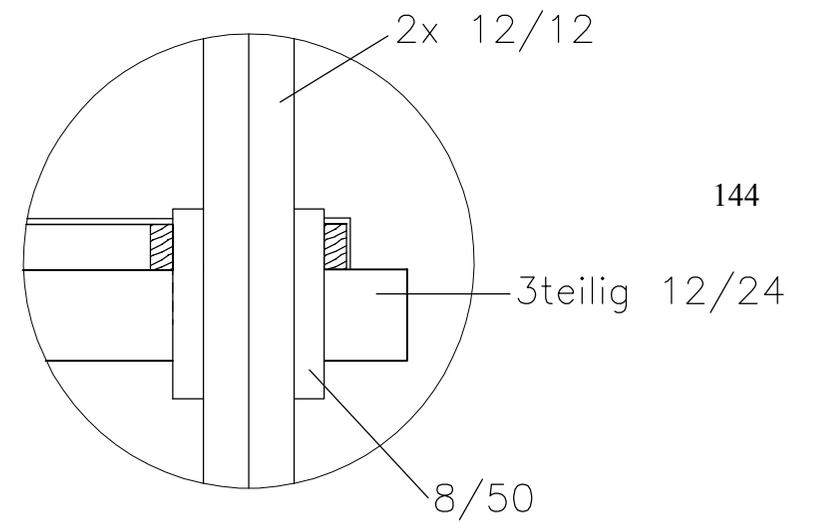
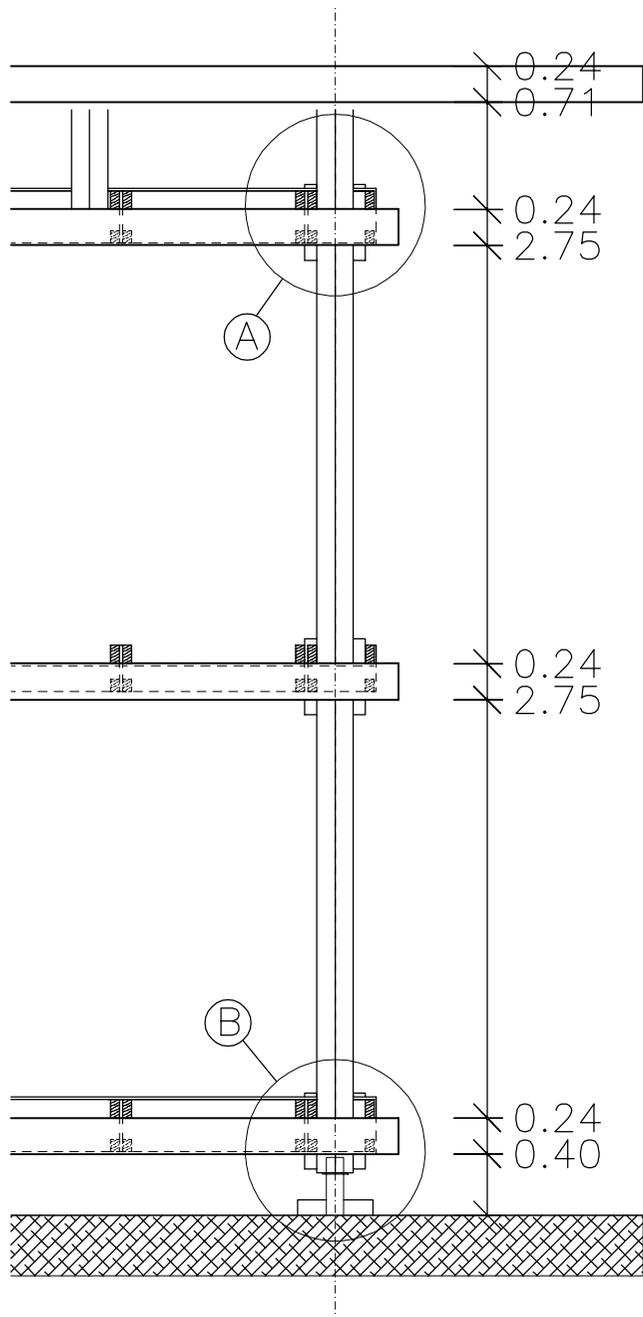


Knoten Träger-Stütze

- ① Teilstütze 2x 3/12cm
- ② Aussteifungsholz 6/8cm
h=50cm
- ③ Zange, dreiteiliger
Spreizbalken mit
Dreiecksquerschnitt 12/24cm
- ④ Zangenverstärkung
(bei Zangen B2-B4)
6/12cm
- ⑤ Stütze 6teilig, 2xHauptstütze
6/12cm, 4xTeilstütze 3/12cm
- ⑥ Spreizschraube

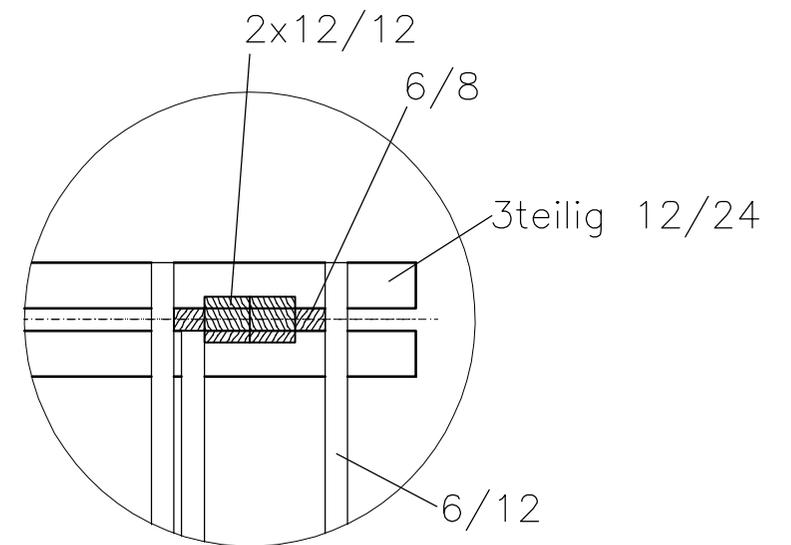
Details zu A
Anschluss Stütze-Träger

Systemschnitt
der Tragstruktur in Querrichtung
M 1:50

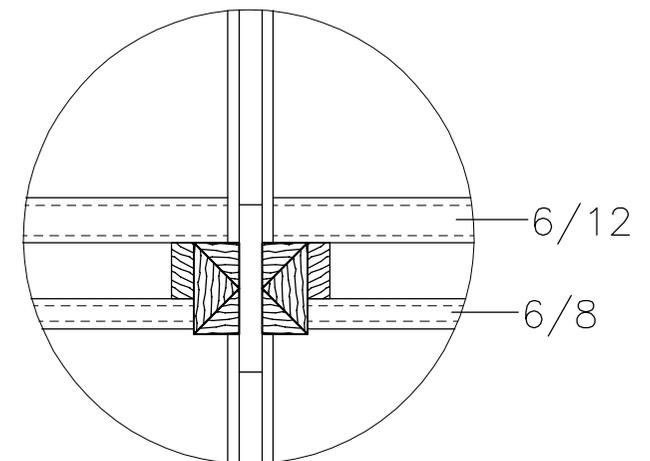


144

Querschnitt

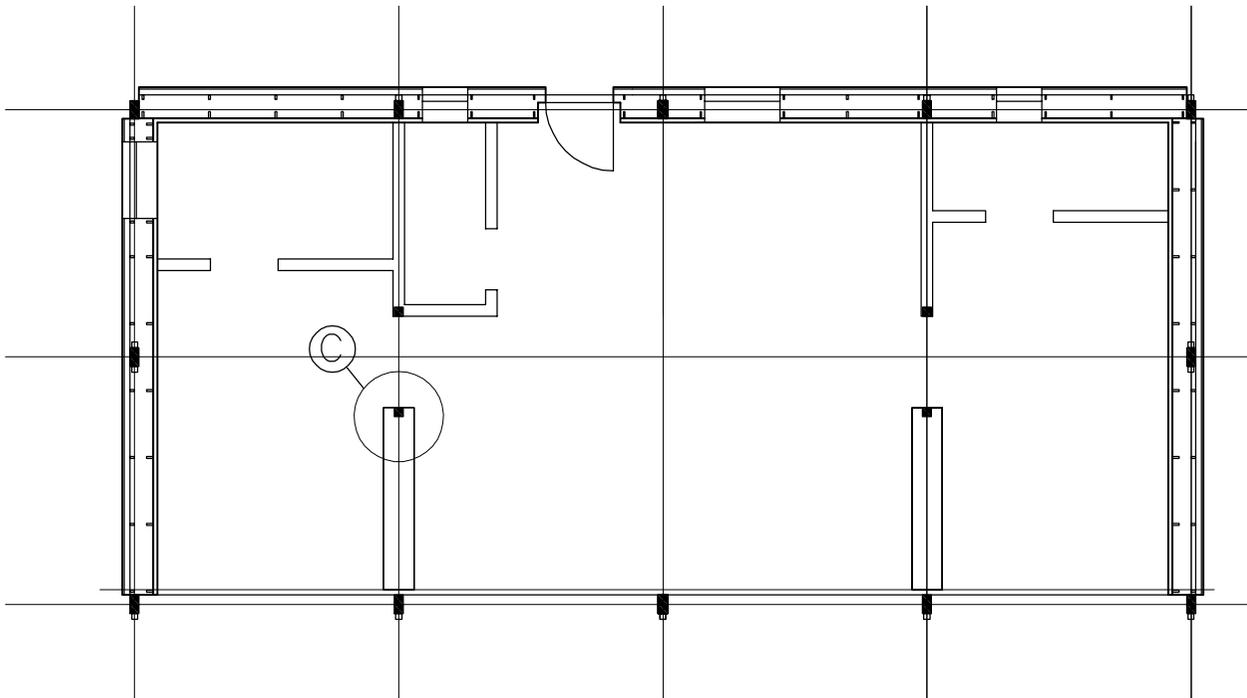


Draufsicht

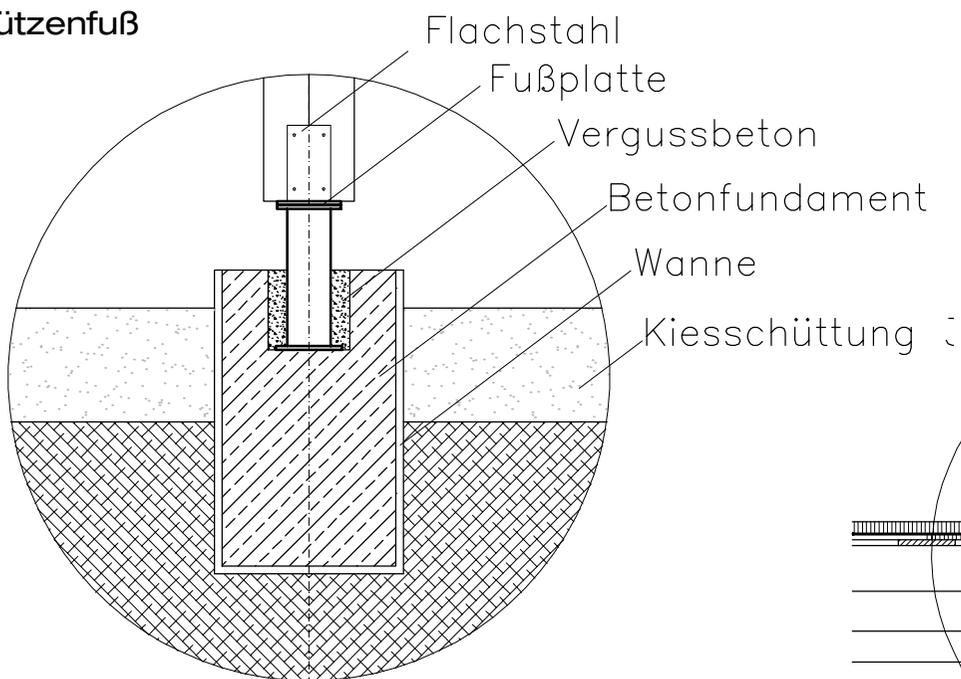


Längsschnitt
M 1:20

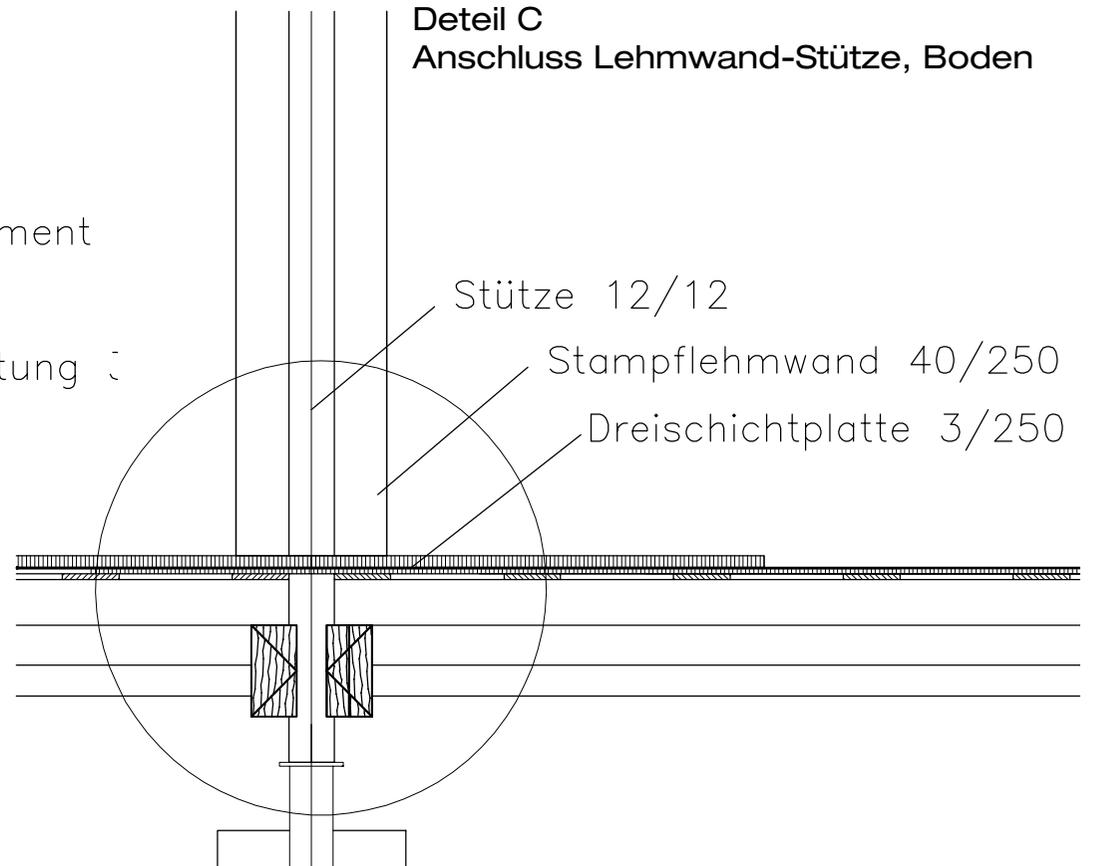
Konstruktionsgrundriss



Detail B
Stützenfuß

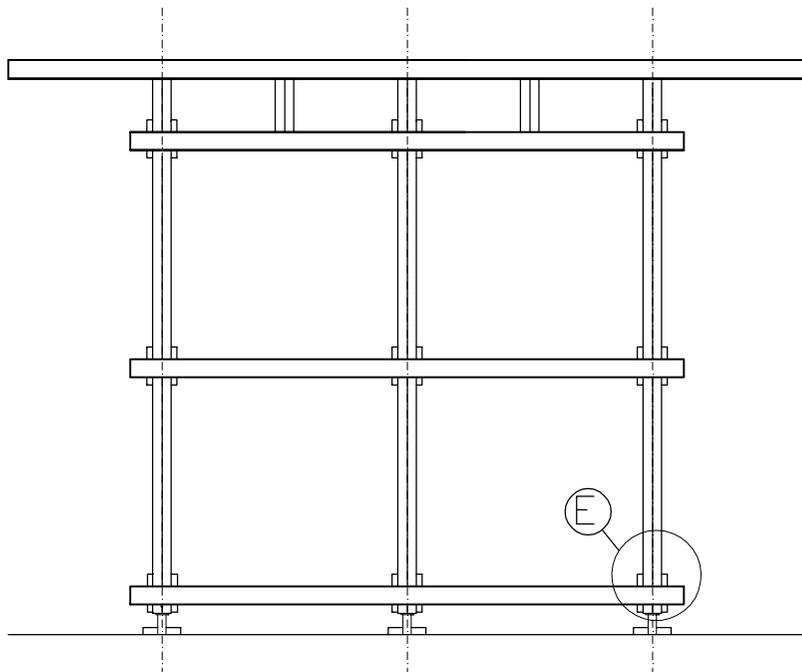


Detail C
Anschluss Lehmwand-Stütze, Boden

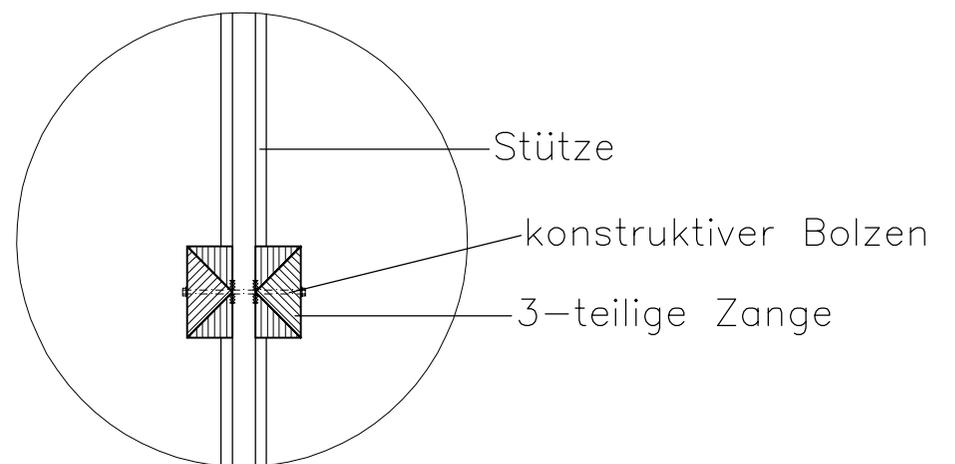


Die Aussteifung

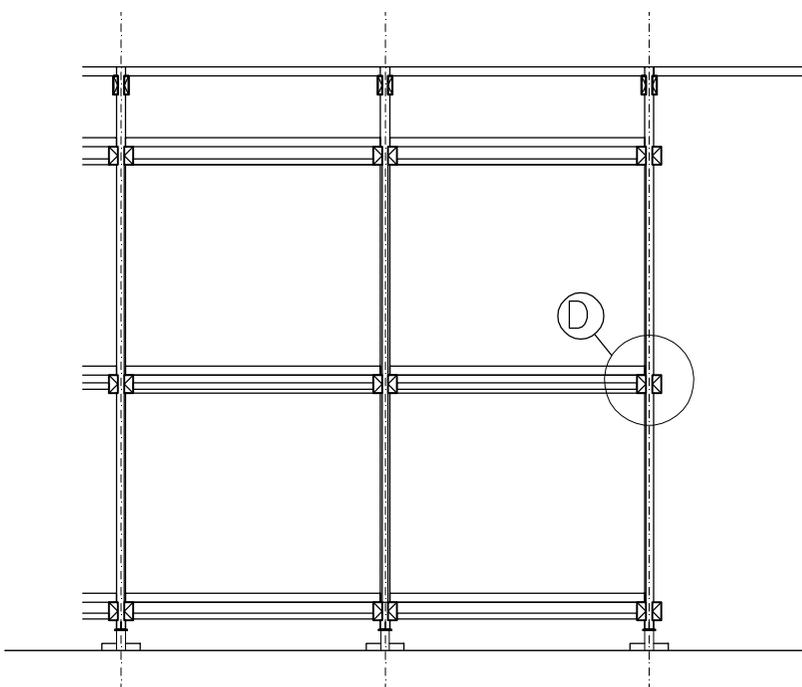
Aussteifung in Querrichtung



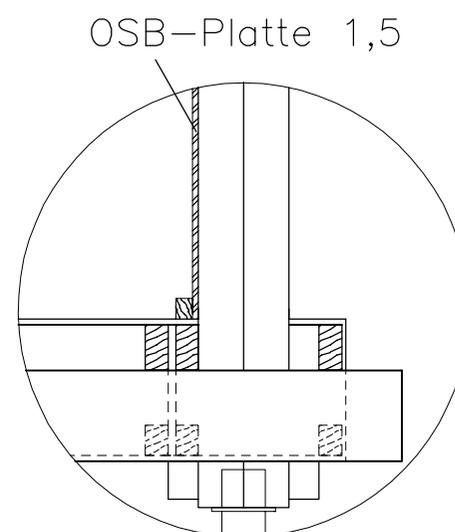
Detail D

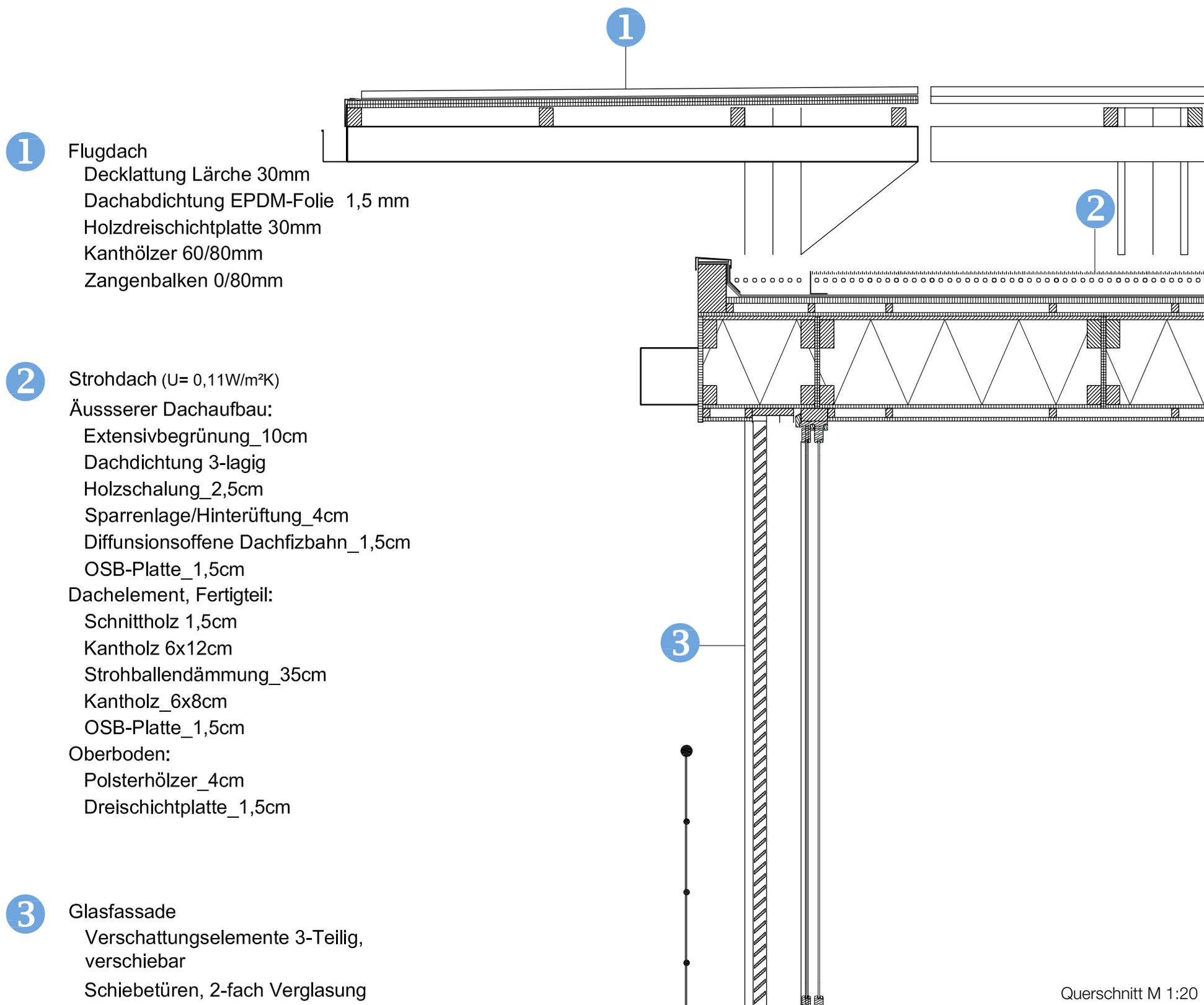


Aussteifung in Längsrichtung



Detail E





4

Lehmdecke

Fußboden:

Massivholzdielen_2,4cm

Polsterhölzer_4cm

Bodenelement, Fertigteil:

Lehmziegelsteine

Filzbahn-Trittschalldämmung_1,5cm

OSB-Platte 1,5cm

Kantholz 6x12cm

Schilfdämmplatte_12cm

Kantholz 6x8cm

OSB-Platte_2cm

Oberboden:

Polsterhölzer_4cm

Dreischichtplatte_1,5cm

5

Strohboden (U=0,11W/m²K)

Fußbodenaufbau:

Massivholzdielen_2,4cm

Trockenestrich_2cm

Diffusionsoffene Folie_1,5cm

OSB-Platte_1,5cm

Bodenelement, Fertigteil:

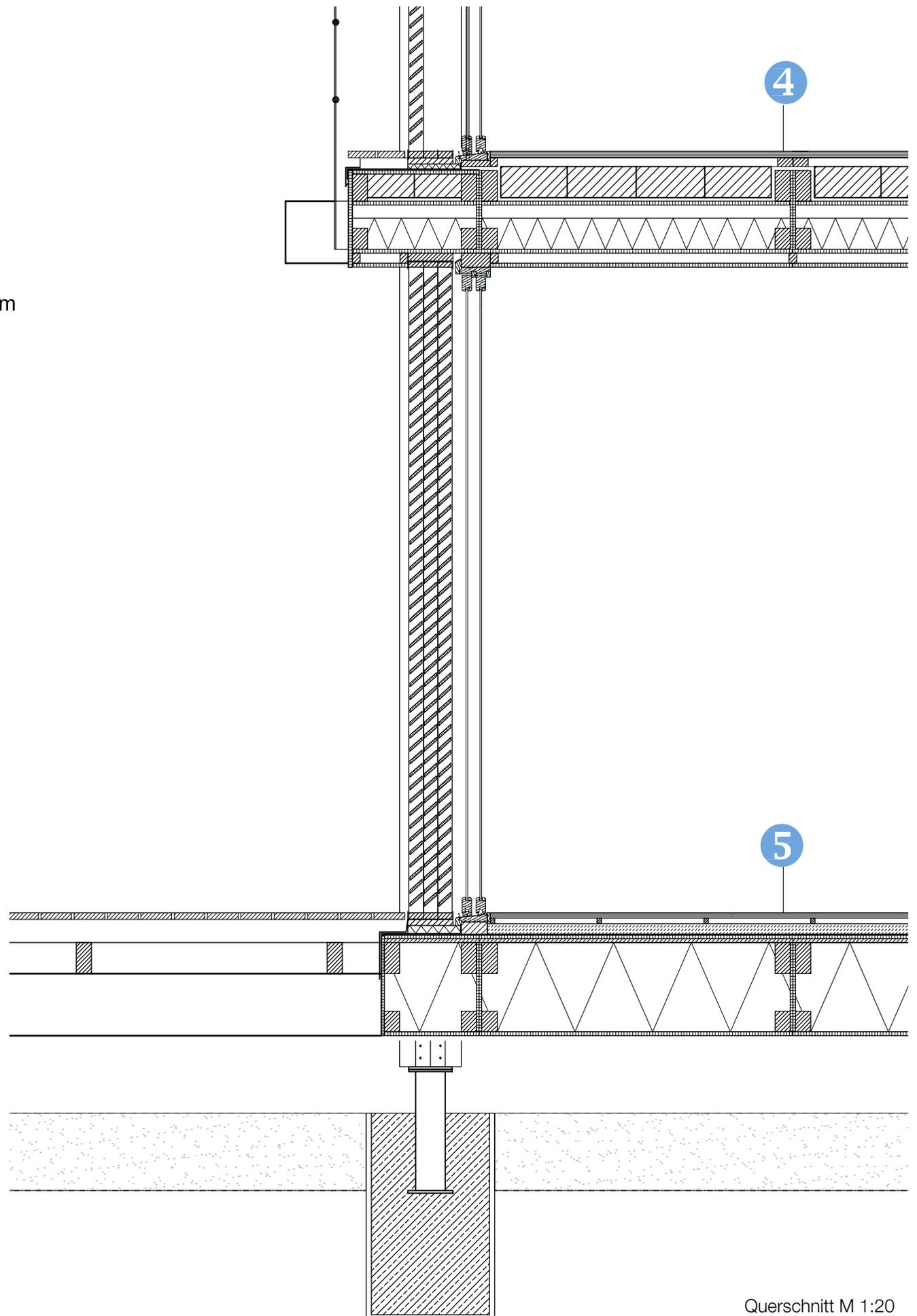
Schnittholz 1,5cm

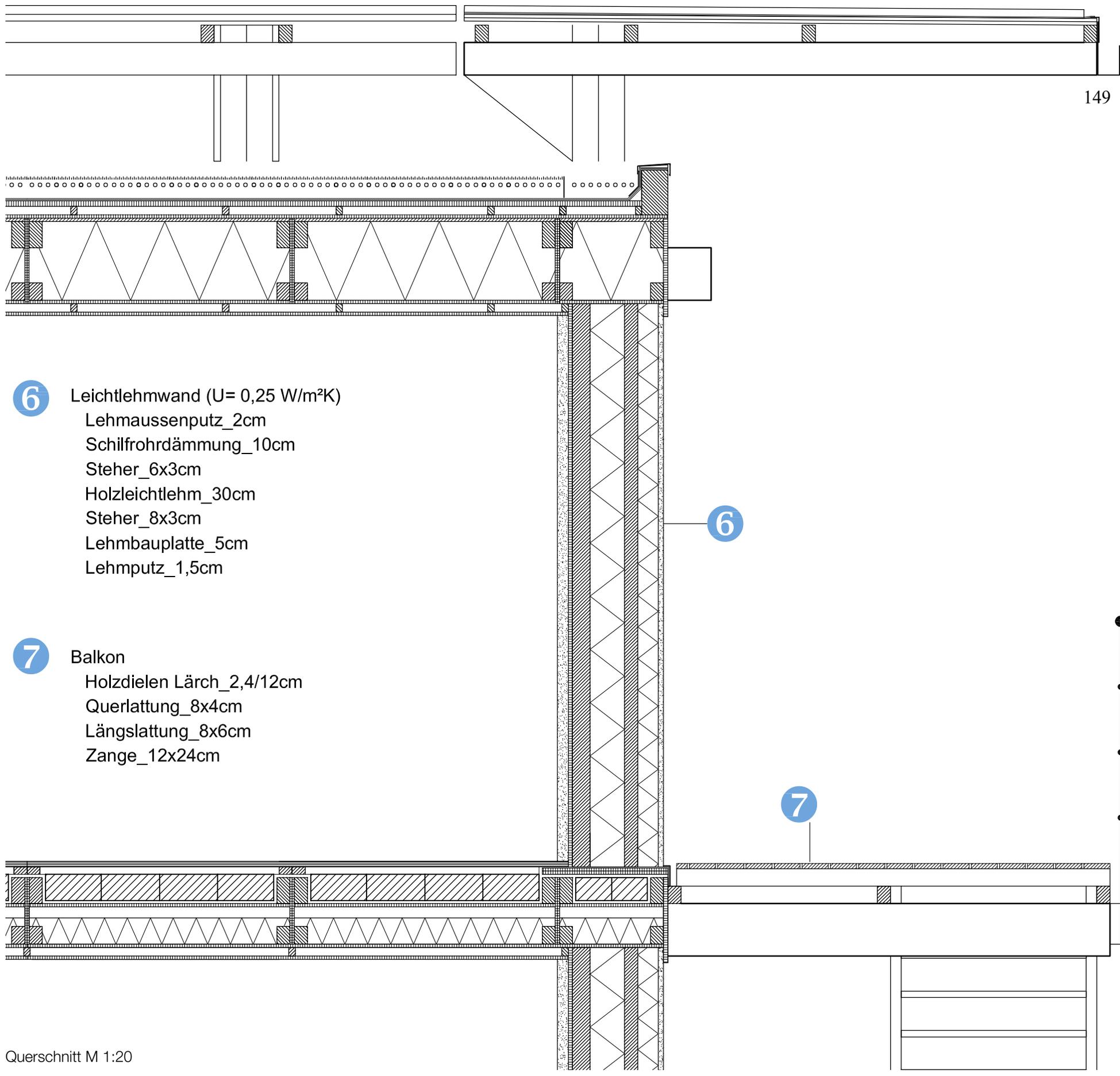
Kantholz 6x12cm

Strohballendämmung_35cm

Kantholz 6x8cm

OSB-Platte_1,5cm





- 6** Leichtlehmwand (U= 0,25 W/m²K)
 - Lehmaussenputz_2cm
 - Schilfrohrdämmung_10cm
 - Steher_6x3cm
 - Holzleichtlehm_30cm
 - Steher_8x3cm
 - Lehmbauplatte_5cm
 - Lehmputz_1,5cm

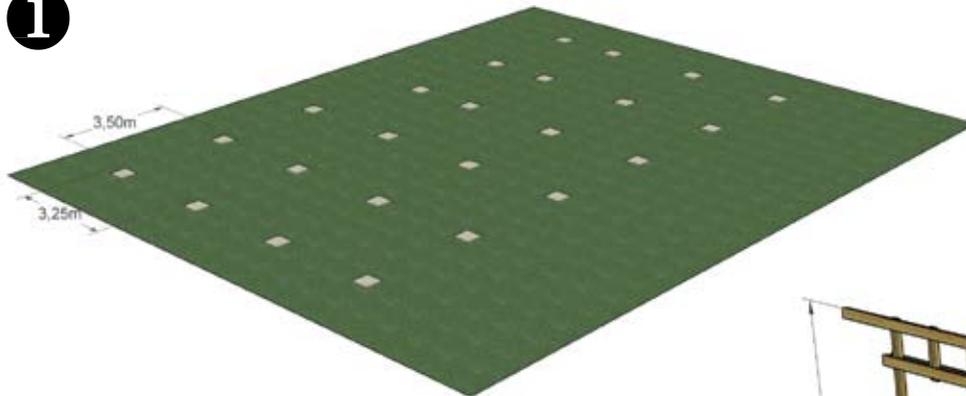
- 7** Balkon
 - Holzdielen Lärch_2,4/12cm
 - Querlattung_8x4cm
 - Längslattung_8x6cm
 - Zange_12x24cm

Querschnitt M 1:20

Der Aufbau

150

1



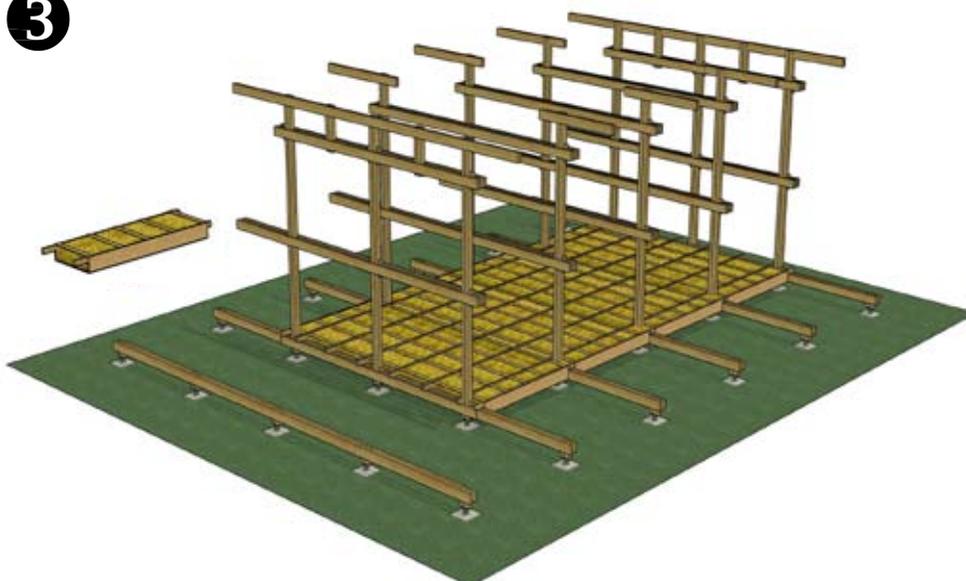
1. Die Betonfundamente werden gegossen, Aussparungen für den Stützenfuß werden freigehalten.

2

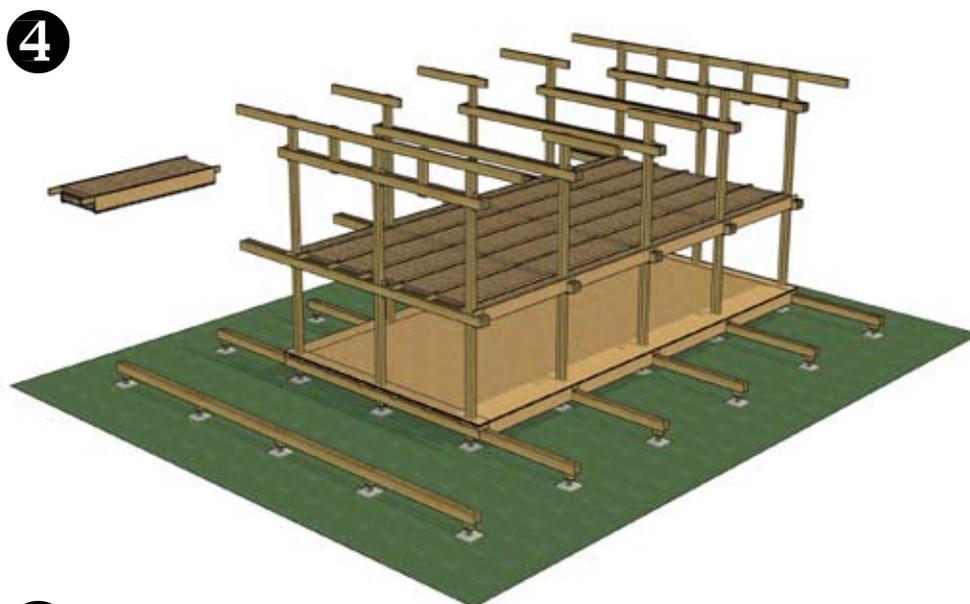


2. Die Holzrahmen werden in die Fundamente eingesetzt und der Stahlfuß mit Vergussbeton einbetoniert.

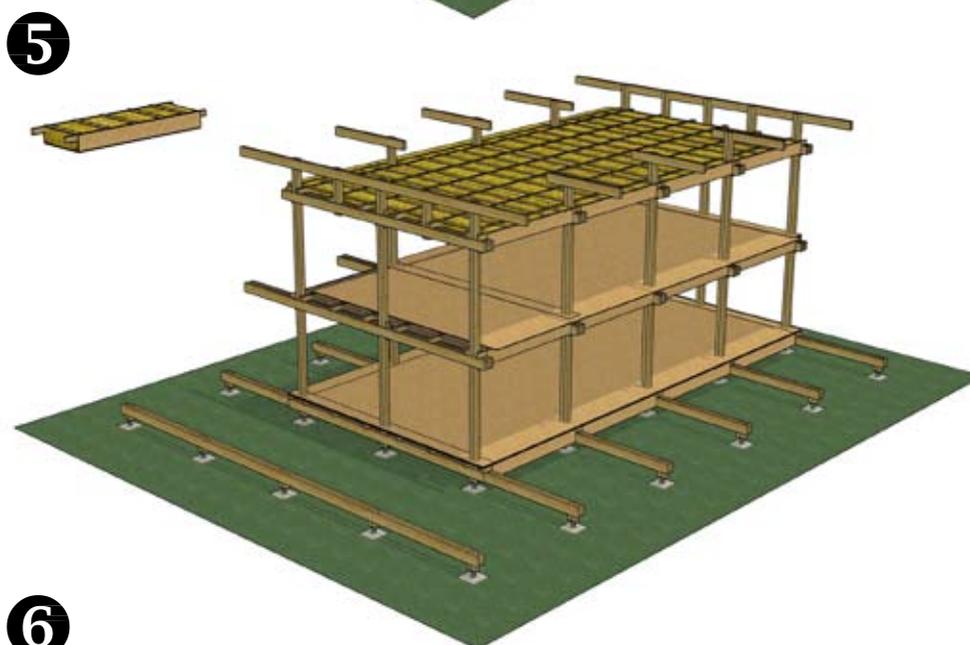
3



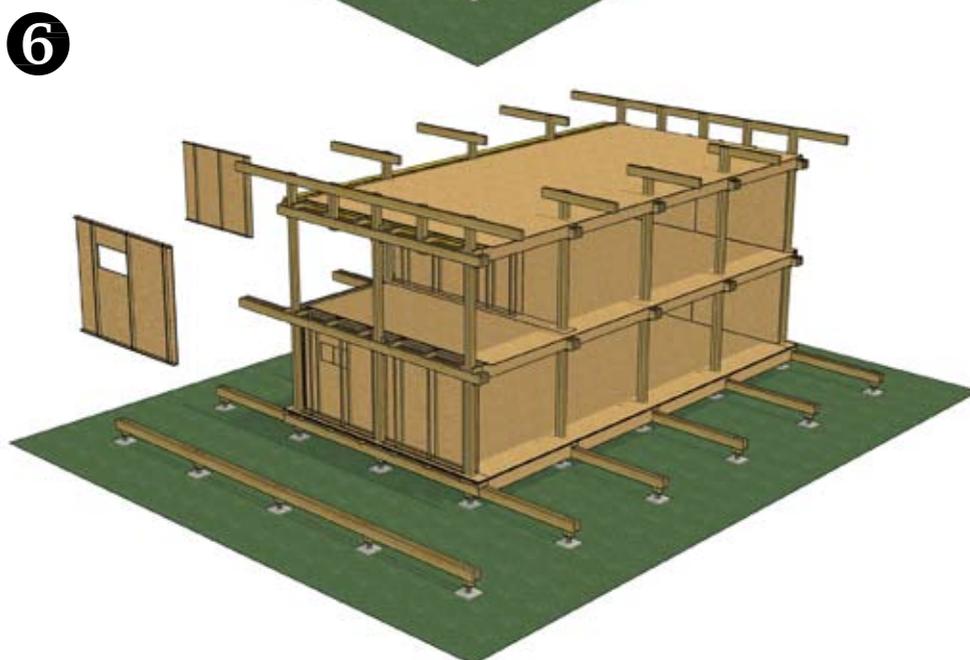
3. Die vorgefertigten Bodenelemente mit Strohballendämmung werden auf die Zangenträger aufgesetzt. Im Anschluss werden über die Bodenteile vollflächig OSB-Platten verlegt



4. Vorgefertigte Deckenelemente mit Lehmziegeln und Schilfdämmplatten werden auf die Zangenträger des Obergeschosses aufgesetzt.

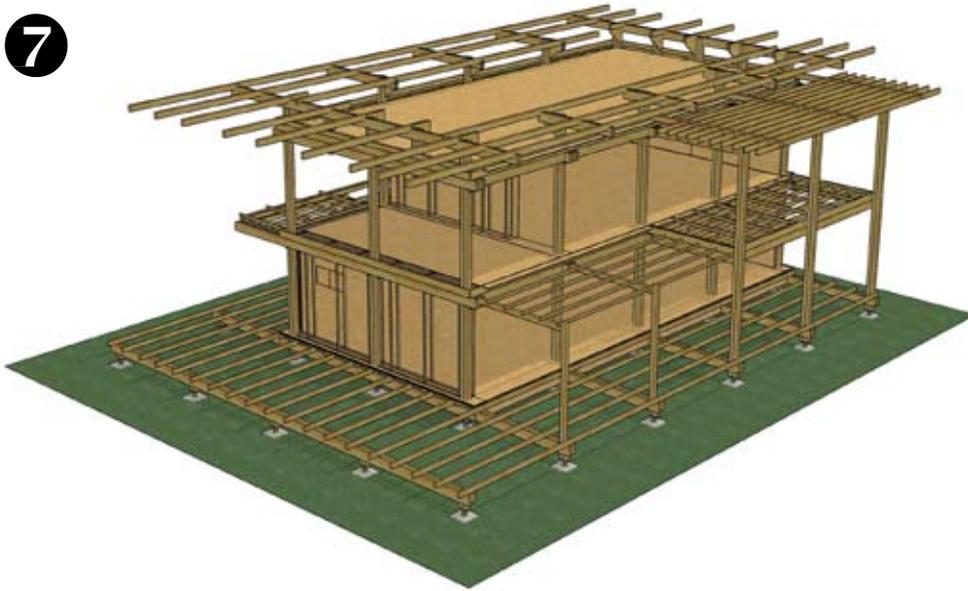


5. Für das Dach werden ebenso vorgefertigte Bodenelemente mit Strohballedämmung auf die Dach-Zangenträger aufgesetzt.



6. Wandfertigteile, bestehend aus einer Verlattung und einer innenliegenden OSB-Platten-Schalung werden in die Haupttragstruktur eingesetzt.

7



152

7. Die Konstruktion für Terrasse, Balkon, Dach und Wintergarten wird errichtet.

8

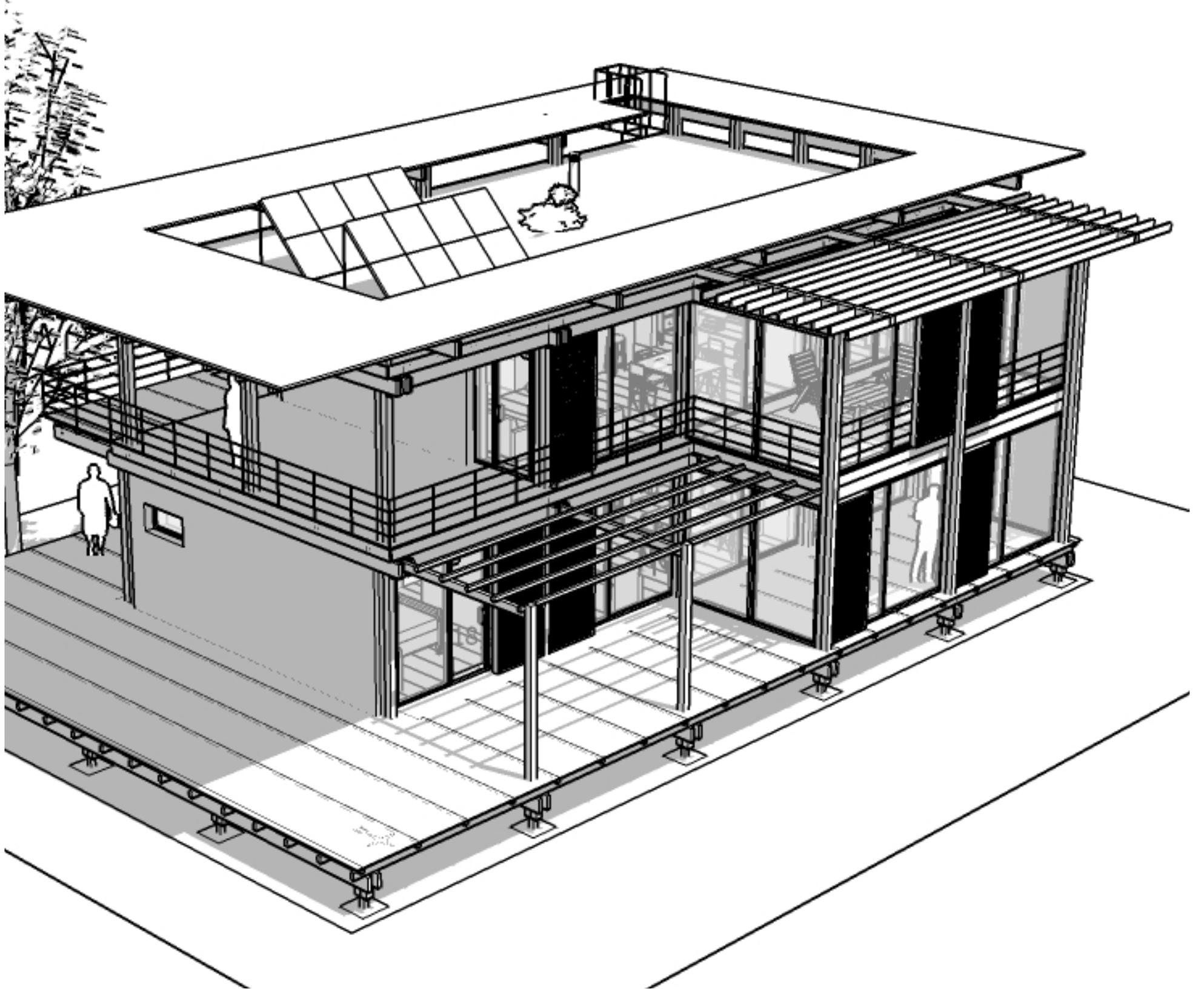


8. Das Dach wird errichtet. Sodann können die Wände mit Leichtleh ausgefacht werden.

9



9. Die Böden werden verlegt und die Fenster eingesetzt. Darauf kann mit dem Innenausbau begonnen werden.



- _ bauplatz
- _ konzept
- _ referenzprojekte
- _ zielsetzungen
- _ projektskizzen
- _ projektpräsentation
- _ projektüberprüfung

1. Behaglichkeit im Sommer und Winter

Der thermische Komfort bzw. die thermische Behaglichkeit ist ein weitgehend subjektiver Begriff. Normalerweise werden Temperaturen zwischen 20 °C und 26 °C (Lufttemperatur im Schatten) als angenehm empfunden. Diese Werte variieren Individuumsbezogen und hängen zum Beispiel von der momentanen Bekleidung ab. Zur Lufttemperatur und der Bekleidung gesellen sich noch weitere Faktoren die in ihrem Zusammenspiel Behaglichkeit ausmachen:

- Die Luftfeuchtigkeit
- Die Luftgeschwindigkeit in der Umgebung der Haut des Menschen
- Die Temperatur der Wände des Raumes in dem man sich befindet
- Die Temperatur der Objekte, die mit dem Körper in Kontakt sind
- Das Niveau unserer Aktivität

Zum Beispiel können wir bei einer Lufttemperatur von 29 °C zu warm haben, wenn die Luftfeuchtigkeit hoch ist, denn die Verdampfungen des Schweißes ist verlangsamt. Genauso werden wir zu warm haben, wenn die Luft steht und wenn die

Oberflächentemperatur des Raumes (Wände, Decke und Boden) ähnlich warm wie die Lufttemperatur ist, denn die Strahlungswärme unseres Körpers auf die Raumbooberflächen ist verlangsamt. Umgekehrt können wir uns bei 29 °C wohl fühlen, wenn die Luft trocken und in Bewegung ist oder die Wände kühl sind.

- Als angenehme Luftfeuchtigkeit werden Werte zwischen 45 % und 50 % befunden. Unterhalb von 20 % Luftfeuchtigkeit erscheint uns die Luft zu trocken, oberhalb von 80 % Luftfeuchtigkeit sind ertragbar wenn die Temperatur nicht zu hoch ist. In einem bewohnten Raum wird ein Großteil der Luftfeuchtigkeit durch die Ausatmung gebildet (60 Gramm Wasserdampf/Stunde), beim Kochen und Duschen. In der Heizperiode ist die Luft meist zu trocken und muss zusätzlich befeuchtet werden.

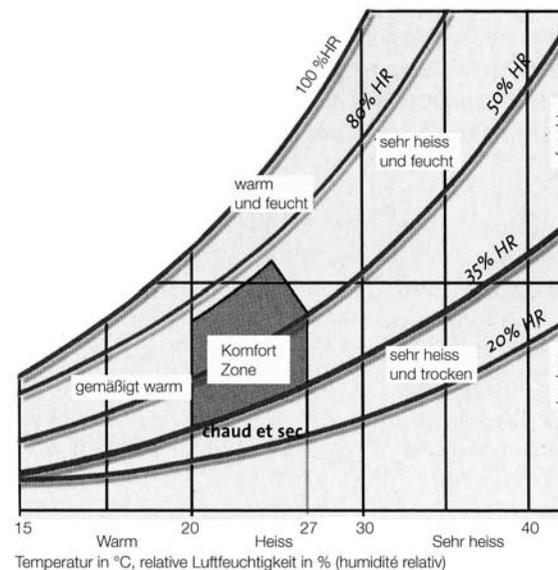


Abb. 211: Thermischer Komfort

- Luftbewegungen und ihre kühlende Wirkung sind uns bekannt und im Sommer willkommen. Ein Komfort der Luftbewegung ist eng mit der Lufttemperatur verbunden. Bei 26 °C empfinden wir eine Bewegung von 0,4 m/s als angenehm, hingegen werden bei 20 °C Luftbewegungen mit 0,15m/s als unangenehm empfunden.

- Die Auswirkung der Oberflächentemperatur ist äußerst wichtig für das Behaglichkeitsempfinden. Dies wussten schon die Römer vor 2000 Jahren, die ihre Thermen basierend auf dem Prinzip der „Hypokausten“-Systeme beheizten. Hypokausten- Heizungen arbeiten mit Strahlungswärme. Sie erwärmt nicht die Luft sondern den gesamten Raum indem die Wärme auf die Wände, die Möbel und Menschen im Raum strahlt. Dadurch findet man sich in Innenräumen wie bei Sonneneinstrahlung von Wärme eingehüllt. Die Temperatur, die wir wahrnehmen, ist nicht die Lufttemperatur sondern das Mittel aus der Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperatur.

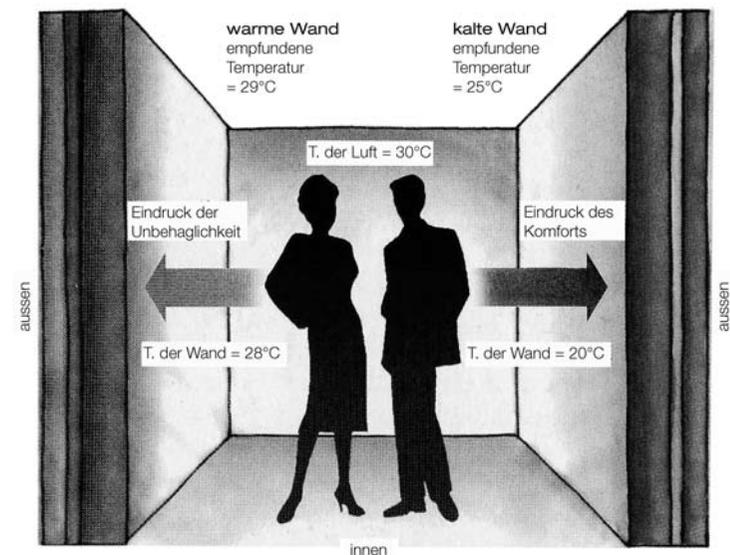


Abb. 212: Wahrnehmung der Oberflächentemperatur

Die Wände der Gebäude in Holzskelettbauweise sind mit Holzleichtlehm ausgefacht. Das Materialgemisch aus Holz und Lehm, vereinigt mehrerer positive bauphysikalische Eigenschaften:

- Wärmedämmender Leichtlehm (400 bis 800 kg/m³) ermöglicht ein behagliches Raumklima mit hohen Oberflächentemperaturen. Das relativ hohe Flächengewicht der Wände im Zusammenspiel mit einer guten Dämmung garantiert eine gute Wärmespeicherung wodurch Außentemperaturschwankungen im Winter ausgependelt werden können und auch im Sommer ein ausgeglichenes Innenklima gehalten werden kann. Zur Wärmespeicherung tragen zudem die Innenwände in massiver Lehmbauweise bei.
- Der Lehm übernimmt außerdem die Aufgabe die Luftfeuchtigkeit zu regulieren indem er bei Bedarf Feuchtigkeit schnell aufnehmen und abgeben kann.
- Eine weitere positive Eigenschaft von Leichtlehmausfachungen ist, dass sie eine winddichte Oberfläche mit dem Holzskelett bilden, wodurch sich Dampfsperren erübrigen.



Abb. 213: Leichtlehmwände

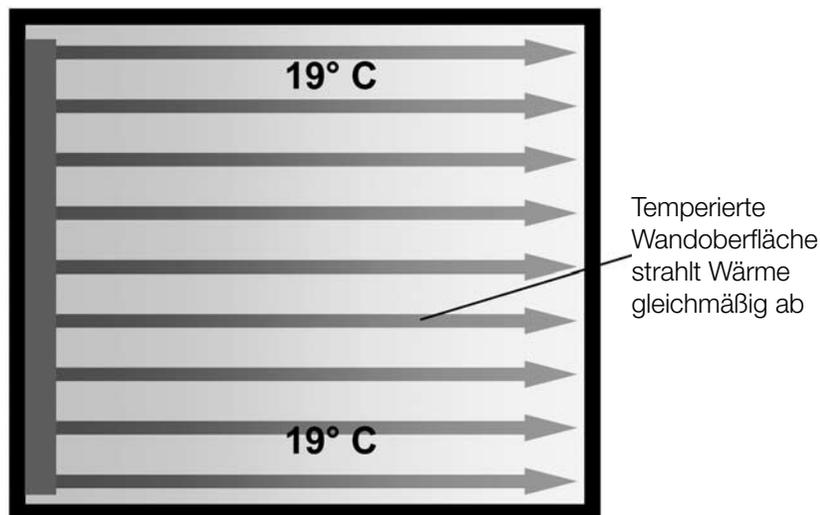


Abb. 214: Konvektionsstrahlung



Abb. 215: Einbau von Wandheizungselementen aus Lehm

Die benötigte Restwärme zur Beheizung des Gebäudes in den Winterspitzen wird durch Wandheizungselemente aus Lehm zugeführt. Dies ermöglicht es bei einer relativ geringen Raumlufttemperatur eine hohe Behaglichkeit zu erreichen. Gerade der Umstand, dass die Luft relativ kühl bleibt, bietet einige Vorteile:

- Die Kondensierung von in der Raumluft enthaltenem Wasserdampf und damit verbundene Folgen wie z.B. Schimmelbildung verringern sich.

Flächenheizsysteme arbeiten mit niedrigen Temperaturen. Die Wasservorlauftemperaturen liegen im Bereich von 35 °C - 45°C, statt bei Maximaltemperaturen von ca. 70 °C bei konventionellen Heizkörpern.

- Mit Wandheizungen kann ohne Verlust an Behaglichkeit die absolute Raumtemperatur von z.B. 20 °C auf 18 °C reduziert werden. Das Absenken der Raumtemperatur um ein Grad Celsius bringt eine Kostenersparnis von bis zu 6 %.

- Bei Niedrigtemperatur-Wandheizungen werden keine Luftbewegungen hervorgerufen, die allergen- und schadstoffhaltige Stäube aufwirbeln.

- Vor Überhitzung werden die Gebäude einerseits durch Schattenspendende Dachüberstände geschützt. Andererseits sind sie gut belüftet, da eine Luftzirkulation am Boden und unter dem Dach ermöglicht ist. Das Flugdach beschattet zusätzlich einen Teil des Gründaches, welches in kalten Jahreszeiten zur Kühlung des Gebäudes beiträgt.

Jeden Tag zirkulieren in einem erwachsenen Menschen etwa 14 m³ Luft. Bei körperlichen Anstrengungen kann sich diese Summe vervierfachen. Das Luftgemisch, das uns umgibt, besteht aber nicht nur aus den uns am Leben erhaltenen Gasen sondern auch aus schädlichen Substanzen. Treibhausgase, Verbrennungsgase, Industrieabgase gehören dazu. Unser Organismus ist darauf ausgelegt ein gesundes Ambiente als Atemluft zur chemischen Verbrennung zu verwenden und kann sich nur schlecht an toxische Substanzen anpassen. Die Folgen sind oft pathologische Schäden.

Die Qualität der Luft sollte in Innenräumen, wo Menschen bis zu 90 % ihrer Zeit verbringen, möglichst gut sein. Das heißt, sie sollte frei von die Gesundheit beeinträchtigenden oder schädigenden Stoffen wie Lösungsmittel, Formaldehyd oder Schimmelpilzsporen sein.

Daher gilt der Wunsch schadstoffarme Baustoffe einzusetzen und bei der Verarbeitung auf chemische Substanzen zu verzichten.

- In Innenräumen sammeln sich große Mengen an Staub an. Im Hausstaub findet man meist hohe Konzentrationen an Schadstoffen und Allergenen. Er bietet Lebensraum für Viren, Bakterien, Pilze und Milben. Die Mobilisation des Staubs hängt vom Lüften und entscheidend auch vom Heizsystem ab. Je niedriger die Temperatur im Heizsystem ist, desto geringer ist die Luftbewegung.

Eine natürliche Lüftung und das Eindringen der Sonnenstrahlen (nicht gefiltertes Eindringen wie z.B. Fensterglas, welches UV-Strahlen passieren lässt) können dem entgegenwirken und Bakterien und Viren abtöten. Ebenso ist eine kontinuierliche und gründliche Reinigung unserer Innenräume und der Beseitigung von Staub wichtig.

- Ausdunstungen von CO₂ und CO müssen abgeleitet werden können.

- Ebenso muss die Luft frei von toxischen Ausdunstungen wie Kleber, synthetischen Materialien oder Holzbehandlungsstoffe sein. Über Nahrungsmittel, welche diese Stoffe aus der Luft absorbiert, können sie in unseren Körper gelangen.

Isolation	Giftigkeit	Giftigkeit der Herstellung	Belastung der Umwelt beim Abriss	Perspiration	Fähigkeit Feuchtigkeit aufzunehmen	Kalter Standort	Brandverhalten	Preis	Alterung	Dämmwert	Gesamturteil
Kork	33,00	-	++	++	++	+	++	-	--	++	7
Kokosfasern	0	-	++	++	++	+	++	-	--	++	7
Holzfasern	0	-	++	++	++	+	++	-	--	++	7
Holzwohle	0	-	+	++	+	+	++	+	--	-	5
Strohplatte	0	0	++	++	++	+	+	-	-	+	6
Strohleichtlehm	0	0	++	++	++	++	++	++	++	-	11
Zellulose	0	0	+	++	++	+	0	0	++	++	7
Polyurethane	--	--	--	--	--	0	-	--	-	++	-12
Polystyrene	--	--	--	--	--	0	-	--	++	++	-9

Zeichenerklärung: 0 nicht relevant/ - schlecht / -- sehr schlecht / + gut/ ++ sehr gut

Abb. 216: Beurteilung verschiedener Dämmstoffe nach physikalischen und ökologischen Qualitäten

- Luftbewegungen

Neben der Verwendung schadstoffarmer Materialien muss auch eine Luftdichtigkeit der Gebäude erreicht werden, um sicherzustellen, dass es zu keinem unangenehmen Zug oder Gerüchen von außen kommt. Luft die schneller zirkuliert als 25 cm/sec bei normaler Raumtemperatur von 20 °C wird als störend eingestuft.

- Lüfterneuerung

Es ist absolut notwendig in Innenräumen regelmäßig die Luft zu erneuern. In einem Innenraum sollen bei 21 % Sauerstoff der Kohlenstoffdioxidgehalt kleiner als 0,04 % sein. Bei schlechter Luftqualität mit 20 % Sauerstoff und weniger als 0,07 % Kohlenstoffdioxid stellen sich

die ersten Beschwerden wie Müdigkeitserscheinungen und Kopfweh ein. Bei 15 % Sauerstoff und 5,4 % Kohlenstoffdioxidkonzentration droht Erstickengefahr.

Quelle: IBB Rosenheim

Orientierungswerte zur Lüfterneuerung:

Wohnräume 15-20 m³/h/Person

Küche/Badezimmer 30 - 40 m³/h/Person

Büro/Restaurant 30 m³/Person

Säle 25 m³/Person

Material	Staub/Rauch	CO,CO2 Kohlenstoffmonoxid Kohlenstoffdioxid	HF Fluorwasserstoffe	SO2 Schwefeldioxid	NOx Stickstoffoxide	CxHy Kohlenwasserstoffe
Eisen	1,6	8,5	0,1 - 0,3	1,7	2,7	+
Aluminium	1 - 4,5	+	0,03 - 0,6	+	+	+
Kupfer	+	+	+	+	+	+
Plei	+	+	+	+	+	+
Zink	+	+	+	+	+	+
Naturstein	+					
Sand	+	+	+	+		
Kieselsteine	+	+	+	+	+	+
Kalk	0,3 - 3	600		0,7 - 1,7	+	+
Zement	0,3 - 2	500	+	0,5 - 1,4	+	+
Ziegelsteine	0,5		+	0,4 - 1,4	+	+
Kalksandstein	0,5	45		0,1 - 0,2		
Beton	0,1 - 0,7	170		0,2 - 0,5		
Glas	+	186	+	0,7 - 1,7	+	+
Synthetische Materialien	+		+	2,3	+	1,5+
Holz	+		+	+		

Abb. 217: Übersicht Toxischer Gase, die bei der Herstellung verschiedener Materialien frei werden.

Zur ökologischen Qualität eines Bauwerks gehören Energieeinsparung und Abfallverminderung; darüber hinaus ist es wichtig, natürliche Ressourcen zu sparen und die Umwelt zu schonen.

Es fängt bei den primären Ressourcen der Natur an. Der Natur ihre Primärenergien zu entziehen hat gravierende Auswirkungen auf die Umwelt. Die Einwirkungen variieren je nach dem ob diese Ressourcen der Erde (mit oder ohne Hilfe des Menschen hergestellt) in einem Zyklus von einem Jahr oder mehrerer Jahre produziert werden oder ob es sich um Ressourcen handelt, die nicht reproduzierbar sind oder nur über einen sehr langen Zeitraum reproduziert werden. So sind die fossilen Energieressourcen und Metalle nur begrenzt vorhanden. Steine, Sand, Kalk und Erde sind hingegen weitreichend vorhanden. Das Zusammenspiel verschiedener Faktoren macht die Ökologie eines Stoffes aus: Die Primärenergie, Transportkosten und Aufbereitung, die Produktion der sekundären Produkte und der Abfälle, die Möglichkeit der Wiederverwertung des Endproduktes.

Zu den Produkten aus Biomasse gehört Holz, Kork sowie Pflanzenfasern. Letztere können in kurzer Anbauzeit (einem Monat bis einem Jahr) gewonnen wer-

den, wie es auch bei Hanf, Stroh, Baumwolle, Rohrzucker, Leinen der Fall ist. Diese Stoffe sind vor allem zur Isolation geeignet.

Pflanzen mit einer längeren Reproduktionszeit sind Bäume. Der Kork der Korkeiche kann zum Beispiel etwa alle 9 bis 12 Jahre vom Stamm geschält werden.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Gewinnung und Herstellung von Naturmaterialien wenig Energie in Anspruch nimmt, jedoch viel Handarbeit erfordert.

Zur Primärenergie und den Energie zur Herstellung der Baumaterialien reihen sich weitere Energieaufwendungen wie durch Transport oder Lagerung verursacht. Darum erhöht jeder Transport eines Materials die energetische Bilanz und die Belastung der Umwelt. Ein weiterer Aspekt ist die Verschmutzung der Umwelt, die bei der Produktion des Baustoffes verursacht wird. In Folge zählt auch die Belastung der Umwelt durch anfallende Abfälle auf einer Baustelle eine Rolle, da diese oft von großem Ausmaß sind.

Schlussendlich gehört zur ökologischen Bilanz auch die Lebenserwartung des Gebäudes dazu.

Die eingesetzten Baumaterialien Holz, Stroh, Schilf, Erde sind natürliche und gesunde Materialien.

Holzleichteilm

- Ökologische Vorteile:

Regenerierbarer Rohstoff, teilweise Speicherung an organischem CO₂ über Nutzungsdauer. Durch einfache Gewinnung im Tagbau ist für die Lehmaufbereitung und auch die Verarbeitung wenig Energie nötig. Die eingesetzten Rohstoffe sind regional und in großen Mengen vorhanden.

Die Lebensdauer von Holzleichteilmwänden wird mit > 30 Jahren angegeben.

- Recycling: Der ungebrannte Lehm ist abhängig vom Verrottungsgrad des Holzes und ohne problematische Oberflächenbehandlungen leicht wiederverwendbar oder in die Natur rückführbar.

- Humantoxizität: keine

Schilfdämmplatten

- Ökologische Vorteile:

Speicherung von CO₂ durch Kohlenstoffbindung über Nutzungsdauer. Bei nachhaltiger Nutzung ist die Weiterverarbeitung des bei der Pflege ohnehin anfallenden Schilfes zu Bauprodukten sinnvoll. Die Mäharbeiten sollten vor der Rückkehr der Schilfbrüter eingestellt werden.

- Recycling: Wiederverwertung. Bei sortenreiner Trennung (inkl. Eisendrähte); Kompostierung möglich; Verbrennung.

- Humantoxizität: keine

Strohballen

- Ökologische Vorteile:

kulturlandschaftlicher Zusatznutzen; regional verfügbarer Rohstoff mit hoher Verfügbarkeit. Die Herstellung einer Strohballenwand hat einen ökologischen Fußabdruck von nur 2364 (m²a/m²Wand); im Vergleich Beton-EPS-Wand 24915 (m²a/m²Wand). Das heißt,

Beton mit einer EPS-Dämmung hat einen 10,5-mal so großen Flächenverbrauch wie Holzständerbauweise mit Strohballendämmung.

Der ökologische Fußabdruck berechnet die benötigte Fläche, die zur Wiederherstellung von verbrauchter Energie und verwendeten Rohstoffen bzw. zu deren Entsorgung notwendig ist.

- Recycling: Ist vollständig abbaubar

- Humantoxizität: eine chemische Behandlung des Strohs ist nicht erforderlich. Am besten verwendet man aber Bio-Stroh. Getreide wird bis zu fünfmal gespritzt (Fungizide, Insektizide, Wachstumshemmer, Ehrenbehandlung). Was bei konventionellem Stroh noch an Spritzmitteln enthalten ist und welche Auswirkungen evtl. Emissionen daraus haben, ist derzeit nicht bekannt.

- Primärenergiegehalt MJ/m³ 14

Holz

- Ökologische Vorteile: Holz ist einer der wenigen Wandbaustoffe, die regenerierbar sind. Die heimische Forstwirtschaft agiert nachhaltig, geringe Umweltbelastungen

- Recycling: Holz kann leicht recycelt werden. Eine Behandlung ohne chemischen Holzschutz vorausgesetzt, können Holzprodukte am Ende ihrer Nutzungsdauer problemlos wiederverwertet werden oder thermisch genützt werden.

- Humantoxizität: bindet Luftschadstoffe und verhindert elektrostatische Aufladung.

- Primärenergiebedarf: Holz aus lokalem Anbau, bereits bearbeitet und fertig zum Gebrauch, Transport inklusive: 300 kWh/Tonne, 180-240 kWh/m³
Konstruktionsplatten z.B. OSB-Platten, Transporte inklusive: 800-1500 kWh/Tonne, 160-1500 kWh/m³

Der Wohnraum sollte ein Rückzugsort sein, der Erholung und die Möglichkeit bieten sollte, frei von störenden Geräuschen und Lärm zu sein. Auch wenn Lärm keine spezifischen Krankheiten hervorruft, so kann aber der hervorgerufene Stress den Organismus schwächen. Dies kann sich beispielsweise bei schlechtem Schlaf durch Lärmbelastigungen manifestieren. So werden die Schlafphasen in einem lauten Umfeld bis zu 15 % verkürzt werden, was eine weniger gute physische Erholung zur Folge hat und damit den Organismus schwächt. Dies kann indirekt zu Krankheiten und Depression führen.

Man empfindet ein Umfeld mit 30 bis 35 dB in Innenräumen als ertragbar, im Freien bis zu 60 dB. Weiters geht man davon aus, dass eine kardiologische Reaktion während des Schlafes für Kinder bei 50 dB und für Erwachsene bei 60dB hervorgerufen werden kann und dass das Gehör ab 85 dB der Gefahr eines Schadens ausgesetzt wird. Bei 120 dB liegt die Schmerzgrenze.

Durch eine sorgfältige Planung und Bauausführung können Schallbrücken vermieden werden. Isolationen zum Luft- und Trittschallschutz müssen vorgesehen werden.

Umsetzung

Wände und Dach entsprechen den baulichen Schallschutznormen. Wohnungstrennwände sind zweischalig geplant.

Um den Straßenlärm einzugrenzen sind bauliche Maßnahmen im Sinne von Schallschutzwänden aus Lehm vorgesehen.

Holzleichtlehmwände

Schallschutz bei einschaliger Konstruktion: ca. 40 dB, beplankt bzw. zweischalig: 58 dB; Emissionsklasse: E1

Schilfdämmplatten

Schallschutz bei einschaliger Konstruktion: ca. 40 dB, beplankt bzw. zweischalig: 58 dB; Emissionsklasse: E1

5. Tageslicht und Besonnung

Das Licht der Sonne ist unentbehrlich für jede Lebensform und Lebensart. Die Wirkung des Lichtes auf den Menschen ist tief greifend. Eine mehrwöchige Isolierung gegen Sonnenlicht wirkt sich ohne Zweifel schädlich auf die körperliche und geistige Gesundheit des Menschen aus. Umgekehrt kann aber eine Überdosis Licht Hautkrebs zur Folge haben.

Gesetzlich sind Helligkeit und Besonnung in Wohnungen nur sehr begrenzt festgelegt. Dabei tragen helle und sonnige Wohnräume sowohl aus medizinischer als auch aus psychologischer Sicht wesentlich zum Wohlbefinden der Bewohner bei. Die richtige Orientierung eines Gebäudes mit genügend Fensterflächen ist das Um und Auf für eine gute natürliche Belichtung.

Die Prinzipien einer guten Belichtung lassen sich vom Lauf der Sonne ablesen:

Die Sonne beschreibt im Laufe eines Tages eine bogenförmige Bahn von Osten nach Westen. Im Süden steht die Sonne um 12 Uhr am höchsten. Die Höhe dieser bogenförmigen Sonnenbahn ändert sich während des Jahres. Im Sommer beschreibt die Sonne einen höheren Bogen als im Winter. Der Tag ist länger, weil die Sonne eine größere Bahn am Himmel zurücklegt. Am höchsten steht die Sonne am 21. Juni, am tiefsten am 21. Dezember.

Je steiler die Sonnenstrahlen einfallen, desto größer ist die von ihnen verursachte Erwärmung. Dieser Effekt ist zusammen mit der Neigung der Erdachse für die Jahreszeiten verantwortlich.

Eine ideale Raumkonfiguration und Orientierung lässt sich am Lauf der Sonne festlegen. Die Morgensonne weckt die Bewohner. Dann nehmen sie das Frühstück mit ihr in der Küche ein. Während des Tages ermöglicht es eine großzügige Öffnung im Süden das Sonnenlicht und die Sonnenwärme einzufangen. Am Abend dringt die Sonne in den Wohnraum.

Im Sommer können Pflanzen als natürliche Schatten-spender dienen und vor intensiver Sonneneinstrahlung schützen. Umgekehrt können im Winter, wenn die Pflanzen ihre Blätter abgeworfen haben die Sonnenstrahlen eindringen und den Raum aufhellen und erwärmen.

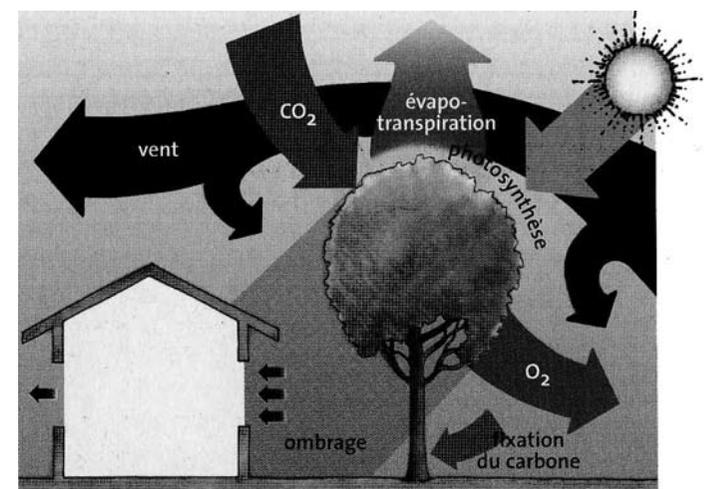


Abb. 218: Vorteile einer Vegetation

Umsetzung

- Die Raumkonfiguration ist weitgehend dem Lauf der Sonne angepasst. Wohnräume sind zu den bevorzugten Himmelsrichtungen (Osten, Süden und Westen) hin ausgerichtet. Versorgungsräume sind an der nördlichen Gebäudeseite angeordnet.
- Die Südfassade ist vollflächig verglast und bietet optimalen Sonneneinfall. Sonnenschutz wird durch ein weit auskragendes Vordach geboten sowie durch raumhohe, bewegliche Jalousien.
- Eine Laube an der Südfassade spendet durch natürlichen Pflanzenwuchs Schatten.

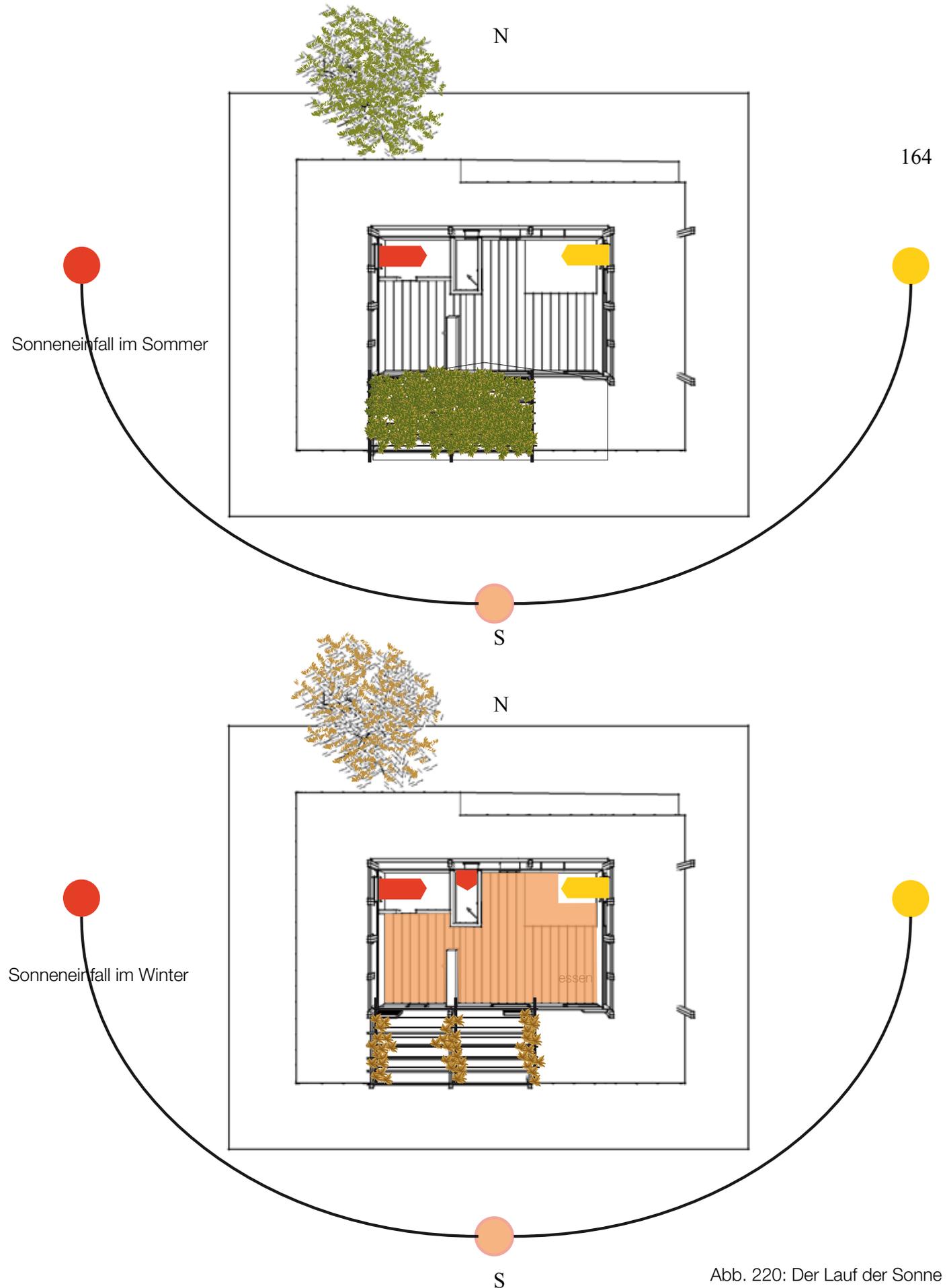


Abb. 220: Der Lauf der Sonne

Die negativen Auswirkungen von starker nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit sind wissenschaftlich erwiesen und unbestritten. Biologische Wirkungen treten schon bei geringer Intensität auf. Weil die Wissenschaft nicht abschätzen kann, wie schädlich diese Effekte sind, sollen aus Gründen der Vorsorge elektromagnetische Felder so gering wie möglich gehalten werden.

- Besonders Schlafräumen, in welchen man den Großteil der Zeit in der Wohnung verbringt, sollten möglichst frei von Elektromog. Die wichtigsten Verursacher außerhalb der Wohnung sind Sendestationen von Mobilfunk- und Rundfunkbetreiber, Hochspannungsleitungen, Trafostationen und Oberleitungender(Straßen-)Bahn. Quellen innerhalb der Wohnräume sind vor allem elektrische Geräte (Fernseher, Computer, Schnurlostelefone, Mobilfunktelefone sowie elektrostatisch aufladbare Materialien).

In den meisten Wohnungen wird die Feldbelastung nicht durch externe Emissionsquellen geprägt. Hauptursache des Elektromogs sind hier vielmehr die im eigenen Haushalt betriebenen Elektrogeräte. Zum Schutz der Gesundheit sollten vor allem permanent betriebene Geräte nicht in der Nähe von Orten platziert werden, wo sich Personen stundenlang aufhalten.

- Die natürliche Energiezirkulation

Wir wissen aus Erfahrung, dass ein blauer Himmel uns mehr entspannt als ein bedeckter Himmel. Der Grund dafür ist, dass die Wolken die kosmische Strahlung bremsen. Genauso bremsen oder blocken viele Baumaterialien die kosmische Strahlung von außen ab und lassen im Gegenzug Strahlung nicht austreten.



Abb. 221: Elektromog in Innenräumen

Gebäude aus Beton und Stahl:
Faradayischer Käfig; Einwirkungen der Elektromagnetische Strahlung, kosmische Strahlung und Erdstrahlung

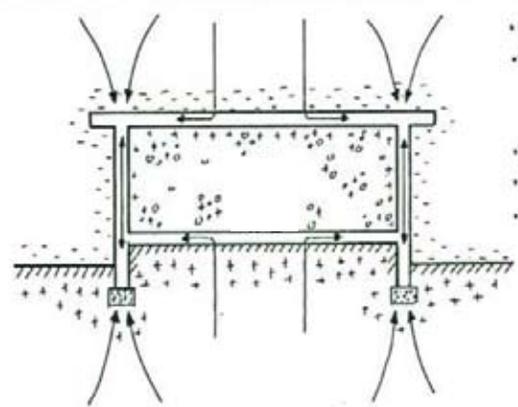


Abb. 222: Strahlungseinfluss eines Gebäudes aus Stahlbeton

Abbremsung verschiedener Strahlungen bei unterschiedlichen Dachkonstruktionen

1. Dach aus Beton mit Bitumen: 89 %
2. Dach aus Beton mit Aluminiumeindeckung: 83 %
3. Dach aus Beton mit PVC: 82 %
4. Dach aus Betonziegeln: 77 %
5. Dach aus gebrannten Ziegeln: 17 %

Gebäude aus Holz; Erde und Stroh: das natürliche Strahlungsfeld ist nicht gestört

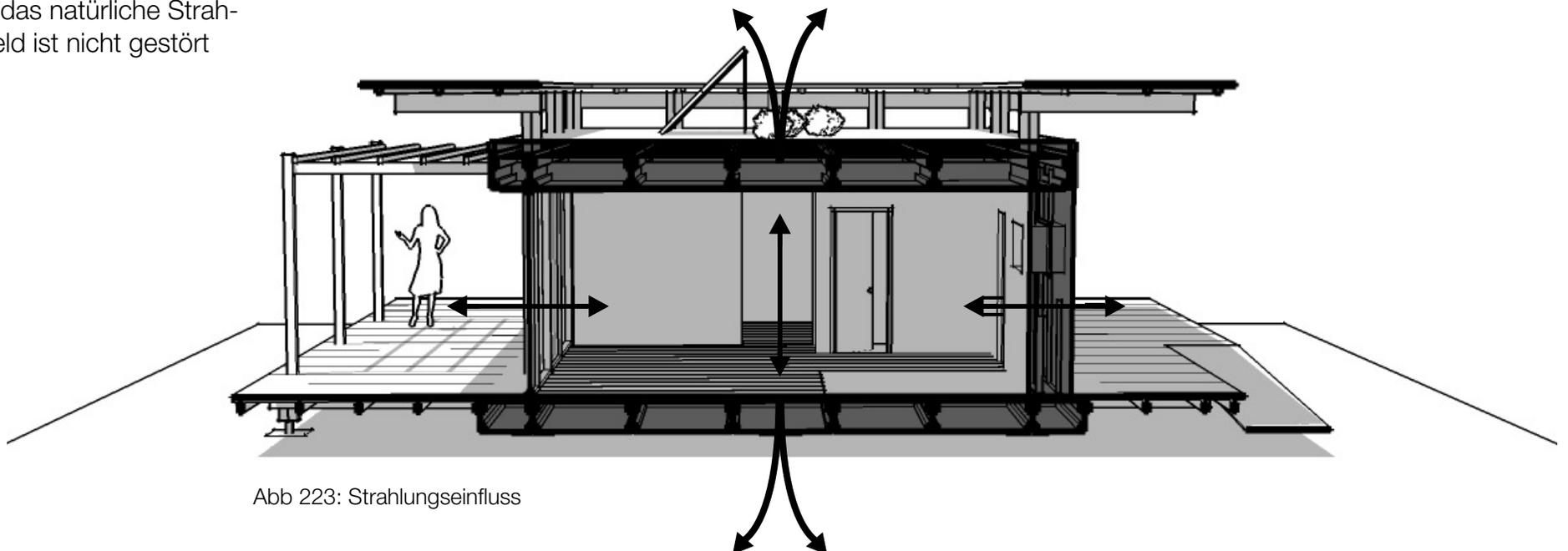


Abb 223: Strahlungseinfluss

Mit der Nutzung erneuerbarer Energieträger kann ein wertvoller Beitrag zur Schonung der Umwelt geleistet werden. Erneuerbare oder regenerative Energien, stehen nach unseren Zeitmaßstäben unendlich lange zur Verfügung. Zu ihnen zählt man die Solarstrahlung, die Erdwärme, Gezeitenkraftwerke, Windkraftwerke und Biomasse.

- Die Sonneneinstrahlung steht uns als pure und ursprüngliche Form der Energie überall und kostenlos zur Verfügung. Auf diesen Umstand baut das passive Energiekonzept auf. Es nutzt passive Energiequellen wie Sonne, Mensch, Haushaltgeräte und Raumluft, um einen Großteil des Wärmebedarfs zu decken. Die Wärmeverluste werden im Gegenzug so gering wie möglich gehalten. Der noch erforderliche Bedarf an Restheizung kann über ein Nachheizregister durch Zuluft oder Biomasseofen zugeführt werden.

- Heizen mit Holz hat viele Vorteile, denn Holz ist ein nachwachsender und erneuerbarer Energieträger. Darüber hinaus bleiben im Unterschied zu Heizöl meist lange und gefährliche Transportwege erspart und zugleich kann die heimische Wirtschaft und Landwirtschaft unterstützt werden. Im Vergleich zu fossilen Energieträgern verbrennt Holz CO₂-neutral. Das bedeutet, dass nur jene Menge CO₂ frei wird, die zuvor beim Wachstum aufgenommen wurde. Die gleiche Menge wird auch bei der Verrottung des Holzes freigesetzt.

- Durch den Einsatz moderner Technologie kann Holz sauberer und rauchfrei verbrannt werden und die Emission drastisch verringert werden. Dies ist bei Biomasse Nah- und Fernwärmewerke umsetzbar, indem naturbelassenes Holz in Heizwerken verbrannt und die Wärme über unterirdische Leitungen an die angeschlossenen Gebäude geliefert wird.

Um weniger Energie für Heizung und Kühlung eines Gebäudes aufzuwenden, sind gute Dämmungen der Bauteile von Wand, Dach, Boden, Fenster und Türen notwendig. Eine gut konzipierte Haustechnik ermöglicht einen sparsamen Umgang mit den Ressourcen, was niedrigere Betriebskosten und Umweltschonung durch geringere Emission bedeutet.

Umsetzung

Passive Nutzung der Sonnenenergie- Um die Verluste so gering wie möglich zu halten, sind die Gebäude kompakt geplant. Es verbraucht weniger Energie, weil es bei gleichem Volumen eine geringere Oberfläche und damit geringeren Wärmeverlust haben.

- Die Wärmedämmungen bei Wänden, Dach, Fenstern und Türen sind gut.

- Die Orientierung nach Süden ermöglicht eine großflächige Verglasung an der Südfront wodurch der Energieeintrag des Gebäudes gesteigert wird. Die Öffnungen an den anderen Seiten sind so klein wie möglich gehalten.

- Ein Wintergarten kann als Pufferraum angeschlossen werden, die solaren Gewinne erhöhen und als Pufferraum wirken.

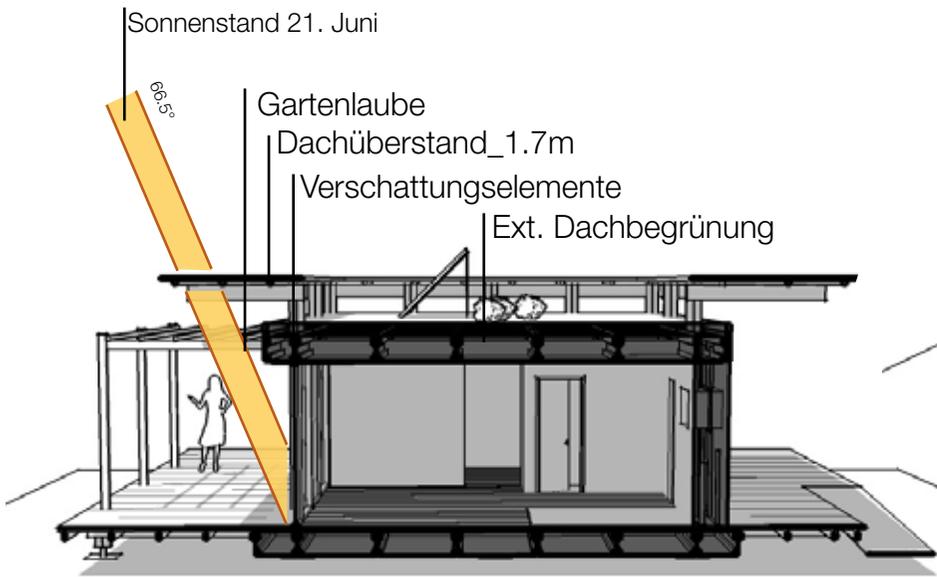
- In den Wintermonaten besteht der größte Heizwärmebedarf und gleichzeitig steht die Sonne am tiefsten, wodurch die Verschattung der Gebäude ansteigt und die passiven Solareinträge mindert. Um dem entgegenzuwirken, ist ein genügend großer Abstand zwischen den Gebäuden eingehalten.

Aktive Nutzung der Sonnenenergien

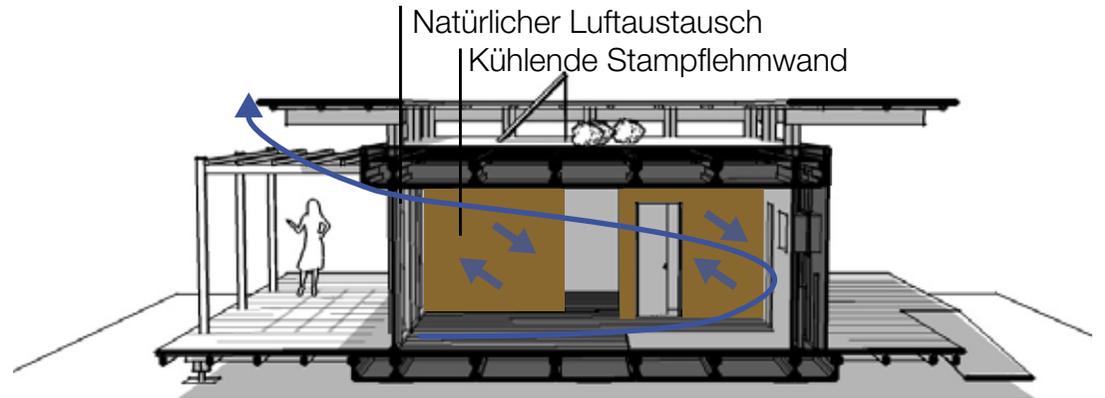
Eine thermische Solaranlage am Dach liefert Brauchwasser. 6 m² Flachkollektoren werden mit einem 400-Liter-Speicher für einen 4-Personen-Haushalt vorgesehen. Daneben werden nochmals weitere 12m² Flachkollektoren für die Raumheizung vorgesehen.

Passive Sonnenenergienutzung

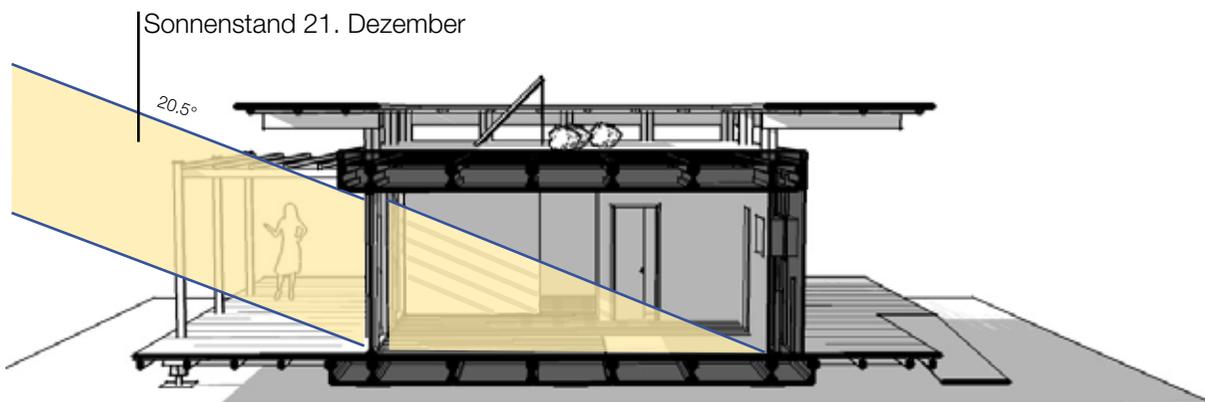
Sommertag



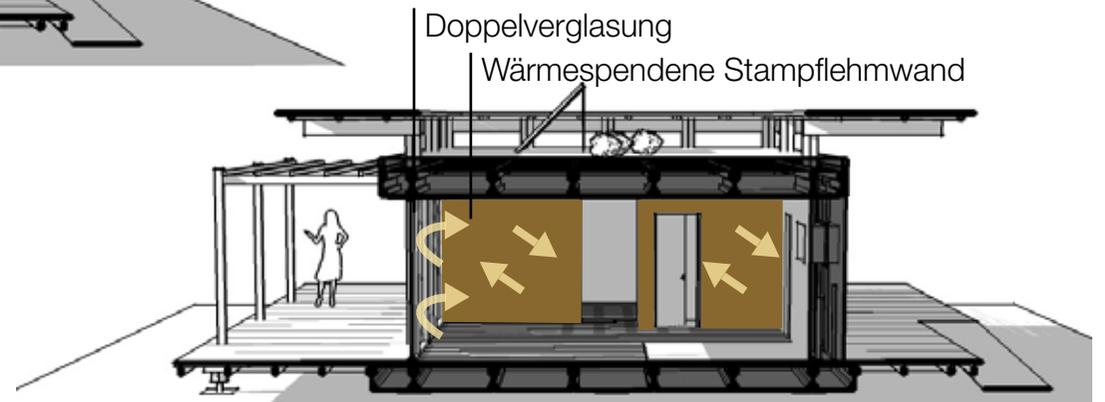
Sommernacht

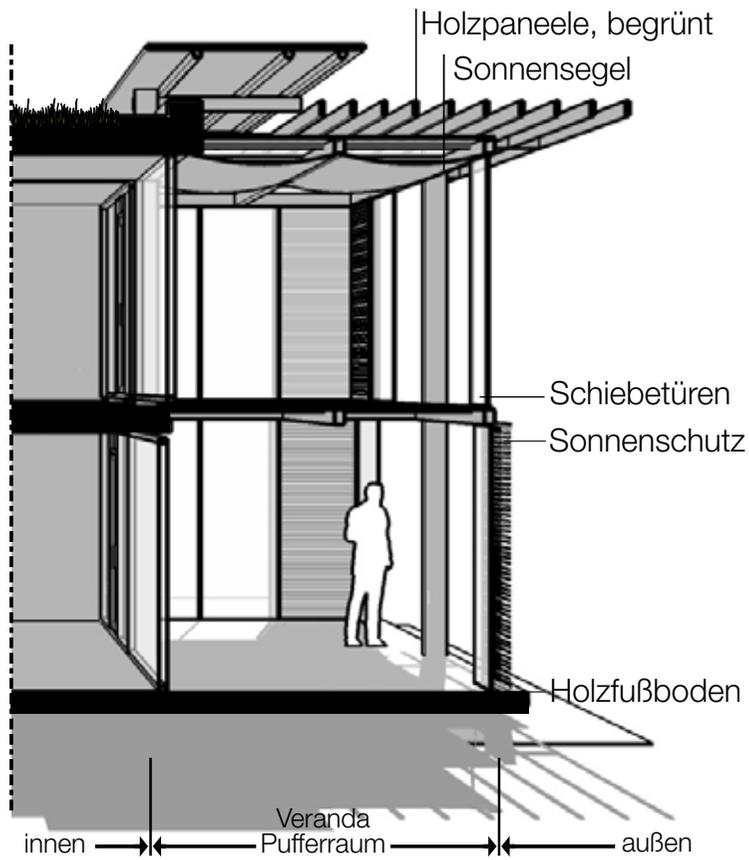


Wintertag

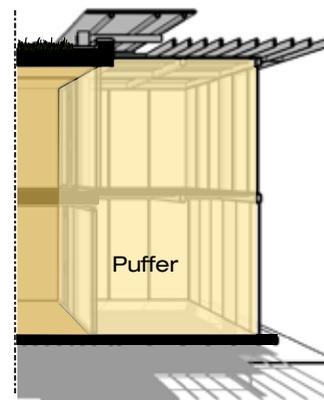


Winternacht



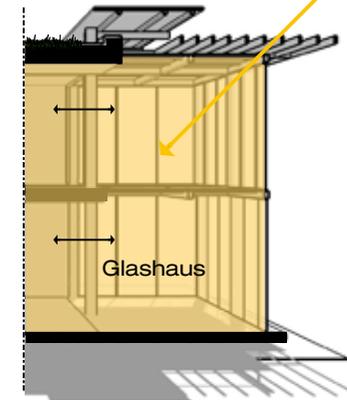


Situation 1: Wintertag
Bedeckter Himmel



Wintergarten als isolierender
Raum gegen die Kälte

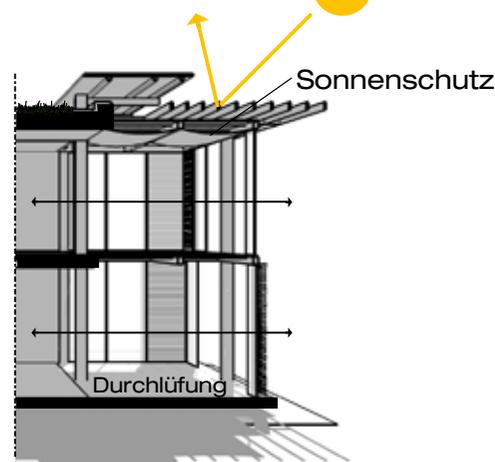
Situation 2: Winter- Frühlings-
Herbsttag, Sonnig



Nutzung der Sonnenenergie

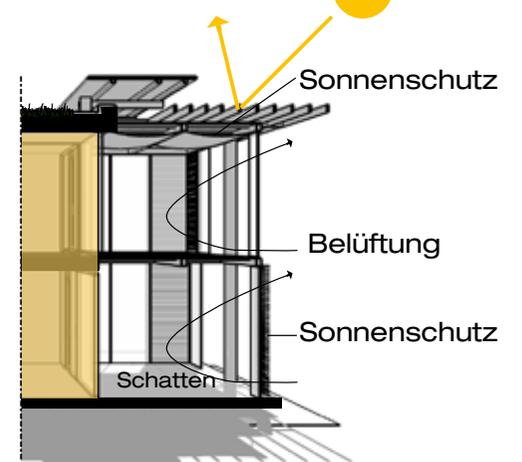
Ein Wintergarten kann entweder als Pufferraum werden oder als vollwertiger, zusätzlicher Wohnraum angeschlossen werden. Bei der zweiten Variante sind alle Bauteile von Bodenaufbau bis Verglasung ebenso hochgedämmt wie im Gebäude selbst.

Situation 3: Sommer
Sonnig, morgens



Offene, durchlüftete Veranda

Situation 4: Sommer
Sonnig, nachmittags



Veranda als Pufferraum gegen die Hitze

Wasser brauchen wir zum Leben wie den Sauerstoff zum Atmen. Der Pro-Kopf-Verbrauch in Frankreich liegt heute bei 150 Litern Wasser pro Tag und Person. Das europäische Mittel bei 150 bis 200 Litern. Dieser Wert hat sich seit den 1960 verdoppelt. Dabei werden vom Gesamtverbrauch des Trinkwassers nur 1 % getrunken, 6 % werden zur Ernährung verwendet, der Rest wird zum Waschen für Auto, Garten, Abwasch, Toilettenspülung, Dusche und Bad verwendet. Der Wasserverbrauch in Nordamerika liegt im Vergleich dazu mehr als doppelt so hoch, der eines Bewohners der Sahelzone liegt bei 5 Liter pro Tag.

Für die Erhaltung unserer Umwelt ist der sorgsame Umgang mit Wasser, unserer wohl wichtigsten Ressource, sinnvoll. So wie der Einbezug erneuerbarer Energien bei der Reduktion der Energiekonsumation anfängt, ist der erste Schritt auch im Energiehaushalt Wasser einzusparen, sich das Regenwasser zu Nutzen zu machen und Wasser aufzubereiten. Eingespartes Trinkwasser reduziert gleichzeitig auch Abwasser.

Eine Möglichkeit Wasser einzusparen ist es zweimal zu nutzen, indem das Bade- und Duschwasser auf biologisch-mechanischem Weg gereinigt und keimfrei im Sinne der EU-Richtlinien gemacht wird. Dieses Wasser kann als hygienisch-saubereres Klarwasser ein zweites Mal zum Wäschewaschen, für die WC-Spülung, zum Hausputz, zum Bewässern und Blumen gießen verwendet werden. Damit kann der Wasserverbrauch um bis zu 50 % gesenkt werden. Zusätzlich kann das Regenwasser in den Kreislauf miteinbezogen werden.

Einen weiteren Faktor zum Wasserhaushalt eines Gebäudes und Grundstücks beschreibt der Versiegelungsgrad der bebauten Fläche. Nicht versiegelte Flächen wie Grün, oder Kies oder eine Pflasterung erlauben ein Einsickern des Regenwassers und behindern den natürlichen Wasserkreislauf nicht. Dies bedeutet, dass das Wasser natürlich geklärt wird und dem Boden zu Gute kommen kann. Dies hat Auswirkungen auf die unmittelbare Umwelt, denn ein nicht versiegelter Boden atmet und liefert Feuchtigkeit und schützt vor Überhitzung.

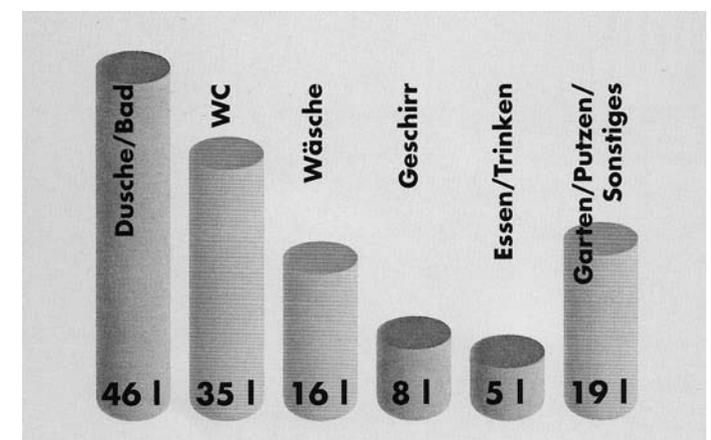


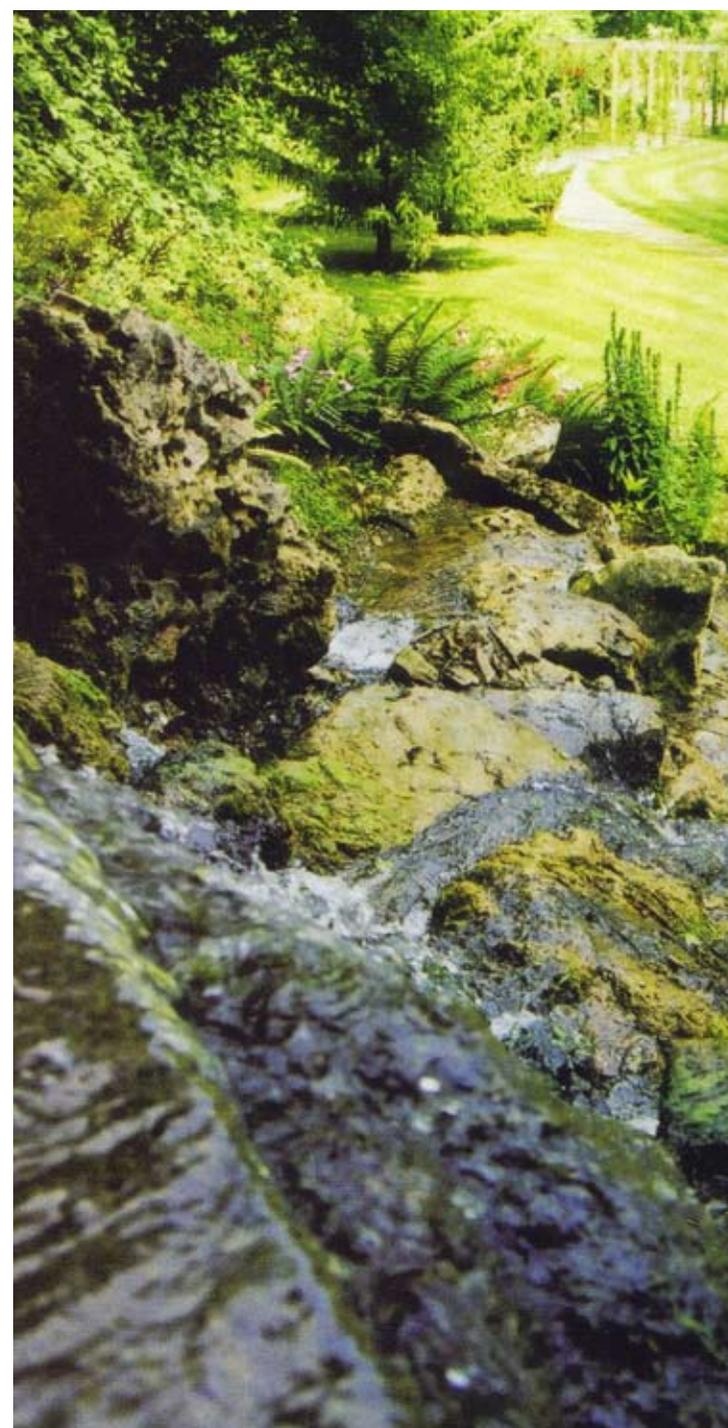
Abb 224: Verteilung des Wasserverbrauch

Umsetzung

Das Regenwasser wird über den Gründächern aufgefangen und in den Wasserkreislauf des Gebäudes eingebunden und kann als Brauchwasser genutzt werden. Überschüssiges Regenwasser wird über offene Rinnsale einem zentralen Teich zugeleitet, der als Wasserspeicher zur Bewässerung der Grünflächen dient und ein Ambiente mit Erholungsqualität schafft. Gehwege und Parkplätze werden nicht asphaltiert, sondern mit Rasengittersteinen gepflastert, um das Absickern des Wassers zu ermöglichen.



Abb. 225, 226: Regenwassergewinnung



V_ ergebnisse

Ergebnisse

Der erste Teil der Arbeit sollte einen Einblick in die Geschichte des Lehmbaus in Frankreich geben und die Entwicklung des Lehmbaus von den ersten gefundenen Zeugnissen bis zur Gegenwart beschreiben. Im Anschluss daran wurde näher auf die Technik des Pisé-Baus in der Region Rhône-Alpes eingegangen. Dieses Hintergrundwissen sollte einen gewissen Überblick über die Baukultur und die historische Bausubstanz aus Lehm in der Region Rhône-Alpes bieten. Im Rahmen der Arbeit konnte nicht näher auf weitere Lehmbautechniken eingegangen bzw. der Pisé-Bau außerhalb der Region weiter untersucht werden.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden meine persönlichen Erfahrungen beschrieben, die ich bei der Durchführung von Lehmprüfverfahren und Konstruktionsexperimenten mit Lehm sammeln konnte. Die Untersuchungen zur Ermittlung der Eigenschaften der Erde wurden mit den mir zur Verfügung stehenden Mitteln und der vorhandenen Laborausstattung gemacht. Selbstverständlich kann die Korngrößen-Analyse in geologischen Labors mithilfe einer Siebanlage exakter gemacht werden, ebenso wie die Sedimentationsanalyse, die mit Hilfe eines Röntgen-Sedimentometers genauer durchgeführt werden kann. Für einige Untersuchungen ist ein Ofen zur Trocknung der Erde mit konstanter Temperatur Voraussetzung, um genaue Ergebnisse zu erhalten. Da mir diese Hilfsmittel nicht zur Verfügung standen, sind einige Untersuchungen verfälscht. Allerdings waren die Untersuchungen mehr darauf angelegt, einen Zugang zum Baustoff zu erlangen als genaue Ergebnisse zu erhalten. Ebenso waren die Konstruktionsexperimente wichtig, um mit Augen und Händen den Baustoff Lehm zu erleben.

Das Projekt „Leichtes Bauen in Nord Isère“, das den Schwerpunkt meiner Diplomarbeit bildet, wurde einerseits auf Basis eines historischen und regionalspezifischen Kontextes ausgearbeitet und ist andererseits in einem technischem Wissen zu Lehm-, Holz- und Strohballenbau fundiert. Einen Einblick in die Strohballenbauweise konnte ich während der Sommermonate durch ein Praktikum und die Mitarbeit an einem Strohballenbau-Projekt in Südtirol gewinnen.

Mein Projekt versucht einen Beitrag zur Baukultur zu leisten, indem es eine Lösung zur Umsetzung des sozialen Siedlungsbaus durch Einbindung lokaler Ressourcen und Techniken sowie ökologisch nachhaltiger Kriterien aufzeigt.

Zur Entwicklung des Projekts haben verschiedene Inputs, insbesondere das architektonische Konzept des Leichtens Bauens beigetragen. Dieses Konzept weist verschiedene theoretische Ansätze auf, die eine vielseitige Umsetzung erlauben. Aufgrund der Fokussierung auf das Gebäude selbst, wurden städtebauliche Untersuchungen und Konzepte sekundär behandelt. Die Überprüfung des Projektes auf seine ökologischen Qualitäten konnte weitgehend durchgeführt werden, wenn auch die Berechnung des Heizwärmebedarfes der Gebäude wegen ungenauer Klimadaten nicht dokumentiert wurde. Der Kostenpunkt des Projektes wurde nicht ermittelt.



Abb. 227: Verputzen einer Pisé-Wand mit Lehmputz

Abschließend möchte ich festhalten, dass es mir durch die Diplomarbeit ermöglicht wurde, mich mit einigen „Randthemen“ der Architektur wie den Lehm-
bau und die Architektur der Nachhaltigkeit auseinanderzusetzen. Was die Zukunft betrifft, so möchte ich meine Kenntnisse im Berufsleben und vielleicht auch durch weiteres Studium vertiefen. Ich habe im Laufe meiner Recherchen insbesondere meine praktischen Erfahrungen zu schätzen gelernt und möchte sie nicht missen, wenn sie auch mit viel Schweiß verbunden waren.

VI_ literatur- und bildverzeichnis

- Abb. 1: <http://www.azurs.net/photos/gf-theatre-antique-fourviere.jpg>
- Abb. 2, 13, 46: Jeannet Jacky, Pignal Bruno, Le pisé. Patrimoine, restauration, Technique d'avenir, 2003
- Abb. 3, 14, 15, 16, 21, 45, 48, 49: Pignal Bruno, Terre Crue, 2005
- Abb. 4, 7: Seebass Christian Ludwig, Die Pisé-Baukunst, François Cointeraux, 1826
- Abb. 5, 6, 9, 47, 50: Schneider Jürgen, Am Anfang die Erde, Sanfter Baustoff Lehm, 1985
- Abb. 8, 11, 12: Christian Lignon, H 111 Octobre 1985
- Abb. 10: P.A.C.T., Le bâti ancien en Dauphiné. Connaissance de l'habitat existant, 1985
- Abb. 17, 18, 20: Jean-Pierre Oliva, Antoine Bosse-Platière, Maisons écologiques d'aujourd'hui, 2004
- Abb. 19, 26, 51-61, 65, 66, 71-74, 78, 84-86, 88-91, 99-106, 111-118, 120, 122-150, 152-176, 190-201, 206-209, 213, 220, 223, 227: Fotos Hannes Mahlke
- Abb. 22, 25: <http://terre.grenoble.archi.fr/index1024.htm> (Grains de bâtisseurs)
- Abb. 23, 24, 27-44: S. M. E. R., Group C.R.A.Terre, Group PISÉ, L'architecture de terre. Bâtiments caractéristiques de la région Rhône-Alpes, 1983
- Abb. 62, 63, 64, 67-70, 75, 76, 79-83, 87, 92-98, 107: Craterre-EAG, Blocs de terre comprimée : Procédures d'essais, 2000
- Abb. 77, 108-110: Craterre. Houben Hugo, Guillaud Hubert, Traité de construction en terre, 1989
- Abb. 119, 121, 151: Fotos Paccoud Grégoire
- Abb. 177: http://inra.fr/design/plain/images/cartes/rhone_alpes.gif
- Abb. 178: Landkarte der Region Rhône-Alpes
- Abb. 179: Atlas de France, n. 6, Hachette 2006-12-03
- Abb. 180: <http://www.nivolas-vermelle.fr>
- Abb. 181, 182, 184: http://www.isereportedesalpes.fr/fiches_communes.php?n=24
- Abb. 183: <http://www.petanque.org/postcards/pictures/large/Nivolas-Vermelle.jpg>
- Abb. 185-189: Fotos Capelaere Julien
- Abb. 202-205: <http://www.insee.fr>
- Abb. 210: <http://www.dieweltreisende.de>
- Abb. 211, 212, 218: Salomon Thierry, Aubert Claude, Fraîcheur sans clim', 2004
- Abb. 214, 215: <http://www.wem-wandheizung.de/content/downloads/flyer.pdf>
- Abb. 216, 217, 222 : De Boeck Alex, Depreeuw Mark, Esprit sain dans un corps sain dans une maison saine.
- Abb. 221: <http://www.bafu.admin.ch/php/modules/shop/files/pdf/php60wkQV.pdf> (Elektrosmog in der Umwelt)
- Abb. 224, 225, 226 : Zeitschrift: Habitat Naturel, Construire et Vivre sain, n° 8, mai-juin 2006

Lehmbau

Bücher:

- Schneider Jürgen, *Am Anfang die Erde, Sanfter Baustoff Lehm*, Frankfurt/Köln: Rudolf Mueller Verlag, 1985
- Dethier Jean, *Arquitecturas de Terra*, Lisboa: Fundação C. Gulbenkian, 1993
- Jorge Filipe, Fernandes Maria, Correia Mariana, *Arquitectura de Terra em Portugal*, Lisboa : Zamboni, 2005
- S. M. E. R. Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement de l'Ain, Group C.R.A.Terre, Group PISÉ, *L'architecture de terre. Bâtiments caractéristiques de la région Rhône-Alpes*, 1983
- P.A.C.T. Isère, Electricité de France, *Le bâti ancien en Dauphiné. Connaissance de l'habitat existant*, Paris: EDF, 1985
- Warzecha Rainer, *Bauen und Spielen mit Lehm*, Neuwied: Luchterhand, 1997
- CRATerre, *Blocs de terre comprimée. Eléments de base*, Eschborn, Allemagne: GATE, 1991
- ENTPE : Mesbah A., Morel J.C ., CRATerre-EAG : Houben H., Rigassi V. CDE, ENTPE, CRATERRE-EAG, *Blocs de terre comprimée : Procédures d'essais*, 2000
- Schreckenbach Hannah, *Building with earth*, Weimar: Dachverband Lehm, 2004
- Guillaud Hubert, Doat Patrice, *Cointeraux François. Pionnier de la construction moderne en pisé*, Villefontaine: Craterre, 1997
- Minke Grenot, *Earth construction handbook, The building material earth in modern architecture*, Southampton: WIT Press, 2000
- Güntzel Jochen Georg, *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland*, Dissertation Dipl.-Ing. Jochen Georg Güntzel, 1986
- Gernot Lucas (Symposium Frankfurt am Main 1981), *Lehmarchitektur. Rückblick, Ausblick*, Eschborn: Gate, 1982
- Schneider/Schwimann/Bruckner, *Lehmbau für Architekten und Ingenieure. Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und Normen, Rechenwerte*, Düsseldorf: Werner-Verlag, 1996
- Volhard Franz, *Lehmbau-Regeln. Begriffe, Baustoffe, Bauteile*, Braunschweig: Vieweg, 1999
- Niemeyer Richard, *Der Lehmbau und seine praktischen Anwendungen*, Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag- reprint, 1946
- Rauch Martin, *Lehm, Ton, Erde*, Ausstellung Feldkirch. 1998, Dornbirn: Wenin, 1988
- Volhard Franz, *Leichtlehmbau. Alter Baustoff- neue Techniken*, Heidelberg: Müller, 1995

- Kapfinger Otto, Martin Rauch. *Rammed earth*, Basel: Birkhäuser, 2001
 - CRATerre : Taxil G., Misse A., *Mayotte. Filière Blocs de Terre Comprimée. Typologie des éléments et systèmes constructifs*, Grenoble : CRATerre-EAG. SIM, 1999
 - Zogler Oliver, *Moderne Einfamilienhäuser aus Lehm. Neubauten und Renovierungen*, München: DVA., 2004
 - Jeannet Jacky, Pignal Bruno, Pollet Gérard, Scarato Pascal, *Le pisé. Patrimoine, restauration, Technique d'avenir. Pisé terre d'avenir*, Nonette: Créer, 2003
 - Seebass Christian Ludwig, *Die Pisé-Baukunst ;François Cointeraux. Das klassische Buch über die Kunst des Lehmbaus*, Leipzig: Baumgärtner, 1826
 - Craterre. Houben Hugo, Guillaud Hubert, Dayre Michel, Bard Pierre-Yves, Perrier Guy, Dath Fabienne, *Traité de construction en terre*, Marseille: Dethier Jean Ed. Parenthèses, 1989
 - Pignal Bruno, *Terre Crue*, Paris: Eyrolles, 2005
 - Ricolleau André, Vital Christophe, *Terres d'architecture. Regards sur les bourrines du marais de Monts*, Ecomusée du marais Breton Vendéen- Le Davidaud- La Barre de Monts, 2004
- Filme:
- Gondin-Roubaud A., *La terre grimpe aux murs*, Ethno-Ciné-Soleil, France 1986
 - Jendreyko V., *Prima Materia*, Nord Film Production, 1997
 - Warthmann Th., Stolz S., *Shibam, Des gratte-ciel en plein désert*, Filmquadrat GbR, 2004

Holzbau

- Savigliano (CN), *Architecture Bois*, Loft Publications, Edizioni Gribaudo srl, 2005
- Dominique Gauzin-Müller, *25 maison en bois*, Paris: Ed. du Moniteur, 2003
- Gros Serge, Lambouroud Patrick, *Au fil du bois. Portraits d'architectures*, Exposition "Portraits d'architectures : au fil du bois". Grenoble: Caue de l'Isère/ Crébois Isère, 2006
- Winter Wolfgang, *Bausysteme Holzbau*, TU Wien, Skritum Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, Technischen Universität Wien
- Götz Karl-Heinz, *Holzbau-Atlas*. Karl-Heinz Götz, München: Inst. Für Internat. Architektur-Dokumentation, 1980
- Minke Gernot, Mahlke Freidemann, *Der Strohhallenbau. Ein Konstruktionshandbuch*, Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag, 2004

Nachhaltigkeit und Leichtes Bauen

Bücher

- Atlas de la France n°6, Hachette 2001
- Collectif sous la direction de Capasso Aldo, *Architettura e leggerezza, il significato del peso nella costruzione*, Dogana, Ed. Maggioli Editore, 1998
- Roland Stulz, Mukerji Kiran, *Appropriate Building Materials*, Skat, Saint-Gall
- Dominique Gauzin-Müller, *L'Architecture écologique*, France: Groupe Moniteure, 2001
- Rudolfsky Bernard, *Architecture without Architects : a short introduction to no-pedigreed architecture*, London : Academy Editions 1965
- Stehen Bill, Stehen Athena Swentzell, Komatsu Eiko, *Build by Hand: Vernacular Buildings Around The World*, Salt Lake City: Gibbs Smith, Publisher, 2003
- Gili Galfetti Gustau, *Casas Refugio. Private retreats*, Barcelona : G. Gili, 1995
- Hassan Fathy, *Construire avec le peuple: Histoire d'un village d'Egypte : Gournah*, Paris : Actes Sud, 1999
- Contrat Global de Développement „Isère, Portes des Alpes“, Document de synthèse, septembre 2000
- Salomon Thierry, Aubert Claude, Cochet Yves, *Fraîcheur sans clim'*, Mens, France : Terre vivante, 2004
- Kur Friedrich, *L'Habitat écologique. Quels matériaux choisir ?*, Mens, France : Terre Vivante, 1998
- Jean-Pierre Olvia, *L'isolation écologique. Conception, matériaux, mise en œuvre*, Mens, France : Terre vivante, 2001
- Lantschner Norbert, *KlimaHaus. Leben im Plus*, Bozen: Edition Raetia, 2005
- Fouin Julilen, *Maison Bio. L'aménagement de la maison*, Paris: La Maison Rustique, 2000
- Wright David, Cook Jeffrey, *Manuel d'architecture naturelle*, Marseille: Ed. Parenthèses 2004
- Jean-Pierre Oliva, Antoine Bosse-Platière, Claude Aubert, *Maisons écologiques d'aujourd'hui*, Mens, France: Terre vivante et Patiño, 2002, 2004
- Lhomme Jean-Christian, Mathez Sabrina, *La maison économe. Dépenser moins d'énergie pour vivre mieux*, Paris : Delachaux et Niestlé, 2005
- Dubois Petroff Marie-Pierre, *Une maison plus saine pour ses habitants et l'environnement*, Paris : C. Massin, 2005
- De Boeck Alex, Depreeuw Mark, *Esprit sain dans un corps sain dans une maison saine. Sur l'habitat sain et sur la construction écologique*, Anvers : Association pour la santé dans la construction

- Ravereau André, Fathy Hassan, *Le M'Zab, une leçon d'architecture*, Paris: Sinbad, 2003
- Oppenheimer Dean Andrea, Hursley Timothy, *Proceed and be bold. Rural Studio after Samul Mockbee*, New York: Princeton Architectural Press, 2005
- Nicolas Pople, *Petites maisons*, Seuil, Paris, 2003
- Burey Philippe, *Rêves de Cabanes. Ou l'esprit cabane*, Fouleix : Le Jardins de la Brande, 2002
- Walter Witzel, Dieter Seifried, *Das Solarbuch. Fakten, Argumente, Strategien*, Energieagentur Regio Freiburg GmbH, 2. Auflage, 2004
- Goad Philippe, Murcutt Glenn, *Tropo Architects*, Singapore: Periplus, 2005
- Horden Richard, *Richard Horden - architecture and teaching. Buildings, Projects*, Basel-Berlin-Boston: Birkhäuser-verlag, 1999
- Phyllis Richardson, *XS Grandes idées, petites structures*, 2002

Zeitschriften:

- Abitare: *La casa ecologica*, Sverre Fehn A Norrköpping n° 326
- Quaderns, *Eclat: temps fugace, temps précaire*, n° 224, 2000
- Architectural Review, *Rick Joy*, n° 1246, 2000
- Detail: *Mikroarchitektur*, n° 12 2004
- Detail: *Construire simplement* n°3 Mai, 2001
- Wohnung + Gesundheit, Fachzeitschrift für ökologisches Bauen und Leben, Nr. 119, Sommer 2006
- Habitat Naturel, *Construire et Vivre sain*, n° 8, mai-juin 2006

Diplomarbeiten:

- Gaele Cattie, *Valorisation du patrimoine architectural du Nord Isère*, TPFE Ecole d'architecture de Grenoble, 2004
- Pasqualon Lisa, *Toucher la terre avec légèreté*, TPFE Ecole d'architecture de Grenoble, 2004
- Wilke Christophe, *Une approche de l'habitat économique*, TPFE Ecole d'architecture de Grenoble, 2005
- Le Tiec Jean-Marie, *Butterfly House*, TPFE Ecole d'architecture de Grenoble, 2005

Webseiten:

- <http://www.lbo.at/oekopass.htm> (Ökopass des Österreichischen Instituts für Baubiologie und Bauökologie)
- <http://www.ines.solaire.free.fr\dataclim> (Klimadaten Lyon)
- <http://www.infoclimat.fr> (Klimadaten zu Frankreich)
- <http://www.grat.tuwien.ac.at/publikationen.htm> (S-House Planen und Bauen für die Zukunft)
- <http://www.nawaro.com> (Nachwachsende Rohstoffe)
- <http://www.baubiologie.at>
- <http://www.architektur.tu-darmstadt.de/ee/publikationen> (Thema Forschung, 2/2004, Nachhaltige Architektur-Strategien und Forschungsbedarf, Prof. Manfred Hegger)
- <http://www.architektur.tu-darmstadt.de/ee/publikationen> (5. Leipziger Baugespräche „Bauen – Lust auf Zukunft“)
- <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/index.html?lang=de> (Elektrosmog)
- http://www.global2000at/pages/tstrom_elektrosmog.htm
- <http://www.terre.grenoble.archi.fr/index1024.htm> (Festival Grains d'Isère)
- <http://www.terre.grenoble.archi.fr/index1024.htm> (Grains de bâtisseurs)
- <http://www.meteonorm.com>

