

DIPLOMARBEIT

A Research Station in the Chilean Desert

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. phil. Andrea Rieger-Jandl

E251

Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für Architektur und Raumplanung

> von Judith Hofer 01326168

Wien, Mai 2020



Abstract

Die Wüste Atacama in Chile steht unter speziellen klimatischen Einflüssen, die sehr selten auf unserer Erde zu finden sind. Durch ihre Lage an der Westküste des amerikanischen Südkontinents werden die Niederschläge durch kaltes Auftriebswasser vom Festland ferngehalten und die Atacama stellt somit eine der trockensten Wüsten der Erde dar. In ihrem Zentrum findet sich seit Millionen Jahren ein hyperarides Klima. In der Atacama Wüste soll eine Forschungsstation entstehen, in welcher Themen wie Wüstenbildung, Wasserbildung und die Anpassung von Flora und Fauna an die klimatischen Bedingungen der Wüste untersucht werden. Zusätzlich wird Wohnraum für Forscher entstehen, die abgelegen von bestehenden Ansiedlungen die Ökosysteme der Atacama Wüste erforschen wollen. Die Forscher sollen sich autonom an diesem Ort aufhalten können. Auch Touristen sollen das Gebäude besuchen können und dort Zuflucht vor dem harschen Wüstenklima finden. Gleichzeitig soll die Forschungsstation durch ihre ökologisch nachhaltige Bauweise auf zukünftige Entwicklungen und Probleme aufmerksam machen. Das Gebäude, in dem aktiv Forschung betrieben wird, soll auf seine Umwelt reagieren und sich bestehende, traditionelle Wüstenarchitekur zum Vorbild nehmen. Das Projekt soll zudem Teil eines Diskurses der zukünftigen Desertifikation menschlicher Lebensräume sein.

The Chilean Atacama desert stands out due to its globally unique climatic conditions. Due to its location on the South American west coast precipitation is kept away by cold, upwelling water. The Atacama is said to be one of the driest deserts of the world. A hyperarid climate has dominated the region for millions of years. In this harsh climate a research station will be created to investigate topics like desertification, hydrology and the adjustment of flora and fauna to the existing climatic conditions. Additionally the architectural proposal will include housing for scientist that want to conduct research on the ecosystems of the Atacama Desert, far from existing settlements. The scientist staying at the station will be able to live autonomously for several weeks. Additionally visitors will have access to the building to escape the harsh desert climate. Simultaneously the ecologically sustainable building is supposed to address current developments and issues in architecture. The building, where research will be conducted, will react to its surroundings and take inspiration from existing, traditional architecture of desertic regions around the world. Furthermore the project will contribute to the discourse of the future desertification of human habitats.

Conclusio

Inhalt

Einleit	ung	3	
Glossar	·	5	
Traditi	onelle Wüstenarchitektur	7	
0.1	Zentralarabien, Najd	7	
0.2	Nordchina, Lössplateau	10	
0.3	Iran, Zentrales Plateau, Yazd	12	
0.4	Algerien, M'zab Tal	15	
0.5	Chile, $Precordillera$ - Pucará	18	
Die At	acama Wüste	23	
0.6	Geografie	23	
0.7	Klima	23	
0.8	Geologie/Morphologie	24	
0.9	Bevölkerung	26	
0.10	Tourismus	26	
Salar d	Salar de Llamara		
Forsch	ıngsstationen	33	
Entwurfsparameter			

41

Projekt	43		
0.11 Idee	43		
0.12 Lage	46		
0.13 Gebäudekonzept	50		
0.14 Raumprogramm	56		
0.15 Pläne	60		
0.16 Schaubilder	77		
Referenzen			

"An idea is salvation by imagination." – Frank Lloyd Wright.

Einleitung

Wüsten sind Erdräume, die sich entweder durch starke Trockenheit oder große Kälte und die daraus resultierende Trockenflora auszeichnen. Je nach Begriffsdefinition bedecken Wüsten zurzeit ungefähr ein Fünftel der gesamten Erdoberfläche. [59] Die weitere Ausbreitung von Wüstenregionen wird oft durch menschliches Eingreifen verursacht, in welchem Fall man von Desertifikation spricht. Weltweit wachsen die Wüsten insgesamt um etwa 70.000 m² pro Jahr. [49] Das bedeutet, dass sowohl die betroffenen Ökosysteme als auch menschlicher Lebensraum durch die fortschreitende Wüstenbildung beeinflusst werden. Vor allem Menschen werden sich durch die von ihnen vorangetriebene Desertifikation an ein Leben unter harscheren Bedingungen anpassen müssen.

Nichtsdestotrotz ist das Leben in der Wüste in manchen Erdteilen schon seit tausenden Jahren keine Besonderheit, auch wenn dieser Lebensraum oft schlichtweg aus Notwendigkeit gewählt wurde. Der Fokus dieser Recherche liegt darauf, gängige Prinzipien traditioneller Architektur in trockenen Erdteilen zu erkennen und anzuwenden. Im Zuge dessen werden die Möglichkeiten ausgetestet, einen Aufenthaltsort, ein Refugium im Rahmen einer Forschungsstation inmitten der chilenischen Wüste zu durchdenken.

Eine menschenleere Umgebung muss bei weitem nicht negativ behaftet sein. So kann gerade ein abgelegener Ort dazu anregen, sich auf wichtige Aufgaben und auf sich selbst zurückzubesinnen. Dieses Gebäude, platziert inmitten der Wüste an einem der chilenischen Salzseen, soll einen Rückzugsort für Forscher und Besucher bieten, um dem Klima zu entfliehen und inmitten der menschenleeren Landschaft zu forschen, zu denken und neue Ideen zu schöpfen.

Linear graben sich zwei Wege in die trockene Landschaft und führen einen an die Eingänge. Betritt man das Gebäude, so öffnen sich diese Wege und man befindet sich in einem länglichen, hohen Gang, an welchen sich die restlichen Räume anordnen und orientieren. Dieser Gang, der von den beiden Stirnseiten her das Gebäude erschließt, transformiert sich etwa im Gebäudezentrum in einen elliptischen, introvertierten Raum. Dieser fast meditative Raum dient, als gedachter Mittelpunkt des Gebäudes, zum Rückzug oder auch zur Kommunikation zwischen den Besuchern und Forschern. Der längliche Gang, der den Entwurf definiert, wird von Windtürmen aufgebrochen, welche natürliche Luftzirkulation zwischen den massiven Natursteinmauern gewährleisten. Der Gang kann dabei als nach innen verlegte Straße gedacht werden. Geschützt vor der Sonneneinstrahlung findet hier Bewegung und Austausch statt. Das Gebäude soll autonom an diesem abgelegenen Ort funktionieren. Um das zu erreichen, werden im Entwurf neben passiven Mechanismen, um das Raumklima zu regulieren, alternative Systeme, zum Beispiel zur Wassersammlung, vorgeschlagen. Um sensibel mit der Wüstenlandschaft umzugehen, ist der Entwurf klar in massive, bleibende Elemente und leichte, temporäre Elemente unterteilt. Sollte das Gebäude als Forschungsraum irgendwann nicht mehr genutzt werden, so bleibt eine Skulptur aus Naturstein in der Landschaft zurück und kann mit der Zeit wieder Teil des Ortes werden.

Umkehrosmose - physikalisches, druckbasiertes Verfahren zur Konzentrierung von in Flüssigkeiten gelösten Stoffen, Verfahren um verunreinigtes Wasser in Trinkwasser umzuwandeln

ü.NN - umgangssprachlich für über dem Meeresspiegel

Glossar

Atacameño - Indigene Bevölkerungsgruppe Lateinamerikas, zu finden im Becken des Salar de Atacama und Río Loa (Region Antofagasta, Chile), vereinzelt in der Salta Hochebene, Jujuy (Argentinien) und in der südwestlichen Hochebene von Bolivien [34]

Cordillera - spanisch für Bergkette oder Kettengebirge

Klimaklassifikation nach Köppen - von Wladimir Köppen entwickelt zur genauen Beschreibung einer Klimate mittels Klimaformel, Klimazonen und -typen werden mit Schwellenwerten (wie Durchschnittstemperaturen oder Temperaturgrenzen) voneinander abgegrenzt, der erste Buchstabe (z.B. B) bezeichnet die Klimazone (arid/semiarid), der zweite (z.B. W) den Klimatyp (arid) und der dritte den Klimauntertyp (z.B. heiß -Jahrestemperatur über 18 Grad oder kalt - Jahrestemperatur über 18 Grad)

Mesozoikum - Begriff aus der Geologie; erdgeschichtliches Mittelalter, das Trias, Jura und Kreide umfasst; Erdmittelalter (vor 252,2–66 Millionen Jahren)

Napa - Grundwasserschichten in unterschiedlichen Schichten des Grundes



Traditionelle Wüstenarchitektur

Ein Auszug

Seit Jahrhunderten werden auch lebensfeindliche Zonen der Erde wie etwa Wüsten von Menschen bevölkert. Die Gründe dafür sind vielfältig und reichen von der günstigen Lage entlang von Handelsrouten bis zum Aussparen fruchtbarer Flächen, um diese landwirtschaftlich nutzen zu können. Vor allem die traditionelle oder vernakuläre Architektur der Wüsten zeichnet sich durch ihre oft simple Bauweise und gleichzeitig hohe Effizienz im Hinblick auf Klimatisierung, Volumina und Materialbeschaffung aus. Dieser Auszug soll Architektur verschiedener geografischer Lagen, Bauweisen und Materialien wiedergeben. Analysiert wird diese meist ohne Architekten geschaffene Architektur in Hinsicht auf Klimatisierung, Isolierung, Kubatur, Materialien und Wasserversorgung. Diese Parameter ergeben sich aus den hohen Anforderungen an Wüstenarchitektur. Sie muss mit den vorhandenen komplizierten klimatischen Bedingungen arbeiten und diese gegebenenfalls ausgleichen. Wie bereits erwähnt, handelt es sich hierbei lediglich um einen Auszug verschiedener Bauweisen. Dieses Kapitel kann im Rahmen einer Masterarbeit kein gesamtheitliches Bild der traditionellen Wüstenarchitektur der Welt darstellen.

Zentralarabien, Najd 0.1

0.1.1Klimatisierung

Der Najd ist eine Landschaft im Zentrum der arabischen Halbinsel im heutigen Saudi Arabien. Die im Wüstengürtel liegende Region ist eine der trockensten größeren Regionen der Welt. Die im Najd vorkommenden Behausungen können als introvertiert beschrieben werden. Bestimmt durch die starke Hitze und Trockenheit sind einer oder mehrere Höfe fast immer zentrales Element dieser Häuser. Diese Höfe werden oft von einem etwa 1,5 Meter breitem Arkadengang umfasst, der für die Belüftung des Hauses essentiell ist. Zusätzlich finden sich in vielen Fassaden kleine dreieckige Öffnungen, die der Ventilation dienen und Regenwasser ableiten. In manchen Häusern werden auch rechteckige "Schaufeln"ausgebildet, welche dem Wind zugewandt sind, die Luft ins Gebäude ziehen und somit Luftzirkulation entstehen lassen. (siehe Prinzip Windturm) [25]

Isolierung 0.1.2

Die Temperaturunterschiede im Zentrum der arabischen Halbinsel betragen im Sommer zwischen 10 und 20 Grad Celsius zwischen Tag und Nacht. Zudem reagieren die Behausungen auf besonders aride und heiße Umweltbedingungen. Dicke Lehmwände können ihr Inneres um bis zu 15 Grad kühler halten als die Temperatur im Freien. Im Winter aber, wenn in Wüstenregionen die Temperaturen nachts stark sinken, geben die Lehmwände ihre tagsüber gespeicherte Wärme an die Innenräume ab. Sie funktionieren vor allem durch ihre große thermische Masse. Diese thermische Masse verlangsamt die Wärmeübertragung signifikant.(zirka 2,5cm/Stunde) In der Wüste hindert diese massive Bauweise die Hitze daran, vor Nachteinbruch in das Gebäude einzudringen. [32]

0.1.3 Kubatur

Die Grundrisse der Bauten im Najd sind meistens quadratisch oder rechteckig, die Häuser sind ein- oder zweigeschoßig und um den Innenhof orientiert. Najd-Behausungen funktionieren besonders gut, wenn sie im Zusammenschluss angelegt sind, weil dadurch insgesamt weniger Wandflächen der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Die Öffnungen müssen durch die lastabtragenden, massiven Wände und die einwirkende Hitze klein gehalten werden. Fenster gibt es daher oft nur kleine und wenige, die lediglich der Versorgung mit Licht und Luft dienen. Das Leben und somit auch die Ornamente der typischen Najd-Behausungen richten sich nach innen zum Hof hin und diese sind nach außen sehr schlicht gehalten. Die irregulären Straßenverläufe dienen als Schutz gegen Sandstürme. [16] [30] [31]



Um die Fundamente der Najd-Häuser herzustellen, werden Gräben mit einer Mischung aus Steinen und Lehm gefüllt. Auch um die Adobe Ziegel zu fertigen, kommt nicht ausschließlich Lehm zum Einsatz. Das in der Mischung enthaltene Stroh erhöht nicht nur die Zugfestigkeit der Lehmziegel, sondern verlangsamt auch das Abwaschen des Lehms durch Regenwasser. Die Säulen der Arkaden werden auch aus lokal verfügbarem Stein hergestellt. Stämme aus Holz, beispielsweise von Palmen, finden meist Verwendung in der Konstruktion der Dächer der Behausungen. Sie überspannen als Balken die Schlafräume und bestimmen durch ihre Länge auch die Raumtiefe. Diese Lage aus Balken wird im nächsten Schritt mittels Matten aus Palmblättern wetterfest gemacht.

[16] [31]



Abb. 1: Innenhof eines Wohnhauses in Najd. Arkadengang und Überdachung aus Holzbalken, Palmblättern und Lehm. Fotografie von Hitesh Mehta.

0.1.5Wasserversorgung

Trotz ihrer starken Trockenheit erlebt die Wüstenregion des Najd vor allem im Frühling Regenfälle. Der Regen bringt die Wüste auf der einen Seite zum Blühen, kann aber auch zerstörerische Auswirkungen haben, wenn über die Hälfte des Gesamtniederschlags an einem einzigen Tag fällt. Die meisten Najd-Ansiedlungen befinden sich entlang der Wadis oder Oasen. Die sogenannten Wadis sind Täler oder Flussläufe, die außerhalb der Regenzeiten oft komplett trocken liegen. Fällt jedoch Regen, speichern sie wertvolles Regenwasser. [16]



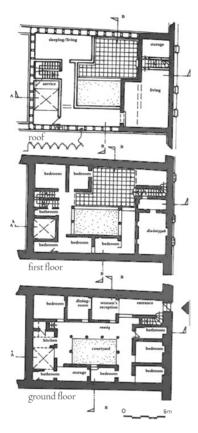


Abb. 2: Grundriss eines Wohnhauses in Najd. Grafik von Hisham Mortada. 2016.

0.2Nordchina, Lössplateau

0.2.1Klimatisierung

Das Lössplateau ist eine Hochlandstufe in Nordchina, welche an das Nordchinesische Tiefland, das Hochland der Mongolei (Norden) und das Hochland von Tibet (Westen) grenzt. Wie dem Namen bereits entnehmbar, sind diese Region und ihre Architektur durch die starke Präsenz dieses Sediments geprägt. Obwohl der am Plateau dominierende Schlick mit dem Wind aus den Wüsten im Landesinnere auf das Lössplateau getragen wird, kann das Plateau selbst nicht als Wüste bezeichnet werden. Das Klima kann als semiarid mit monsoonalem Einfluss beschrieben werden. Das Hochland ist außerdem eine Quelle von Staub-Aerosol. Die Winter sind kalt und trocken, während die Sommer sehr warm und an vielen Orten heiß sind. Auch Niederschläge fallen hier oft sehr konzentriert. Zudem können viele Sonnenstunden im Jahr gemessen werden. Insgesamt gibt es in fünf chinesischen Provinzen Dörfer, welche in den Boden gegraben sind. Diese Behausungen schützen ihre Bewohner vor extremen Wetterbedingungen. In den höhlenartigen, unterirdischen Wohnräumen gibt es im Gegenzug sehr wenig Luftzirkulation. Gepaart mit den Temperaturen, die im Innenraum herrschen, kann hier hohe relative Luftfeuchtigkeit entstehen. [22]

Isolierung 0.2.2

Die thermischen Eigenschaften der unterirdischen Wohnräume sind fast ideal. Die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht beziehungsweise Sommer und Winter sind durch die isolierende Eigenschaft des Lösses relativ gering. Diese Isolierung funktioniert natürlich sowohl als Schutz vor Kälte als auch als Schutz vor großer Hitze. Im Winter, bei Temperaturen bis zu null Grad Celsius, können im Innenraum zirka 11 Grad gehalten werden. In der Sommerhitze von bis zu über 30 Grad Celsius bleibt die Raumtemperatur auf ungefähr 20 Grad. [39]



Abb. 3: Wohnhaus in Qianxian, Shanxi Provinz, Fotografie von Ronald G. Knapp. 1984

0.2.3Kubatur

Nachdem in dieser Hochebene oft keine Steilhänge vorhanden sind, in welche Behausungen gegraben werden können, werden rechteckige Höfe mit einer Größe bis zu 100 Quadratmeterm und einer Tiefe von 7-9 Metern in den Boden gegraben. Von diesen Höfen aus werden dann die einzelnen, unterirdisch liegenden Räume erschlossen. Eines dieser Häuser kann im Durchschnitt 4-8 Räume enthalten, es können sogar mehr sein. Meistens sind einzelne Räume etwa 2.9 Meter breit. Dies ist vor allem durch die Ausbildung der Räume als Gewölbe bedingt. Die parabolische Form zeichnet sich auch meist in der Fassade der Gebäude ab. Um zusätzlich Luft und Licht in die einzelnen Räume zu bringen, sind jeweils ein Fenster über und neben der jeweiligen Eingangstür positioniert. [26]

Abb. 4: Schematischer Grundriss einer typischen, chinesischen Höhlenwohnung mit quadratischem Hof. Grafik von Bernard Rudofsky. 1964.

0.2.4Materialien

Vorherrschendes Baumaterial des Lössplateaus ist sowohl durch Wasser als auch durch Wind beförderter Schlick. Der Schlick verdichtet sich gut und bildet zudem eine harte Kruste, wenn er geschnitten und getrocknet wird. Das unterirdische Bauen und das organische Material erfordern ein Gewölbe im Innenraum, um die Lasten der darüber liegenden Erdmassen überhaupt aufnehmen zu können. [39]

0.2.5Wasserversorgung

Die Behausungen hier sind weder dicht noch regelmäßig, da das harsche Klima und beschränkte Versorgung mit Trinkwasser diese Region schwer zu bewohnen machen. Die existierenden Behausungen sind entlang günstiger Mikroklimatas zu finden und passen sich stark an die Topografie an. [26] [39]

Iran, Zentrales Plateau, Yazd 0.3

Klimatisierung 0.3.1

Durch die Lage von Yazd in einer isolierten Wüstenregion ist vor allem dort eine spezielle Adobearchitektur entstanden. Das Klima von Yazd ist heiß und trocken mit großen Temperaturunterschieden zwischen Tag und Nacht, hoher Sonneneinstrahlung, kaum Niederschlag und geringer Luftfeuchtigkeit. [15] Durch den Wohlstand der Stadt gibt es in vielen Wohnhäusern in Yazd zusätzlich Gärten oder Wasserbecken in den Innenhöfen, um die Häuser zu kühlen (konvektiver Wärmeaustausch). Im Sommer werden hier kühle Winde genutzt, welche über Windtürme in die Gebäude geleitet werden. Generell findet ein Wandern der Bewohner statt zwischen höher platzierten Räumen (nachts), Hof und kühlem Keller (an heißen Sommertagen). [40]

Windturm Funktionsweise

Windtürme dienen sowohl der Luftzirkulation in erdgeschoßigen Sommerräumen als auch in Kellerräumen. Der Luftstrom kühlt dabei zum einen die Bewohner bei Tag durch Konvektion und Verdunstung von Schweiß, zum anderen die Struktur des Gebäudes. Der Windturm basiert auf dem Prinzip des Kamines. Das bedeutet, dass warme Luft durch den Turm nach außen transportiert wird und kühle Luft ins Gebäude gezogen wird. Windtürme fangen die Luft, welche sich mit höherer Geschwindigkeit über der dichten Bebauung bewegt und leiten sie wegen des Luftdruck-Unterschieds zwischen dem Schachtniveau und dem Raumniveau in die Aufenthaltsräume. Nachdem die Luftzirkulation auch bei Nacht entsteht, also bei niedrigeren Außentemperaturen, kühlt das System die Masse des Gebäudes nachts ebenfalls. Diese Kühle wird am Tag durch Strahlung an die Räume abgegeben. [41]

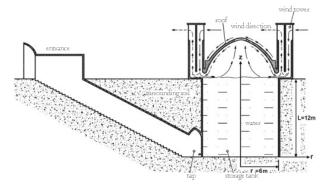


Abb. 5: Schema Windturm mit Wasserspeicher. Aus der Publikation Comparing meshless local Petrov-Galerkin and artificial neural networks methods for modeling heat transfer in cisterns.

Isolierung 0.3.2

Die dichte Struktur der Stadt, und auch die der Wohnhäuser in sich, schützen ihre Bewohner vor Sandstürmen. [27]

Kubatur 0.3.3

Die meisten Wohnhäuser in Yazd liegen drei- oder vierseitig an einem Innenhof, mit einer Ausdehnung von ungefähr 10 auf 14 Meter. Typischerweise sind die Häuser eingeschoßig. können aber auch zwei- bis dreigeschoßig sein. Wie auch im Najd funktionieren die Gebäude der Stadt Yazd vor allem im Verband. Die städtische Struktur ist hier sehr dicht und Plätze sind immer baulich eingeschlossen. Damit Sand und Sonnenlicht nicht in die Gebäude eindringen, sind Öffnungen oft in Decken oder hoch in Wänden platziert. [24] Zudem sind Kuppeln auf den Dächern der Häuser platziert. Die Wohnräume des Winters sind über den Hof nach Süden orientiert. Die Hoffassade, die Richtung Westen orientiert ist, bleibt oft unbewohnt. [2]

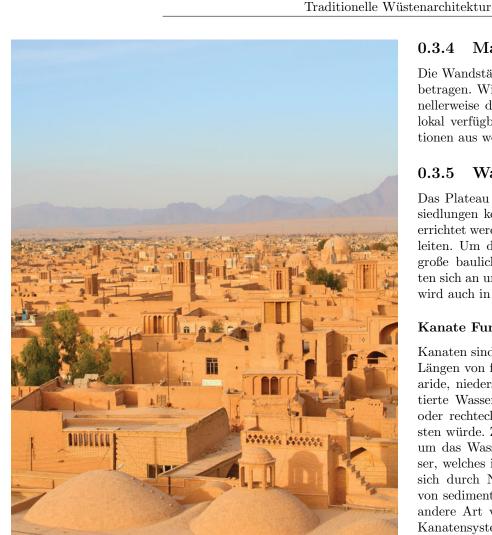


Abb. 6: Dachlandschaft der Stadt Yazd. Fotografie von Vladimir Melnik.

0.3.4Materialien

Die Wandstärke eines Hauses in Yazd kann bis zu einem Meter betragen. Wie in Saudi Arabien kommt auch in Yazd traditionellerweise der Lehmziegel zum Einsatz. Vereinzelt wird auch lokal verfügbares Holz verwendet. Zudem findet man Dekorationen aus weißem Gips. [2]

0.3.5Wasserversorgung

Das Plateau ist bekannt für seine Wasserknappheit. Viele Ansiedlungen konnten nur durch unterirdische Tunnel (Kanaten) errichtet werden, welche Wasser aus Gebirgsregionen zu Städten leiten. Um der Wasserknappheit Herr zu werden, wurden oft große bauliche Maßnahmen ergriffen. Viele Gebäude bedienten sich an unterirdischen Zisternen. In sogenannten Eishäusern wird auch in den heißen Zeiten Eis gelagert. [2]

Kanate Funktionsweise

Kanaten sind unterirdische Tunnel, die sich normalerweise über Längen von fünf bis zehn Kilometern erstrecken und Wasser in aride, niederschlagsarme Zonen leiten. Oft wird das transportierte Wasser danach in überdachten, entweder kreisförmigen oder rechteckigen Zisternen gestaut, da es ansonsten verdunsten würde. Zisternen werden oft mit Windtürmen kombiniert, um das Wasser zu kühlen. (siehe obige Abbildung) Das Wasser, welches in das Tunnelsystem geleitet wird, ist Wasser, das sich durch Niederschläge und ein Gefälle an der Oberfläche von sedimentärem oder vulkanischem Gestein bildet, oder eine andere Art von Oberflächenwasser. Der Ausgangspunkt eines Kanatensystems ist die sogenannte Mutterquelle. Der Tunnel wird errichtet, indem vertikale Schächte in Abständen von 20 bis 150 Metern gegraben werden, zwischen welchen wiederum der eigentliche Tunnel entsteht. Dieser Tunnel muss nur bei weichem Erdreich innen "verkleidet" werden. Die Wassermengen, welche von der Mutterquelle aus zu Ansiedlungen geleitet

werden, hängen von der jeweiligen Periode und der Niederschlagshäufigkeit und -stärke ab. Heutzutage führt das exzessive und mechanische Abpumpen von Grundwasser zur Desertifikation von Regionen wie zum Beispiel dem persischen Plateau. [42]

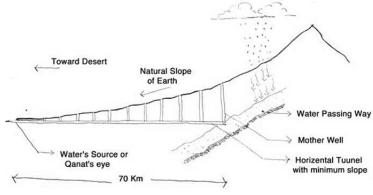


Abb. 7: Funktionsweise Kanatensystem. Urheber unbekannt.

Algerien, M'zab Tal 0.4

Die Ansiedlungen der Region M'zab befinden sich, gut versteckt, auf Anhöhen des algerischen Kalkstein-Plateaus im 32 30 nördlichen Breitengrad. Auch diese Umgebung zeichnet sich durch fehlende hohe Temperaturunterschiede, Niederschläge, unfruchtbares Land und extreme Umwelteinflüsse aus. [43]

Klimatisierung 0.4.1

Die präzise platzierten Oberlichter der Ihaditen versorgen die Wohnhäuser im Winter mit wärmespendendem Sonnenlicht, lassen aber in heißen Sommermonaten keine direkte Sonnenstrahlung ins Gebäude. Auch Luftzirkulation entsteht erst durch die Oberlichter. Dennoch werden die Gebäude, je nach Tagesphase und Jahreszeit, unterschiedlich genutzt. Der Arkadengang der Dachterrasse ist entweder nach Süden oder nach Osten orientiert und im Sommer werden die Schlafplätze dorthlin verlegt. Die Lage der Wohnbebauung entlang des Hanges, also höher gelegen als das fruchtbare Tal, begünstigt eine natürliche Ventilation der Gebäude. [3]

Isolierung 0.4.2

Wie bereits erwähnt, besitzt Stein eine hohe thermische Masse. Durch den üppigen Einsatz des Kalksteins wird in den Mauern der Wohngebäude Wärme gespeichert und nachts durch natürliche Ventilation abgegeben. Der Beitrag der Mauern zum Raumklima wird durch den hellen Verputz erhöht, welcher die Sonneneinstrahlung reflektiert. Die Gipslage ist zudem 5-8cm dick und erhöht somit die isolierende Wirkung der Mauern. Durch die Südost-Orientierung ist auch der Lichteinfall im Hof morgens höher als nachmittags. Nichtsdestotrotz steht das Wahren eines kühlen Raumklimas über der Versorgung mit Licht und Luft. Fast hermetisch schotten sich die Gebäude gegen die Umwelt ab und die Eingangstür und die Oberlichter (chebek) sind oft die einzigen Licht- und Luftquellen. [3]

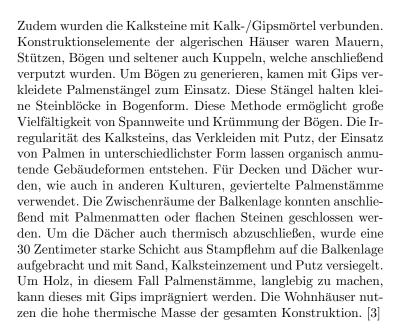
0.4.3Kubatur

Allgemein wurde die Moschee immer an der höchsten Stelle der Anhöhe platziert, um das Tal zu überblicken. Diese wurde dann von dichter Wohnbebauung umschlossen. Die Häuser arbeiten in M'zab immer mit der natürlich gegebenen Topografie. Zudem gibt es in den Städten kaum öffentliche Plätze oder Bepflanzung. Die Straßen werden wie in vergleichbaren Architekturen schmal gehalten aufgrund der Stürme. Durch den dichten Häuserverband funktionieren die Gebäude der Region auch in statisch anspruchsvollen Lagen. Die meisten Wohnhäuser teilen drei Außenmauern mit ihren Nachbarn. In manchen Fällen werden Straßen mit Trägern oder Bögen überspannt. Der rechteckige Grundriss misst selten weniger als acht Meter Tiefe. Die Behausungen können bis zu 130 Quadratmeter groß sein. Die meisten Häuser besitzen kaum Öffnungen neben der Öffnung in der Decke des Erdgeschoßniveaus (chebek, meist kleiner als 1x1 Quadratmeter) und des zentralen Hofes, welcher sich über die beiden Obergeschoße erstreckt. Diese Luke kann bei Sandstürmen oder Regen zum Beispiel mit einem Holzpaneel geschlossen werden. [3]

Abb. 8: Typischer Grundriss und Schnitt eines Hauses in M'zab. Grafik von Adam Achrati. 2014.

Materialien 0.4.4

Das wichtigste Konstruktionsmaterial ist der grob bearbeitete Kalkstein, welcher auf dem Plateau im Überfluss zu finden ist.





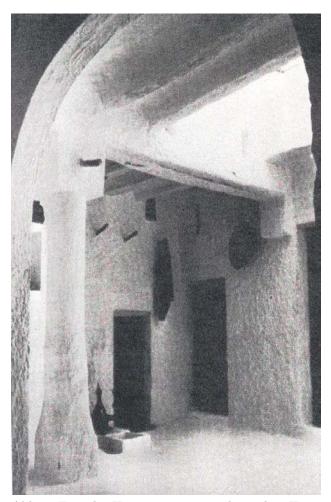


Abb. 9: Foto des Hauptraums eines algerischen Hauses mit chebek. Bellal Tahar.

0.4.5Wasserversorgung

Das Volk der Ihaditen, welche das M'zab Tal erstmals bevölkerte, brachte Palmen aus dem Süden. Diese konnten nur durch ein das Tal übergreifendes hydraulisches System in dieser lebensfeindlichen und ariden Region wachsen. [43] Im Mzab Tal findet man Bewässerungssysteme, welche Regen sammeln, leiten und verteilen. Auch unterirdische Wassersysteme wurden konstruiert. [3] In der Region Maghreb (Tunesien, Algerien, Marokko und Westsahara) ist die Technik der Foggara aufgrund der günstigen topografischen und hydro-geologischen Bedingungen stark verbreitet. Im Iran wird die fast idente Technik Kanate genannt, und wie bereits im Subkapitel Kanate Funktionsweise beschrieben wurde, dient die Foggara dem Leiten von Oberflächenwasser. Eine spezielle Foggara, die in der Mzab Region gefunden wurde, weicht von der klassischen Funktionsweise ab. Sie sammelt das Wasser der Überschwemmungen des Mzab Flusses, während klassische Foggaras und Kanaten Grundwasser sammeln. Sie besteht aus zwei Teilen: einem unterirdischen Tunnel und einem offenen Kanal. [48]

Chile - Vernakuläre Architektur

Die traditionelle Architektur Chiles spiegelt die Vielfältigkeit der Materialien, der Bevölkerung und der Beziehung zwischen Bevölkerung und Natur wider.

Grob eingeteilt kommen in Chiles ursprünglicher Architektur drei verschiedene Materialgruppen vor: Stein, vor allem im Norden und in der Andenregion, Erde, vereinzelt im Norden und in der zentralen Zone, und Holz, in erster Linie im Süden des Landes und in den Küstenregionen.

0.5Chile, Precordillera - Pucará

Die chilenischen Pucarás waren ursprünglich Festungen der indigenen Atacameños. Die Epoche der Pucarás zeichnet eine Entwicklung konstruktiver Techniken aus, die sich in dieser Zone seit Jahrtausenden herausgebildet haben. Nachdem die Region durch die Inkas erobert wurden, kamen neue architektonische Elemente zum Einsatz, wie zum Beispiel Adobe Blöcke. Dieses Kapitel geht auf die Festungen der Atacameños ein und gibt keinesfalls einen gesamtheitlichen Überblick über die traditionellen chilenischen Bauweisen. Die traditionelle Adobe Architekur der chilenischen Wüste wird hier außen vor gelassen, da die Steinarchitektur stärker entwickelt ist.

Klimatisierung 0.5.1

Die zwischen 1000-1430 erbauten Festungen in der Precordillera Region der lebensfeindlichen Atacama Wüste funktionierten unter verhältnismäßig günstigeren Bedingungen. Die angrenzenden Flüsse (Loa) und die Oasen, vor allem um San Pedro de Atacama, erleichterten das Leben in der Wüste. Quitor und die Pucará de Tulor sind zwei der wenigen erhaltenen Überreste antiker Adobe- und Steinarchitektur aus der vorinkaischen Zeit. [12]

0.5.2Isolierung

Alle Bruchsteinmauern innerhalb der Festungen haben eine Stärke von mindestens 40 Zentimetern. Im Verbund mit Lehm als Mörtel zwischen den Steinen und als Ummantlung besitzen die Mauern eine hohe thermische Masse. Die Dächer, Flach- oder Giebeldächer, sind schichtenweise aufgebaut (siehe Unterkapitel Konstruktion, um den Wohnraum möglichst gut von Kälte oder Hitze draußen abzugrenzen. Das Dach mit seiner Unterkonstruktion aus Holzbalken und darüber aufgebauter schichtenweiser Deckung ist leicht und weist gleichzeitig gute wärmetechnische Eigenschaften auf. Vor allem Stroh funktioniert ausgezeichnet als Dämmstoff. [6]

0.5.3 Kubatur

Die chilenischen Festungen wurden immer an strategisch günstigen Orten entlang des Loa Flusses und entlang anderer kleinerer Fließgewässer errichtet, aber auch an Oasen wie die Pucará de Quitor.

Die Behausungen dieser Festungen zeichnen sich durch die unbestimmte Geometrie im Grundriss aus. Manche davon sind rechteckig, manche aber auch unregelmäßig, halbkreis- oder kreisförmig. Man könnte sagen, die Behausungen der Pucará zeichnen sich durch ihr organisches Gefüge in der Landschaft aus. Die Festung von Quitor erstreckt sich über eine weite terrassierte Fläche, deren Fußende früher durch eine Mauer geschützt wurde. Die einzelnen Häuser sind dicht platziert und bilden schmale Passagen als Zwischenräume. [6]

Die Pucará de San Pedro de Atacama wurde auf künstlichen Terrassen mittels zweier Grundmodule errichtet: die Kammer und die Kammer mit angrenzendem Silo.

Normalerweise bestanden die Behausungen der Festungen aus eingeschoßigen Häusern. Die Konstruktionsweise hätte möglicherweise nicht mehr zugelassen. Nur im Falle der großen Festung, der Pucará de Lasana, ging die urbane Entwicklung Richtung zweigeschoßiger Bauten. Die Erschließung der einzelnen Bauten erfolgte durch die starken Niveauunterschiede in diesem Fall über die Dächer der niedriger gelegenen. [20]

In der Pucará de Quitor etwa gab es unterschiedlich hohe Mauern. Die höchste Mauer erreicht hier um die 3.30 Meter und benutzt die Mauer der darunterliegenden Terrassierungsebene als Basis. Die Innenwände der Räume erreichen meist nur Höhen von 2,20 Metern. In manchen Behausungsverbänden, wie der Pucará de Vilama, finden sich doppelte Bruchsteinmauerwerke. Unter Verwendung von Terrassierungen und Rückwänden zum Abstützen des gepressten Erdreiches konnte eine Höhenentwicklung innerhalb der Festungen erreicht werden. Die horizontalen Verbindungen zwischen höheren Mauern wurden zudem oft aus statischen Gründen als Kurven und nicht rechtwinkelig ausgeführt. [33]

0.5.4 Konstruktion

Die Wohnhäuser innerhalb der Festungen sind oft rechteckige Zellen von 2,5-4 zu 3-6,5 Metern. Viele davon besitzen nur eine Öffnung, die Tür in der Mitte der Hauptfassade. Abgesehen von den unbearbeiteten Steinen im Verband sind die größeren Ecksteine vereinzelt bearbeitet. Teilweise wurden auch die Mauern mit kalkhaltigem Putz versiegelt. In der Festung von Quitor zum Beispiel kamen auch Dachbalken zum Einsatz. Über den fertigen Mauern wurden anschließend, sollte ein Giebeldach konstruiert worden sein, Firstbalken, Sparren und Balken platziert. Danach wurden pflanzliche Röhrchen mittels Leder diagonal an die Sparren gebunden. An das diagonale Flechtwerk wurde eine Schicht langes Stroh befestigt, auf welche eine Schicht aus Lehm und Gras und eine weitere Strohschicht folgten. [44]

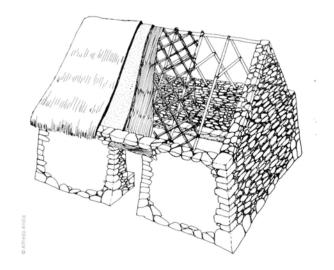


Abb. 10: Schnittgrafik eines Steinhauses der Atacameños. Grafik von Alfredo Andia.

Die Mauerwerke der Atacameños sind sehr heterogen. Die Qualität der Mauern unterscheidet sich meistens je nach Fundamentbauweise, Verband und Mörtel. Vor allem Mörtel wurde oft nur mäßig verwendet, da sein Transport eher aufwändig war. Beim Errichten jeder einzelnen Steinmauer wurde sowohl die Größe als auch die Position des jeweiligen Bruchsteins sorgfältig ausgewählt. In den Lagen des Verbandes wechselten sich horizontale und vertikale Schichten ab und an den Fußpunkten wurden großformatige, vertikal aufgestellte Steine als "Stützen" verwendet, um die Mauer kraftschlüssig an den Boden anzuschließen. Die Steine wurden wenig bis gar nicht nachbearbeitet und meist in zerkleinertem Zustand an einer passenden Stelle platziert. [33]

Materialien 0.5.5

Die Festungen bestehen vorwiegend aus dem lokal vorhandenen Gestein, aus welchem sowohl Festungsmauern als auch ihre inneren Unterteilungen, also Behausungen, Lager etc. gefertigt wurden. [12] Die Pucará de Turi zum Beispiel besteht fast ausschließlich aus vulkanischem Gestein. Diese gebrochenen Steine wurden nicht zugeschnitten und nicht mittels Mörtel verbunden. lediglich die Reibung und Schwerkraft gewährleistete tragfähige Mauern.

Um Öffnungen zu erzeugen, haben die Atacameños meist längliche Steine benutzt, die Türpfosten bildeten. Für die Fensterstürze wurden aber auch Holzbalken verwendet. Vor allem in den Oasen kommen Baumarten wie der Johannisbrotbaum und der Mesquitebaum vor, welche mit Ästen, Stroh und Schlamm bedeckt die Dächer der Bewohner bildeten. Vereinzelte Wände bestanden sogar aus mit Schlamm bedecktem Stroh.

Im Falle der Pucará von Quitor handelt es sich beim Bruchstein um Gneis, wessen Gewinnung und Bearbeitung relativ einfach sind. Die gebrochenen Steine wurden aufeinander gestapelt und verkeilt und zusätzlich mit Mörtel aus Ton verbunden. Der Tonmörtel wurde im Fall von Quitor direkt aus dem Flussabhang gewonnen. Der Salzgehalt des reinen vor Ort entnommenen Mörtels, gebildet aus Natriumchlorid oder Borax, verleiht ihm eine einzigartige Kohäsionskraft und Langlebigkeit. Wie auch in anderen Wüstenregionen tragen die starke Trockenheit und Sonneneinstrahlung zur Mörtelverarbeitung bei. [33]



Abb. 11: Steinverband Pucará de Quitor

Wasserversorgung

Die Festungen der Atacameños sind wassertechnisch bereits günstig platziert. Sie beziehen ihr Brauchwasser aus Flüssen oder zapfen das Grundwasser an, welches in Oasen sogar in Wüstenregionen vorhanden ist. Die Flüsse dieser Regionen fungieren als natürliche Kanaten, indem Wasser aus den Anden in die tiefergelegenen Oasen geleitet wird.



Traditionelle Wüstenarchitektur



Abb. 12: Anlage Pucará de Quitor

Die Atacama Wüste

Geografie 0.6

An der südamerikanischen Westküste erstreckt sich vom Süden Ecuadors über Peru bis nach Chile ein Wüstenband mit einer Länge von etwa 3600 Kilometern. Ab 19 Grad südlicher Breite geht die peruanische Sechurawüste in die Wüste Atacama über. [29] Die Wüste Atacama liegt langgestreckt zwischen dem vulkanischen Andengebirge im Osten und dem kalten Pazifik im Westen. [47] Sie wird in drei große Zonen unterteilt: die Cordillera de la Costa, das Zwischental und das Andenmassiv und erstreckt sich in Chile, über die administrativen Regionen Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama und den Norden von Coquimbo. Die ökologische Region nimmt somit vertikal über 1000 Kilometer ein. (19 S - 30 S, Arica bis La Serena) Dementsprechend vielfältig sind auch ihre Naturräume. Durch die Erosion des Andengebirges haben sich über die Jahre zwei große Ebenen im Norden Chiles gebildet, die Salzwüste und das Altiplano. Im Gesamten betrachtet, die niederen Teile der Anden und das Altiplano ausgenommen, bewegt sich die Topografie der Atacama Wüste zwischen Meeresniveau und 3500 Höhenmetern. Betrachtet man auch den Teil der Anden, der oft zur Wüste gezählt wird, und das Altiplano, so kann man mit bis zu 5000 beziehungsweise 3750 Höhenmetern rechnen.

0.7 Klima

Klimatisch betrachtet ist die Chilenisch-Peruanische Wüste der (äußeren) afrikanischen Namibwüste am ähnlichsten. Beide Regionen sind Teil des subtropischen Wüstengürtels (Zonobiom III) und haben einen ähnlichen Breitengrad. Die beiden Nebelwüsten nehmen eine Sonderstellung im Vergleich zur Mehrheit der weltweiten Wüstengebiete ein. Sie werden durch die kalte Meeresströmung stark beeinflusst. Die Luft an diesen Orten ist meist sehr feucht und die Temperaturverhältnisse sind ausgeglichen. Die beiden Zonen sind fast niederschlagslos und weisen häufig Nebel auf. [56] Die Atacama Wüste ist einer kalten Küstenströmung ausgesetzt. Durch ihren Breitengrad sind die Temperaturen auch im Sommer moderat. [45]

Die Aridität der Atacama wird oft durch den Einfluss der bereits erwähnten kalten Meeresströmung, dem Humboldtstrom, erklärt. Dieser führt zu einer Inversionswetterlage und zum Ausbleiben von Niederschlägen innerhalb der Küstenregion der Atacama Wüste. In den Monaten zwischen Mai und November bildet sich oft Nebel in der Küstenregion. Der Nebel reicht bis zu 700-1000 Meter über Merresspiegel, während darüber die meist sonnige Binnenzone beginnt. Demnach sind die Küstenregionen der Wüste feuchter als die Binnenzone. In der Binnenzone stellen die Anden ein Hindernis für feuchte, atlantische Luftmassen dar. Einige chilenische Wüstenstädte werden durch Kanaten mit Wasser aus den Anden versorgt. Auch das Altiplano, eine Hochebene, weist deutlich mehr Niederschläge auf als die Wüste selbst. [29]

Die Peruanisch-Chilenische Wüste liegt im Regenschatten der 6000 Meter hohen Andenkette. Die Verhältnisse des nordchilenischen Wüstenbereichs sind extremer als die des peruanischen. Hier fehlen die Küstennebel und es fällt nur selten Winterregen. Die Zone ist fast vegetationslos bezugnehmend auf Blütenpflanzen. Speziell in der Atacama Wüste gibt es Fensterflechten. Nur die Fruchtkörper dieser Flechten ragen aus dem Boden und sind kaum von Sandkörnern zu unterscheiden. Sie überleben nur durch den nächtlichen Taufall. Zudem finden sich blaugrüne Algen, Wanderflechten und Erdkakteen. Die Atacama ist eine der vegetationslosesten und ödesten Zonen der Welt. An kleinen Erosionsrinnen finden sich vereinzelte Pflanzenspezies. Ansonsten findet man einzelne Sträucher nur dort, wo nach starkem Regen in den Anden Wasser hangwärts abfließt und im Boden lokal gespeichert wird. Bewegt man sich in Richtung des Tals von San Pedro de Atacama (2400 ü.NN), so findet man bewässerte und kultivierte Oasen. Diese Stadt ist unter anderem aufgrund ihrer vergleichsweise günstigen Vegetation und ihrer Versorgung mit Wasser Hauptort des "Wüstentourismus". Südlich von San Pedro befinden sich das Salar de Atacama und andere von dicken Salzkrusten bedeckte Salzseen. [57]

In der Region nahe zum Pazifik findet sich laut Köppens Klimaklassifikation bewölktes Küsten-Wüsten Klima mit höherer Luftfeuchtigkeit, aber mit kaum bis gar keinem Niederschlag. Charakteristisch für diese Region sind, wie oben beschrieben, die camanchacas (Nebelschwaden). Richtung Osten und 1000-2000 Meter höher kann ein niederschlagsloses Wüstenklima mit hohen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht und wolkenlosem Himmel erfasst werden. Bewegt man sich aufwärts, weiter in die Anden hinein, ist ein geringfügig höheres Wüstenklima (3000m ü.NN) zu beobachten mit vermehrten Niederschlägen und infolgedessen einer Steppenvegetation. Noch weiter östlich findet man schließlich ein hohes Steppenklima mit Sommern, in welchen es auch regnen kann, vermehrter Vegetation und Oberflächenwasser (Seen, Flüsse). [18]

Allgemein gilt die Atacama als die trockenste Wüste der Welt außerhalb der Polarregionen. Das Ausbleiben von Niederschlägen ist stark durch die Lage dieser Wüste im Regenschatten der Anden bedingt. Auch außergewöhnlich hohe UV-Strahlung kann hier gemessen werden. Die Region Atacama ist einer der

am wenigsten bevölkerten Teile des Landes. Die bestehende Bevölkerung der Atacama Wüste konzentriert sich vor allem auf die Küstenzonen, wenige Städte mit touristischem Schwerpunkt und Dörferoasen. Atacameños, die heute noch in dieser Region leben, leben vor allem von Landwirtschaft im Altiplano. [8]

Geologie/Morphologie 0.8

Für die Bodenbildung der Wüste sind allgemein betrachtet vor allem zwei Faktoren ausschlaggebend: das Wasser und die Pflanzen (Produktion organischer Stoffe). Beide Faktoren sind in Wüsten nur in geringem Maß vorhanden. Dies hat zur Folge. dass in der Wüste hauptsächlich "Rohböden" zu finden sind. Diese bestehen aus den an der Gesteinsoberfläche lagernden Verwitterungsprodukten der verschiedenen Gesteine in wenig veränderter Form. Das Umlagern dieser Verwitterungsprodukte passiert nur durch Wind oder durch Schwerkraft (an Hängen zum Beispiel). Die Charakteristika der Rohböden werden also hauptsächlich durch ihr "Muttergestein" bestimmt. [58]

Die Gesteine der Atacama Wüste können grob in zwei Gruppen unterteilt werden. Eine Gruppe ist die der älteren Gesteine (Prä Mesozoikum), und die andere die der jüngeren Gestein (ab dem Mesozoikum). Die älteren Gesteine bilden die unterste geologische Schicht der Atacama Wüste, während die Schichten der magmatischen und vulkanischen Gesteine der Andenerhebung der jüngeren Gruppe angehören. [54]

Die westliche Hang der Anden umfasst sechs morphotektonische beziehungsweise morphologische Zonen. Diese Zonen sind die Cordillera de la Costa entlang der Pazifikküste, das zentrale Flachland, die *Precordillera*, die Prä-Andine Vertiefung und die Cordillera Claudio Gay (Teil der Precordillera). Die Cordillera Claudio Gay grenzt an den vulkanischen Gebirgsbogen der



Die Atacama Wüste

westlichen Cordillera und des Puna-Plateaus an. [35]

Cordillera de la Costa

Sie besteht, in der Zone zwischen Copiapó und dem Pazifik liegend, aus Erhebungen moderater Höhe (1000 Meter bis 2200 Meter über Meeresniveau) und hauptsächlich aus in der Erdkruste erstarrtem Magma. (Intrusivgestein/Tiefengestein)

Das zentrale Flachland

Diese morphologische Gegend bildet eine große Zone aus nicht verfestigten, klastischen Gesteinen. Die Höhe bewegt sich hier zwischen 500 und 1500 Metern über dem Meeresspiegel.

Precordillera

Die Precordillera erstreckt sich zwischen Inca de Oro/Copiapó/Vallenar im Westen, bis nach LA Ola/Salar de Marincunga/Laguna del Negro Francisco im Osten. Die Mehrzahl der Erhebungen ist um die 3000 Meter hoch, wobei sich einzelne Hügel auch bis in Höhen von 5300 Metern ranken. Hier finden sich mesozoische Schichten wie Sandsteine, Konglomerate (Sedimentgesteine) oder Andesite (vulkanische Gesteine). In Meeresnähe findet sich sogar Kalkstein. Je näher man sich an die Gebirgskettte der Anden bewegt, desto mehr Vulkanite entdeckt man.

Prä-Andine Vertiefung/Salar Vertiefung

Im Norden der Atacama-Region befindet sich die Pre-Andine Region, teilweise auch *Depresión Salar* genannt. Sie besteht vor allem aus klastischen und chemischen Gesteinen (Verdampfungssalzen). Viele der hier entstandenen Flüsse haben keinen direkten Verlauf ins Meer. Die durchschnittliche topografische Höhe beträgt in dieser Region um die 3200 Meter.

Westliche Cordillera

Östlich der Salzhochebenen beginnt die westliche Gebirgskette des Hauptgebirge (Andenkordillere). Die westliche Region der

Bergkette erhebt sich bis auf 6900 Meter. Sie besteht vorwiegend aus jüngeren Vulkangesteinen und tatsächlichen Vulkanen. [19]

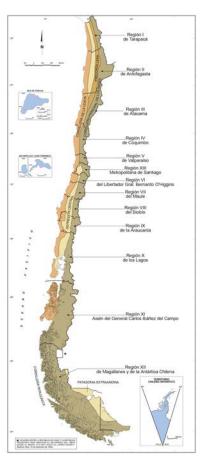


Abb. 13: Morphostrukturelle Regionen und politisch-administrative Teilung Chiles. Grafik von Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile. 2003.

Bevölkerung 0.9

Der Großteil der chilenischen Bevölkerung ist europäischen Ursprungs. Dennoch gibt es vereinzelt Regionen, in welchen sich indigene beziehungsweise präkoloniale Kulturen erhalten konnten. Die Mehrheit der Chilenen lebt in den urbanen Zentren Santiago de Chile, Valparaiso und Concepción. Viele ländliche Regionen Chiles wie die Atacama Wüste haben eine Bevölkerungsdichte von unter einer Person pro Quadratkilometer. Im nördlichen, ariden Teil Chiles konzentrieren sich die Landesbewohner vor allem auf die Küstenstädte Antofagasta, Arica und Iquique. [46]

0.10**Tourismus**

In den letzten Jahren erlebten die Dörfer um Calama und die Salzwüsten der Atacama einen ökonomischen Aufschwung, da immer mehr Touristen auf die Wüstenregion aufmerksam werden. Zudem findet wie schon zu Zeiten des Salpeterbooms viel kommerzieller Bergbau statt. Immer mehr Forschungsprojekte, wie zum Beispiel die der NASA, werden in die Wüste verlegt.

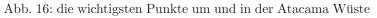
Die Atacama Wüste



Abb. 14: Valle de la Luna, Nähe San Pedro de Atacama



Abb. 15: Landschaft in der Region Tarapacá



Salar de Llamara

Salar 0.10.1

Allgemein gesprochen sind die chilenischen Salare salzhaltige Lagunen inmitten der Atacama Wüste. Diese Lagunen werden von den unterirdischen Napas aus den Anden mit Wasser gespeist. Einer dieser Salzseen ist das auf 750 Meter über dem Meeresspiegel gelegene Salar de Llamara. Im Salar de Llamara sollen Lebewesen zu finden sein, die älter als 3.500 Millionen Jahren sind. Diese Lebewesen sind in Form von Fossilien in Cyanobakterien (Stromatolithen), die schwammartige Agglomerationen bilden, nachzuweisen. Der Grund des Salares ist bedeckt von einer Schicht aus Salzkristallen, die stellenweise korallenähnliche Hügel bilden. An der Wasseroberfläche kann man die Stromatolithen wahrnehmen, die aus dem Wasser blühen. In der Unterwasserwelt des Salares finden sich Lebewesen, die Salzkonzentrationen bis zu 20% ertragen, wie zum Beispiel die Salinenkrebse. Besonderes Element der Fauna um das Salar de Llamara ist der Tamarugo Baum, welcher ohne Niederschlag, aber mit Tauwasser und Grundwasser überlebt. Wasser ist ein rares Gut in der chilenischen Wüstenregion. Mitunter deshalb leidet das Salar de Llamara seit seiner Entdeckung unter dem ständigen Abpumpen von Wasser. [9]

Klima und Temperaturen 0.10.2

Laut der Klimaklassifikation nach Köppen wird die Zone um das Salar de Llamara in die Klasse des Warmen Wüstenklimas - BWh - eingeordnet. [10]

Die Bwh Klimagruppe ist gekennzeichnet durch milde Winter. Dennoch können die Temperaturen bis auf 0 Grad Celsius absinken. Die Sommer dieser Gruppe sind warm bis heiß. In manchen Zonen der Gruppe B wurden die höchsten Temperaturen der Erde gemessen. Auch Niederschläge sind in diesen Klimata spärlich bis gar nicht vorhanden. Laut Definition beschreibt B trockene Klimata, W Wüstenklima, und h steht für warmes Wüstenklima. (die jährliche Durchschnittstemperatur liegt über 18 Grad) [36] In der Zone rund um das Salar findet man vorwiegend wolkenlose Himmel mit hoher Sonneneinstrahlung. Die Niederschläge übersteigen das ganze Jahr über nicht die 0 mm Marke. Auch das Küstenklima ist hier kaum mehr spürbar. Die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit pendelt sich bei 50 Prozent ein. [11]

Jänner	21,1°C
Februar	21,1°C
März	20,1°C
April	18,3°C
Mai	16,9°C
Juni	15,9°C
Juli	15,2°C
August	15,3°C
September	15,9°C
Oktober	16,9°C
November	18,4°C
Dezember	$20,0^{\circ}\mathrm{C}$

Abb.: Durchschnittstemperatur je Monat am Salar de Llamara. Daten von Norwegian Meteorological Institute und Norwegian Broadcasting Corporation.

Salar de Llamara



Abb. 17: Formationen im Salar de Llamara

Forschungsstationen

0.10.3Mars Desert Research Station

U.S.A., Utah

In der Forschungsstation in Utah werden vor allem Technologien und Abläufe, die notwendig für Marsmissionen sind, untersucht. Die Bedingungen dort sollen so nah wie möglich an den tatsächlichen Bedingungen für Menschen auf Marsmissionen liegen. Zudem werden aber auch Feldstudien auf der Station durchgeführt. Die nordamerikanische Region bietet eine geologisch marsähnliche Umgebung. [51]

Campus 0.10.4

Der gesamte Forschungscampus besteht aus 6 einzelnen Bereichen. Das habitat, der zweigeschoßige zylindrische Baukörper, verknüpft die Bereiche miteinander. Der Durchmesser des Gebäudes beträgt 8 Meter und sieben Besatzungsmitglieder können gleichzeitig darin wohnen. Um Erdgeschoß befinden sich ein Vorbereitungsraum mit Marsanzug-Simulator, eine Luftschleuse und Sanitäranlagen. Im Obergeschoß befinden sich die Wohnräume, also Arbeitsplätze, Wohnzimmer, eine Küche und sieben Schlafräume mit Stockbetten. Die Wohneinrichtungen liegen neben zwei Observatorien, das robotische Observatorium und das Musk Observatorium. Zudem gibt es ein Gewächshaus, wo Nutzpflanzenforschung stattfindet. Die Temperaturen des Gewächshauses werden mittels Propangasheizer und Kältemaschine gesteuert. Der Science Dome beinhaltet das Sonnensystem-Kontrollzentrum und funktioniert außerdem als mikrobiologisches und geologisches Labor. Alle Gebäudeteile, außer das robotische Obseratorium, sind über geschlossene, oberirdische Gänge miteinander verbunden. [51]

Energiekonzept 0.10.5

Das gesamte Areal wird mit einem 15 Kilowatt starken solarem Energiesystem betrieben, welches eine 12 Kilowatt starke Batterie versorgt. Um Ausfälle zu vermeiden, aktiviert sich ein 12 kW Generator, wenn mehr Energie verbraucht wird, als solar produziert werden kann, wie zum Beispiel in Wintermonaten. [51]



Abb. 18: Luftbild der Mars Desert Research Station, verwaltet von der Mars Society. Brian van der Brug

Gobabeb Training and Research Cen-0.10.6tre

Namibia, Erongo

Das Forschungszentrum, welches inmitten der hyperariden namibischen Wüste liegt, wurde unter anderem vom österreichischen Insektologen Charles Koch gegründet. Die Grundidee war, längerfristige Forschung zu Problemen im Bereich der Biologie und allen anderen Feldern, die mit hoher Trockenheit zu tun haben, zu betreiben. Unter anderem sollten dort die hohe Biodiversität und die Adapation der Tier- und Pflanzenwelt an die Bedingungen der Wüste erforscht werden. Der Schwerpunkt des Zentrums wurde bis heute zunehmend in Richtung Anwendung des Erforschten getrieben, wie etwa die ökologische Restaurierung von Bergbauregionen. Über die Jahre wurden viele Berichte und Artikel des Forschungszentrums veröffentlich. In diesen geht es vor allem um Geomorphologie, Klimatologie, die Beziehung zwischen Biodiversitätsprozessen und ökologischen Faktoren und botanische Analysen. [21]

Campus 0.10.7

Unterkünfte sind hier zum Teil als Zeltplätze angedacht, die mit kommunaler Küche und Speisezonen ausgestattet sind. Dennoch gibt es in diesem Forschungszentrum sogar Apartments, die an Interessierte vermietet werden. Die Anforderungen sind hier also nicht auf minimalistisches Leben in harschen Bedingungen ausgelegt, sondern auf Tourismus, was natürlich auch "Forschungstourismus" beinhaltet. Das riesige Areal besitzt außerdem einen Speisesaal, eine Konferenzhalle mit 100 Sitzplätzen und einen Wasserturm.

[28]

Energiekonzept 0.10.8

Das Gobabeb Training and Research Centre deckt seinen Energiebedarf mit einer Kombination aus mit Diesel und Sonnenlicht betriebenen Elementen. Die Solarenergie wird mittels Photovoltaik Panelen gewonnen, welche über das Areal verteilt sind. Alle Panele haben eine Höchstkapazität von 26 Kilowatt und bestehen aus Mono-, Polykristallen und Kupfer. Das Dieselbetriebene System dient dem monatlichen Aufladen der Batterien und Energiereserven. [28]



Abb. 19: Luftbild der Forschungsstation. Aus dem Gobabeb archive, Markus Weiss, 2004

0.10.9 Halley VI Research Station

Antarktis, Brunt Ice Shelf, Caird Coast Die Halley VI bietet eine Basis für Wissenschaftler, um Informationen zu Wetter im Weltraum, Schädigung der Ozonschicht, polarer Atmosphärenchemie, Anstieg des Meeresspiegels und Klimawandel zu sammeln. Seit seiner Eröffnung im Jahr 1956 wurden kontinuierlich Daten gesammelt. [53]

0.10.10 Campus

Die gesamte, zweigeschoßige, aufgeständerte Forschungsstation ist modular aufgebaut. Es gibt also Schlafmodule, ein Kontrollmodul, Technikmodule, Labormodule und ein Modul mit Aufenthaltsräumen, Fitnessstudio und Küche. [23]

0.10.11 Energiekonzept

Erneuerbare Energiequellen zu verwenden, gestaltet sich aufgrund ihrer Lage in der Antarktis schwierig. Dennoch wurden zum Beispiel drei Solarthermiensysteme und eine PV Anlage implementiert. Der Fokus der Anlage lag jedoch immer eher darauf, die Energieeffizienz durch Materialien oder Systemverbesserungen zu steigern. Die Verwendung von Solarpanelen etwa ist durch die 105 Tage Dunkelheit im Jahr stark eingeschränkt. Auch ist es nicht möglich, Energie von Windturbinen zu beziehen, weil das notwendige Speichersystem regelmäßig ausgetauscht werden müsste.

Die Stationsbewohner verlassen sich somit auf ein kombiniertes CHP (combined heat and power) System, welches mit Diesel betrieben wird und der Wärme- und Warmwasseraufbereitung dient. Dennoch kann die überschüssige Hitze des Forschungskomplexes verwendet werden, um Schnee zu schmelzen und in Trinkwasser zu konvertieren. Auch Meerwasser kann mittels Umkehrosmose trinkbar gemacht werden. Unreines Wasser aus dem Meer kann außerdem zum Spülen der Sanitäreinrich-

tungen verwendet werden. Die Räumlichkeiten sind gut isoliert, luftdicht und werden auch nur künstlich be- und entlüftet. Sollte es einen Ausfall geben, schaltet sich ein Reservegenerator ein, der zu jeder Zeit warm gehalten werden muss, um bei Verwendung nicht beschädigt zu werden.



Abb. 20: Aufnahme der Halley VI Research Station. Antony Dubber. 2015

Entwurfsparameter

Erdbebensicheres Bauen 0.10.12

Ganz Chile ist grundsätzlich eine seismisch aktive Zone. Prinzipiell muss ein Gebäude, welches in einer Zone entsteht, in der Erdbeben vorkommen, erdbebengerecht bemessen werden. Die Standsicherheit sollte damit gewährleistet werden und andernfalls sollten die Schäden vertretbar sein.

Generell sollte man robuste Konstruktionen wählen, die lokale Überbeanspruchungen ohne Einsturzrisiko aufnehmen können.

Die hier genannten Punkte sind einige der Entwurfskriterien, welche die Standsicherheit eines Gebäudes erhöhen können. [52]

- einfacher, gedrungener Gebäudegrundriss bei stark aufgelösten Grundrissen können durch das unterschiedliche Verformungsverhalten der einzelnen Teile Brüche in den Anschlussbereichen entstehen.
- Anordnung von Fugen Vertikale Fugen über die gesamte Gebäudehöhe, welche das Gebäude in mehrere gedrungene Baukörper unterteilen, können das Verhalten verbessern.
- gleichmäßige, kontinuierlich nach oben abnehmende Steifigkeit des Baukörpers

- horizontal wirkende Aussteifungselemente
- Verwendung redundanter Tragsysteme und duktiler (verformbarer) Verbindungsmittel
- Zug- und druckfeste Ausbildung aller Verbindungen
- Gründung auf gleichartigem Baugrund in einheitlicher Tiefe

Holzkonstruktionen - sorgfältige Planung der Holzverbindungen

Dachkonstruktionen - Aussteifung gegen horizontale Lasten mittels Diagonalen oder Stahlbändern, in Kombination mit einer starken Basis und Fundament kann eine leichte Dachkonstruktion sinnvoll sein

Mauerwerk - Verwenden von Druckringen oder Ringbalken, derartige Elemente können Mauern horizontal miteinander verbinden [52]

Mauerwerk - Im Mauerwerksverband kann es von Vorteil sein, längliche Verbindungssteine zu verwenden, welche die gesamte Tiefe der Mauer einnehmen. Auch die verbindenden Ecksteine der chilenischen Pucarás verringern das Einsturzrisiko des Mauerwerks. [55]

Windturm Design 0.10.13

Der traditionelle Windfänger 0.10.14

Traditionellerweise ist der Windfänger, der Badgir, ein architektonisches Element, welches auf Gebäudedächern platziert wird oder solitär als Turm ausgebildet wird und dazu dient, Wind in die Gebäude zu transportieren. Der transportierte Wind dient zum einen der natürlichen Kühlung und zum anderen dem Luftaustausch innerhalb eines Gebäudes, um ein gesundes Raumklima zu gewährleisten. Im Falle des Badgirs funktioniert der Luftaustausch über den Druck der sich schneller bewegenden Luftmassen. Zudem kann der Auftrieb, welcher durch Temperaturunterschiede entsteht, verwendet werden, um Luft zum Zirkulieren zu bringen. In beiden Fällen ist der Initiator der Druckunterschied zwischen verschiedenen Luftschichten. [50]

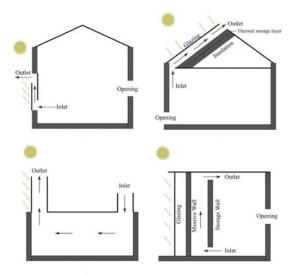


Abb. 21: Beispiele für Luftaustausch, der durch Druckunterschiede generiert wird. Aus der Publikation Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings.

Arten traditioneller Windfänger 0.10.15

Die Art des Windfängers, die eingesetzt wird, hängt mit der klimatischen Zone zusammen. Prinzipiell zeigen traditionelle Windfänger zwei Funktionsweisen. Beim ersten System, wird der Wind aus Schichten deutlich oberhalb des Daches liegend ins Gebäude gezogen und die Abluft wird über ein Fenster oder einen Solarkamin in einem anderen Gebäudeteil nach außen transportiert. Bei der zweiten Variante wird die Luft leeseitig durch denselben Windturm ins Freie gelassen, der sie aufgenommen hat, nachdem sie durchs Gebäude gewandert ist.

Grob betrachtet und hauptsächlich auf die Geometrie im Grundriss bezogen, kann in vier Kategorien unterschieden werden.

Einseitig - Die Öffnung schaut luvwärts, um die größtmöglichen Luftmassen aufzufangen. Der einseitige Windturm kann mit einem Fenster oder einem Solarkamin verbunden werden, um die bereits durchs Gebäude gewanderte verunreinigte Luft mittels Auftrieb nach außen zu führen.

Zweiseitig - Eine Öffnung zeigt ebenso in die dem Windstrom zugewandte Richtung und die gegenüberliegende Öffnung bläst die Abluft ins Freie.

Vier-, Sechs- oder Achtseitig - Naturgemäß hat diese Art von Windturm deutlich größere Dimensionen. Sie versucht auf mögliche Wechsel der dominanten Windrichtung einzugehen und kann demnach Wind aller änvisiertenRichtungen auffangen.

Zylindrisch - Im Vergleich zu den polygonalen Windtürmen ist der zylindrische Turm nicht so stark an eine bestimmte Windrichtung gebunden.

[13]

Tendentiell kann behauptet werden, dass Windfänger mit scharfen Kanten (zum Beispiel der vierseitige Windturm) den runden Türmen bevorzugt werden sollten. Die Kanten erzeugen eine große Region an Strömungsteilung und dadurch größere Druckunterschiede innerhalb des Turmes. [50]



0.10.16Komponenten

Grundsätzlich besteht ein Badgir aus der dominanten Windrichtung zugewandten Luftschlitzen, die in einen Schacht münden. Dieser Schacht führt in den darunterliegenden Raum. Ein maßgebendes Element eines jeden Windturms sind die Unterteilungen, die Schachtwände. Hier gibt es die primären und die sekundären Unterteilungen. Die primären Unterteilungen reichen von 1,5-2,5m über dem Erdgeschoßniveau bis zur Unterkante des Turmdaches. Die sekundären dienen, im vernakulären Kontext, dem Tragverhalten und der Unterteilung der Öffnung in kleinere Schächte. [50]

Forschungsgebäude 0.10.17

Spricht man von der Nutzung, wird in der Station eher forschungsbezogene Arbeit stattfinden als unterrichtsbezogene. Nichtsdestotrotz soll die Station für den Besuch kleinerer Gruppen wie zum Beispiel Schulklassen geöffnet sein. Forschungsbezogene Laboratorien setzen sich meist aus kleineren Räumen mit spezieller Ausstattung und zusätzlichen Funktionsräumen zusammen. Dies können zum Beispiel Wäge-, Mess-, Autoklaven-Klima- oder Kühlräume sein, Zentrifugen oder Spülküchen. Die Fachrichtung ist für die Spezifikation der einzelnen Räume natürlich maßgebend. Chemische und biologische Labors sind meistens mit fest eingebauten Labortischen ausgestattet. Zudem ist es von Vorteil, wenn die Räume eine hohe Luftwechselrate aufweisen. In den meisten Laborgebäuden oder -stationen entwickeln sich die Maße der Räume aus den Tisch- bzw. Arbeitsplatzgrößen. Auch Arbeitsräume ohne jegliche Installationen werden in Forschungsgebäuden berücksichtigt. Dazu zählen etwa Sozialräume, Aufenthaltsräume, Lager und spezielle Lager für Chemikalien. Prinzipiell findet man in Laborbauten Räume stark unterschiedlicher Anforderungen, Nutzung und Qualitäten. Konventionell werden sie deshalb oft mit großen Innen- beziehungsweise Erschließungszonen und dreibündig ausgebildet. [37]

Eine direkte Verbindung zwischen den Equipment Räumen und den Laborräumen ist essenziell, um lange Wege zu vermeiden. Auch Equipment und Funktionsräume können miteinander verbunden sein sowie die Laborräume untereinander. [14]

0.10.18 Laborarbeitsplatz

Der fest eingebaute oder modulare Labortisch ist die Grundeinheit der Forschungsräume. Wägetische gehören zur Grundausstattung eines jeden Labors und befinden sich oft in eigenen Räumen.

Die Regelmaße für einen Normalarbeitstisch betragen 120cm Breite im Praktikum und ein Mehrfaches in der Forschung. Die Arbeitsfläche ist dabei (einschließlich der Energieleiste) 80cm tief. Ein Baukastensystem für Labortische und Digestoren ist meistens von Vorteil (Elementbreite: 120cm, Digestoren 120cm und 180cm). [37]

Anforderungen 0.10.19

In Laboratorien, in welchen mit chemischen Substanzen gearbeitet wird sollten die Ventilationssysteme verhindern, dass eine mögliche Verunreinigung der Luft durch die Umwelt entsteht. Ventilationssysteme, welche Luft von außen ins Gebäude transportieren, sollten mit entsprechenden Filtern ausgestattet sein, um Partikel zu filtern und die Luft zu reinigen. [38]

Prinzipiell müssen alle Labors in denen chemisch gearbeitet wird, künstlich be- und entlüftet werden. Der Luftwechsel pro Stunde ist in chemischen Laboren 8-fach, in biologischen Laboren 4-fach und in physikalischen Laboren 3-4 fach. [14]

Conclusio

Traditionelle Architektur gibt trotz oder gerade wegen ihrer beschränkten technischen Möglichkeiten Wege vor, um Gebäude sowohl nachhaltig als auch zum Teil Jahrhunderte überdauernd zu gestalten. Durch eine stichprobenartige Auseinandersetzung mit verschiedenen Wüstenkulturen wird klar, wie prägend der Einfluss klimatischer und geologischer Faktoren für Architektur ist. Traditionelle Bauweisen sind je nach ökonomischen Möglichkeiten ein Abbild ihrer Umgebung. In klimatisch gemäßigten Zonen passieren architektonische Entscheidungen oft willkürlicher, in den harschen und lebensfeindlichen Regionen der Erde dominiert jedoch die Natur.

Die meisten älteren Bauformen arbeiteten aus Notwendigkeit mit Materialien, welche lokal verfügbar waren. So setzen sich die chilenischen, vorinkaischen Pucarás aus vulkanischem Bruchstein, die algerischen Wohnhäuser aus Kalkstein, die Behausungen in Yazd und Najd aus Lehmziegeln zusammen und die chinesischen Höhlenbehausungen wurden überhaupt in den Boden gegraben.

Grundsätzlich kann man behaupten, dass passive Systeme zur Isolierung oder Klimatisierung von Gebäuden nachhaltiger sind als aktive. Sie können jahrhundertelang bestehen und benötigen nicht zwingend externe Energiezufuhr. So sind die iranischen Windtürme zum Beispiel bautechnisch anspruchsvoll, bedienen sich aber auch einer passiven Form der Kühlung.

In einer stichprobenartigen Recherche lässt sich feststellen,

dass das Nutzen der thermischen Masse und die natürliche Kühlung über Luftzirkulation zwei der dominantesten Prinzipien in traditioneller Wüstenarchitektur sind

Bei einem Streifzug durch den Norden Chiles wird zudem schnell klar, wie rudimentär die Architektur um und in der Atacama Wüste zum Teil ist. Primär verwendete Materialien sind in diesem Fall Holz, Naturstein (oftmals Bruchstein) und Lehm. Chilenische Architektur hat vielmals einen wehrhaften Charakter, da es in erster Linie gilt, vor der starken Sonneneinstrahlung zu schützen und einen Wohn- oder Aufenthaltsort in der ursprünglich lebensfeindlichen Wüste zu schaffen.

Des Weiteren lässt sich sagen, dass es sich bei den im Unterkapitel Forschungsgebäude beschriebenen Laboranforderungen lediglich um die Anforderungen für ein städtisches Labor handelt. Das bedeutet, dass diese Vorgaben zwar optimale Forschungsbedingungen bieten, für einen abgelegenen Ort wie die Wüste möglicherweise aber nicht realistisch sind. Wie bereits in Chile beobachtet, können Forscher auch bei nicht optimalen Grundbedingungen arbeiten und sich Räumlichkeiten für ihre Zwecke zunutze machen. Dies schließt jedoch nicht aus, entsprechende Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. Für den Entwurf bedeutet das nur, dass das Gebäude als low-tech Gebäude zu denken ist.

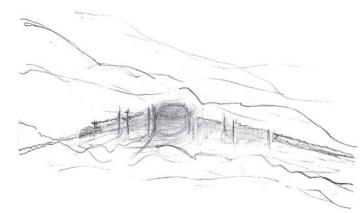


Projekt

Idee 0.11

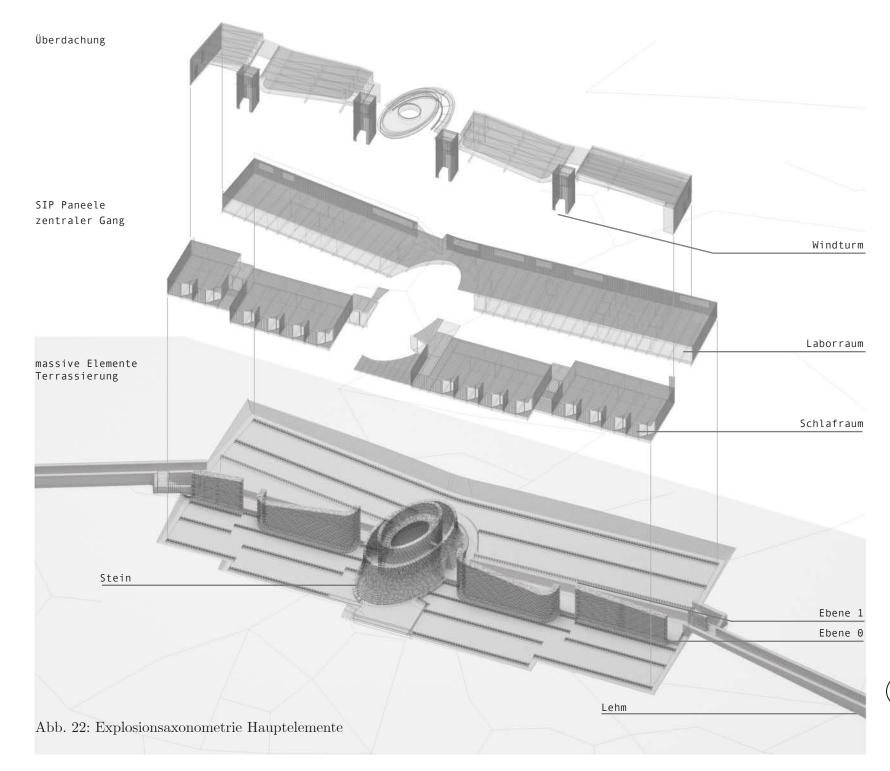
Zwei Lehmwände graben sich in die Wüstenlandschaft und bauen sich immer weiter zu höheren Steinmauern auf, bis sie in einer Ellipse miteinander verschmelzen. Sie erschließen linear, der Topografie der Landschaft folgend, das Forschungszentrum. Der langgestreckte zentrale Gang öffnet sich immer wieder in Richtung der Landschaft und gewährt Ausblicke. Leicht terrassiert folgt das Zentrum dem Hang. Wo die Steinmauern unterbrochen werden, bilden sich vertikal Windtürme heraus.





"...una línea que da orden a los cerros naturales."

(...eine Kurve, die die natürliche Landschaft ordnet.)



0.12 Lage



Abb. 23: Karte des Norden Chiles

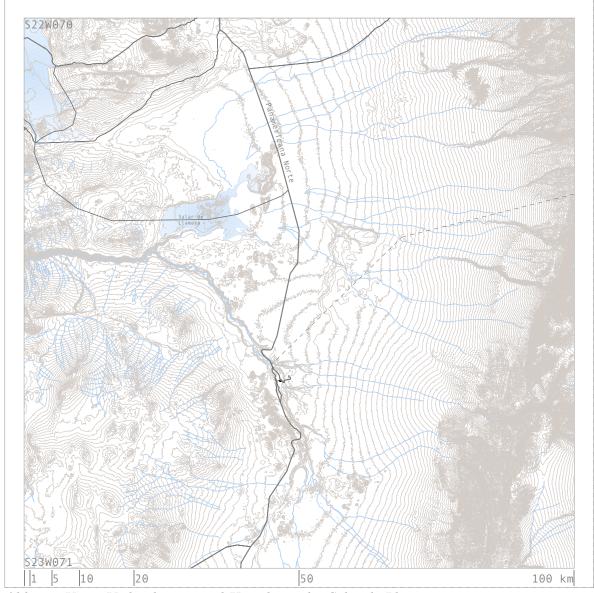


Abb. 24: Karte Verbindungen und Umgebung des Salar de Llamara



Abb. 25: Landschaft um das Salar de Llamara.

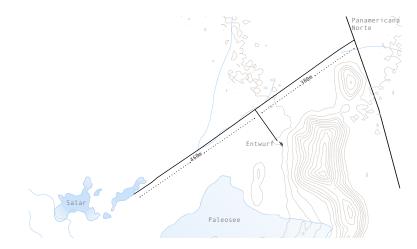


Abb. 26: Schema Entfernungen zu Hauptpunkten

Naturschutz 0.12.1

Nachdem das Salar de Llamara durch das mechanische Abpumpen von Wasser und durch den Bezug von Salpeter stark in Mitleidenschaft gezogen wurde, zählt die Zone um das Salar seit dem Jahre 2014 zum Schutzgebiet Pampa del Tamarugal. Die Pampa del Tamarugal ist ein geschützes, wildes Gebiet mit einer Fläche von 134.000 Hektar, welches in vier Zonen aufgeteilt ist. [17]

Laut chilenischem Ministerrat für Nachhaltigkeit beheimaten die Oberflächengewässer des Salares Bakterienformationen von hohem wissenschaftlichen Interesse. Die Erweiterung des Schutzgebietes um das Salar setzt sich in erster Linie zum Ziel, die einzigartigen Tamargo-Bäume, die Tier- und Landschaftsressourcen und die Lagunen mit ihren Stromatolithformationen zu erhalten. [5]

In Chile muss eine Studie vorgenommen werden, welche den Einfluss des Projektes auf den Naturraum wiedergibt. Anschließend muss das Projekt, wie auch in Österreich, von einer Behörde abgesegnet werden, um umgesetzt werden zu dürfen.

Aus einem ethischen Standpunkt heraus gehört das Bauen an naturbelassenen Orten beziehungsweise in Naturschutzgebieten zu einer der verantwortungsvollsten Aufgaben der Architektur.

Baugrund 0.12.2

Der Grund des Bauplatzes besteht grob unterteilt aus klastischen Sedimentgesteinen und chemischen Sedimenten. Klastische sind mechanische Sedimente, was bedeutet, dass sie durch Verwitterung und Erosion entstehen. Der Verwitterungsschutt wird bei diesem Prozess durch Umwelteinflüsse transportiert, bearbeitet und abgelagert, es kann nach Größe und Art der Gesteinstrümmer unterschieden werden. Gesteine werden als chemische Sedimente bezeichnet, wenn es zu Reaktionen mit Wasser kommt und sich Minerale ablagern (Kalkstein). Von biogenen Sedimenten ist wiederum die Rede bei der Ablagerung organogener Stoffe wie zum Beispiel Schalen (Kieselgur). [4]

Ton	bis 0,002 mm
Schluff	0,002 - 0,063 mm
Sand	0,063 - 2 mm
Feinkies	2 - 6 mm
Ton-, Schluff-, Sandstein	analog verfestigt
Konglomerat	ab 2 mm, gerundet
Brekzie	ab 2 mm, eckig
Fanglomerat	ab 2 mm, kantengerundet
Tuff	vulkanische Asche und Staub

Tab.: Unterteilung von Sedimentgesteinen nach Größe und Art der Gesteinstrümmer. [4]

Die geologische Formation des Bauplatzes wird über die obersten 60m als Quillagua Formation bezeichnet. In dieser Schicht finden sich sowohl Kalkstein und Kieselgur als auch eingebetteter Kies. Vereinzelt zeigen sich auch Schichten von Konglomeraten. Die Gesteine der Wüste werden um das Salar de Llamara von einer Schicht aus Lockergesteinen bedeckt, die mittels Halit aneinander gebunden sind. [7] Stellenweise werden auch, zwischen den Alluvialschichten, Schichten von Ignimbrit (aschereiche, vulkanische Dichteströme) nachgewiesen. Zudem finden sich zwischen den Schichten komprimierte Ansammlungen von rotem Schlammstein. (Ton, Schluff) [1]



Abb. 27: Kieselgur, Kalkstein, Konglomerat

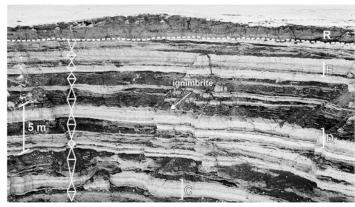


Abb. 28: Schnitt durch Grund, Weißer Bereich - Mergel, Kieselgur, Travertinfaszien (Kalk), Dunkler Bereich - Ignimbrit. Aus der Publikation Late Neogene lacustrine record and palaeogeography in the Quillagua-Llamara basin, Central Andean fore-arc.



Abb. 29: Lockergesteine mit Halit verkittet

0.13Gebäudekonzept

Klimatisierung/Ventilation

Das Gebäude ist als dreibündige Anlage ausgebildet. Die Schlafund Büroräume, welche eine geringere Raumhöhe aufweisen, funktionieren durch ihre Leichtbauweise und die Möglichkeit, Luftzirkulation zu erzeugen. An der Westfassade kann über ein raumhohes Fenster und eine manuell öffenbare Klappe im Dach quergelüftet werden. Die Fenster sind in diesen Räumen nach Süden gerichtet, um direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern. Im östlichen Trakt, in den Laborräumen, sollte die Innenraumtemperatur konstant relativ niedrig gehalten werden (im Idealfall auf 22°C). Dementsprechend sorgen zusätzliche Klimageräte mit Sensoren für den Erhalt einer konstanten Temperatur. Zudem ist der Luftwechsel hier deutlich höher und sollte mechanisch gesteuert werden. In den Laborräumen und zugehörigen Lagerräumen etc. wird demnach die Luft von außen angesaugt und durch einen Filter geführt, welcher auch unerwünschte Partikel auffängt.

Der westliche Teil, inklusive gemeinschaftlich genutztem Mittelgang, soll ausschließlich natürlich belüftet werden. Dazu öffnet sich der Mittelgang und bildet in den Zwischenräumen der Schlaf- und Büroräume Windtürme. Diese Windtürme sind zweiseitig ausgebildet und in die Hauptwindrichtung (ungefähr Südwest, siehe Abbildung) orientiert. Sie fangen die sich schneller bewegenden Luftmassen auf. Verbrauchte Luft steigt natürlich wieder auf und entweicht über die Türme.

Aus den Sanitäranlagen wird die Luft lediglich über einen schmalen Rohrquerschnitt über das Dach abgesaugt.



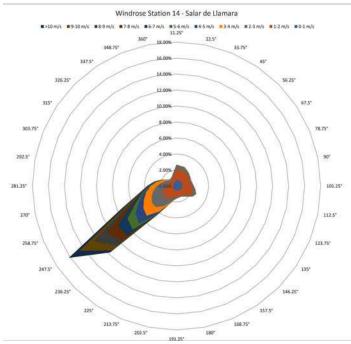


Abb. 30: Windrose, Durschnitt über zwei Jahre. Grafik generiert aus Daten von: Hoffmeister, Dirk (2018): Meteorological and soil measurements of the permanent weather stations in the Atacama desert, Chile.

0.13.2Isolierung

Das Gebäude folgt der natürlichen Topografie des Bauplatzes. Die Schlaf-, Büro- und Laborräume sitzen demnach auf Streifenfundamenten leicht versenkt in der Landschaft. Der Bauplatz wird hierbei noch relativ wenig aufgegraben. Nichtsdestotrotz trägt die Versenkung zur zusätzlichen Isolierung der Räume bei. Zudem bieten die Wandscheiben und der zentrale Raum mit ihrer Schuttfüllung thermische Masse und regulieren das Raumklima des Gebäudes.

Durch das Positionieren des Gebäudes unterhalb des Landschaftsniveaus kann innerhalb der Räume eine relativ konstante Temperatur gehalten werden, auch bei hoher Sonneneinstrahlung. Bei nächtlichem Abfall der hohen Tagestemperaturen geben die massiven Wände ihre gespeicherte Wärme wieder an die Innenräume ab. In den Aufbauten soll prinzipiell kein industrielles Dämmmaterial verwendet werden. Die selbsttragenden Fertigpanele werden dementsprechend mit Wurzelfasern gedämmt. Die zentralen Steinelemente benötigen gar keine Wärmedämmung, da das Raumklima selbstregulierend ist.



Abb. 31: Sinnbild. Verschattung eines Marktes in Chile.

Materialien 0.13.3

Im ganzen Gebäude werden entweder natürliche, also nicht industriell hergestellte Materialien verwendet oder Materialien, die, nachdem sie ihre Nutzungszeit überdauert haben, abtransportiert, recycelt oder wiederverwendet werden können. So setzen sich die Wandscheiben des zentralen Ganges in erster Linie aus Kalkstein zusammen, da dieser auch im Sockelbereich sehr

beständig ist und außerdem in Chile häufig vorkommt und auch abgebaut wird. Die äußere Hülle der zentralen, elliptischen Geometrie wird als Trockensteinmauerwerk aus gräulichem Bruchstein (Schiefer) gelegt und stützt sich auf Schichten von aufgeschüttetem und verdichtetem Bodenmaterial ab. Im zentralen Raum werden für das Kraggewölbe Tuffsteine verwendet. Diese sind vulkanisch und auch lokal verfügbar. Sie weisen aufgrund ihrer Porösität und Leichtigkeit gute Eigenschaften für diverse Arten von Gewölben auf. Der Sockel besteht in diesem Raum aus großen Granitklötzen, welche gleichzeitig Sitzbänke für die Besucher bilden. Sowohl die Windtürme als auch die Boxen der Schlafräume, Laborräume und Nebenräume bestehen aus sogenannten structural insulated panels. Zwischen den OSB Platten wird mit kultivierter Wurzelfaser gedämmt. Diese Fertigpaneele werden in Bío-Bío in Chile hergestellt. Die Standfestigkeit der Wandscheiben und der zentralen, elliptischen Struktur wird unter anderem durch eine Füllung aus Bodenmaterial gewährt. Hier soll das Material, welches für das Bauvorhaben abgegraben wird, wiederverwendet werden. Für den Boden der zentralen Bereiche wird auf einer Holz-Trass-Lehm Mischung Trasston verdichtet. Dieser sorgt für eine natürliche, aber staubfreie Oberfläche. Wichtig ist hier zu wissen, dass durch den ausgeprägten Abbau von Metallen im Norden Chiles Stein als Abfallprodukt anfällt und weiter verwertet werden kann.

0.13.4Wasserversorgung

Vor allem die Sammlung von Wasser ist in diesem einzigartigen Klima von hoher Bedeutung. Das Gebäude wird zum einen von Nebelfängern, welche entgegen der dominanten Windrichtung orientiert sind, versorgt und zum anderen wird das Grundwasser angezapft. Wasser wird an diesen Ort aus Gebirgsregionen geleitet und füllt bei Regenfall den unterirdischen Grundwasserspeicher wieder auf. Das gesammelte Wasser der Nebelfänger und das Grundwasser wird in Tanks gespeichert, die höher gelegen in den Windtürmen platziert sind, um einen Druckunterschied zu generieren.

Die Nebelfänger müssen gegen die Hauptwindrichtung ausgerichtet sein, da der Wind die Wassertropfen erst mit einem Netz aus Kunststoff kollidieren lässt. Von diesem Netz tropft das Wasser dann in eine Rinne ab und fließt in einen Tank (siehe Funktionsschema Nebelfänger). Mit lokalen Experten wurde besprochen, ob ein derartiges Konzept für die Wassersammlung am Bauplatz möglich ist. Das Resultat ist, dass der Bedarf des Gebäudes nicht ausschließlich mit Nebelfängern gedeckt werden kann. Dieses System kann aber trotzdem ergänzend verwendet werden. Die Region um das Salar de Llamara weist regelmäßiges Nebelvorkommen auf. (Dr. Dirk Hoffmeister)

Grundsätzlich ist die Verwendung von Nebelfängern in Chile längst state of the art. Unter anderem in der experimentellen Station Alto Patache (Nähe Iquique) wird das Brauchwasser für die Besucher ausschließlich durch Nebelfänger akkumuliert. Nachdem Alto Patache aber auch näher an der Küste liegt. ist das Nebelaufkommen hier deutlich höher als am Salar de Llamara.



Abb. 32: Nebelfänger der experimentellen Station Alto Patache.

0.13.5Energiekonzept

Ziel ist, das gesamte Gebäude als Zero energy building zu planen. Zumindest die Energie, die das Gebäude selbst benötigt, soll vor Ort gedeckt werden, damit das Projekt möglichst autonom funktionieren kann. Wo möglich, funktioniert die Lüftung natürlich (Windtürme), über Druckunterschiede, und ansonsten kann sie mechanisch geregelt werden. Der Energiebedarf, welcher gedeckt werden muss, zum Beispiel, um Wasser zu erhitzen, wird über eine Batterie gedeckt, die wiederum von Photovoltaikpanelen gespeist wird. Aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung und der hohen Anzahl von jährlichen Sonnenstunden ist es unbedenklich möglich, auch den Energiebedarf eines größeren Gebäudes solar zu decken.

Was bleibt? Zukunftsaussichten 0.13.6

Obwohl dieser spezifische Bauplatz eine hochinteressante Forschungsumgebung bietet, kann es sein, dass zumindest die Laborräume etwa 15 Jahre später nicht mehr genutzt werden. Hier tut sich zum einen die Möglichkeit auf, die Holzpaneele zu sanieren und das Gebäude weiterhin als Unterkunft und Herberge für den Wüstentourismus zu nutzen, zum anderen aber die Holzpaneele komplett abzutransportieren und zu recyceln. In zweitem Fall bildet die geschaffene massive Struktur eine Skulptur in der Wüstenlandschaft, welche ihre Umgebung rahmt. Diese würde weiterhin von Touristen besucht werden, da sie zudem entlang der Straße Panamericana Norte und neben dem Salar de Llamara platziert ist.

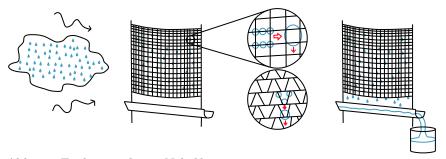


Abb. 33: Funktionsschema Nebelfänger

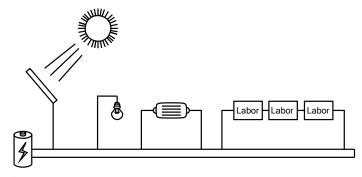


Abb. 34: Energieversorgung

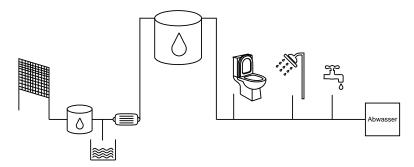


Abb. 35: Wasserversorgung

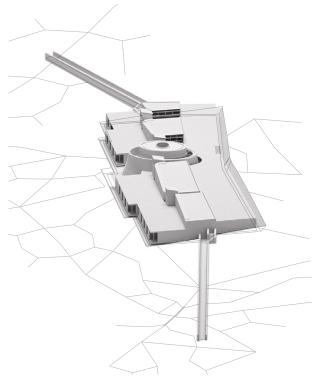


Abb. 36: Schema Gebäudeelemente

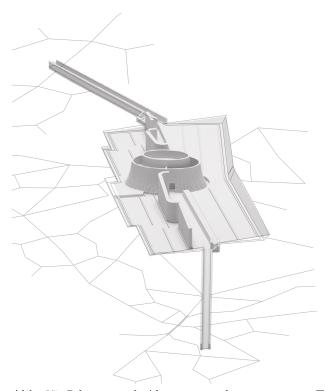


Abb. 37: Schema nach Abtransport der temporären Elemente

0.14 Raumprogramm

Gliederung und Ausstattung

Eingangsbereich	Rezeption/Shop, Umkleide
Ausstellungsfläche	Audiovisueller Saal Besucher
Besprechungsraum Forscher	
Aufenthaltsräume	Kommunikationszonen
Büros	Computerarbeitsplätze DVD/CD Bibliothek
Speiseraum/Cafeteria	
Schlafräume	Sanitäreinrichtungen
Funktionsräume: Erschließungszonen Sanitäranlagen u. Umkleiden Personal Sanitäranlagen allgemein Arbeitsraum Putzraum Küche Lagerräume Vorratsräume Waschraum Technik	Reperaturen/Installateurarbeiten Warmwasseraufbereitung

Projekt

Biologisches Labor/Mikrobiologisches Labor	Laborarbeitsplätze Dokumentationszone Spülbecken Stauraum (Proben, Gläser) Abzugsschrank (Arbeiten mit Chemikalien) Wasseraufbereitung (ISO Wasser) Klimageräte (konstante Temperatur: 22°) Leitungen (Strom/Gas) Autoklav
physikalisches/geologisches Kleinraumlabor	
Umkleide	1
Equipmenträume: Kühlraum Wagtisch Lagerraum Utensilien	Lagerraum Chemikalien
Großgeräteraum	Eismaschine Zentrifuge -80°Kühlschrank Schüttelmaschine Brutschrank 28° Brutschrank 37°

Proj	ekt

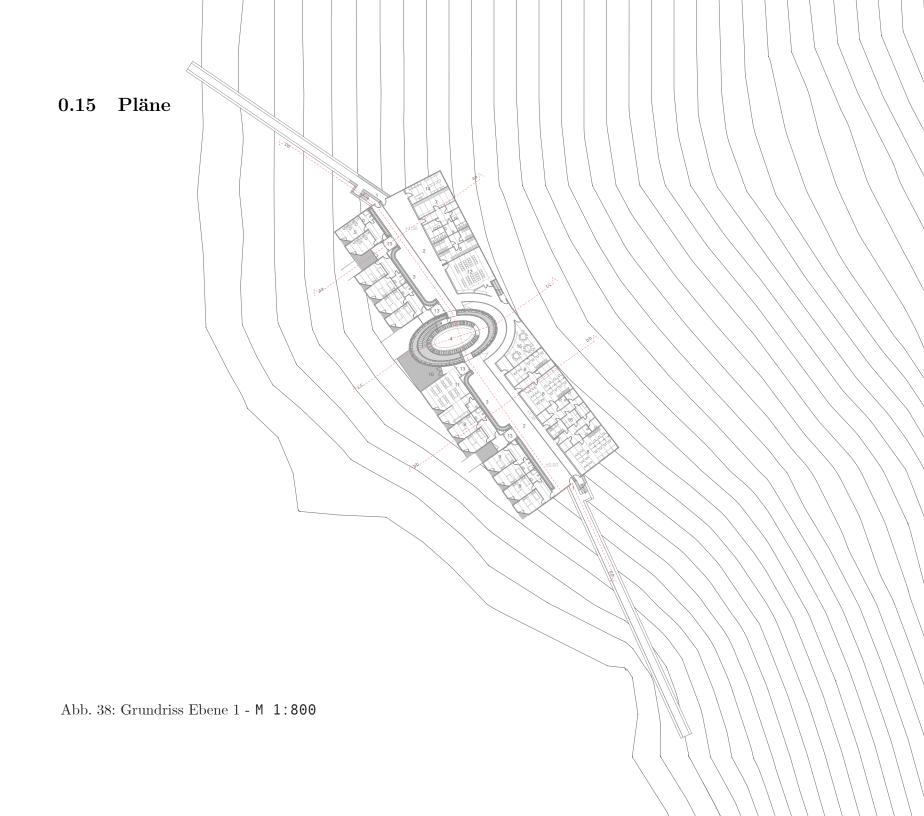
Raumgrößen

3	
Rezeption/Shop	$30\mathrm{m}^2$
Umkleide Besucher	$23\mathrm{m}^2$
Audiovisueller Saal Besucher	$63\mathrm{m}^2$
Besprechungsraum Forscher	$38\mathrm{m}^2$
Aufenthaltsräume: Kommunikationszonen Ausstellungsfläche Zentraler Raum	$rac{350\mathrm{m}^2}{38\mathrm{m}^2}$
Büros	$54\mathrm{m}^2$
Speiseraum/Cafeteria	$50\mathrm{m}^2$
Schlafräume inkl. Sanitäreinrichtungen	$280\mathrm{m}^2$
Funktionsräume: Erschließungszonen Sanitäranlagen u. Umkleiden Forscher Sanitäranlagen allgemein Putzräume Küche Lagerräume Vorratsräume Waschraum	$\begin{array}{c} 240\mathrm{m}^2 \\ 18\mathrm{m}^2 \\ 37\mathrm{m}^2 \\ 9\mathrm{m}^2 \\ 23\mathrm{m}^2 \\ 22\mathrm{m}^2 \\ 32\mathrm{m}^2 \\ 8\mathrm{m}^2 \end{array}$

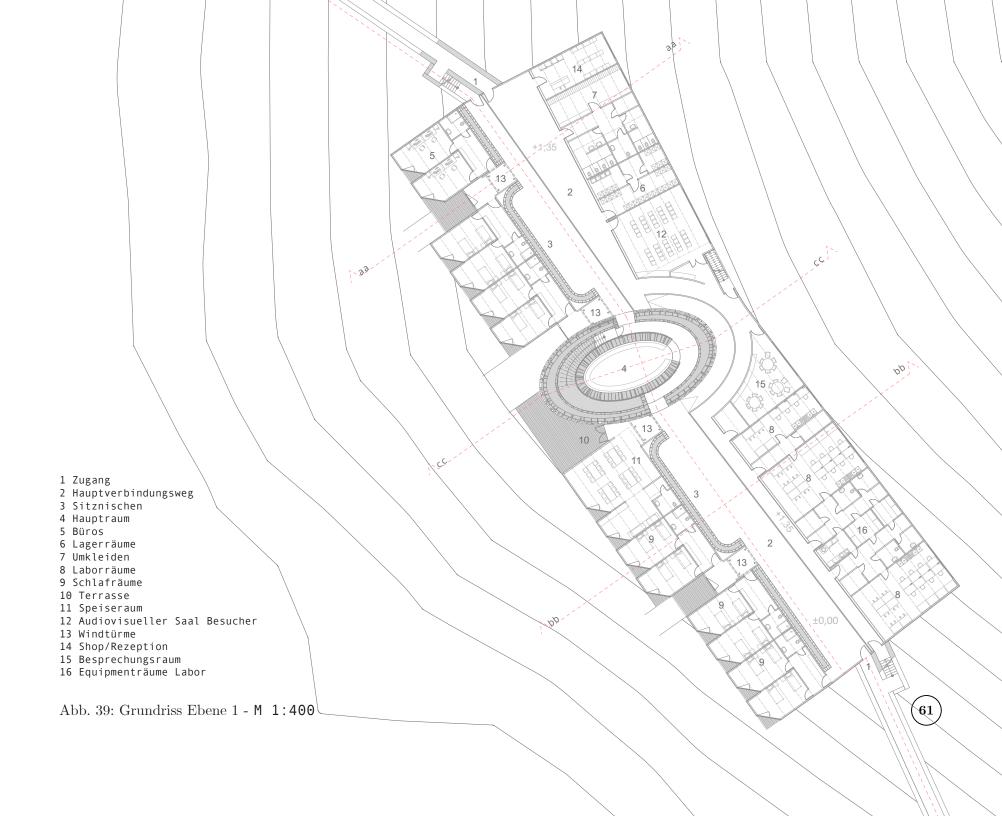
Projekt

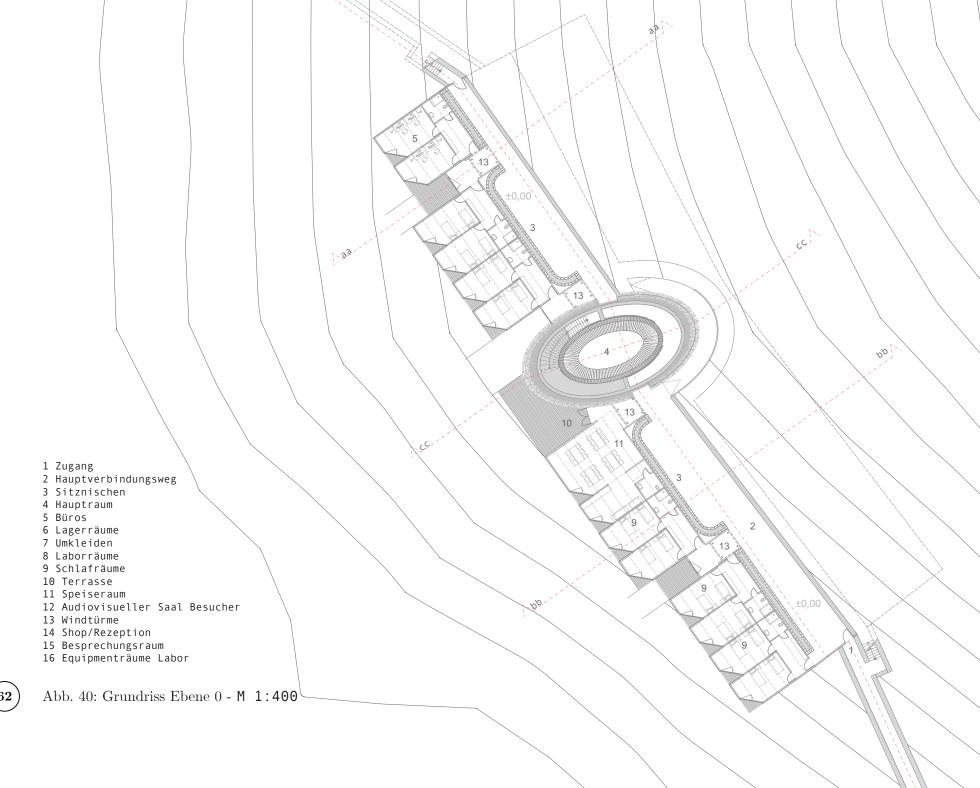
Biologisches Labor	$57\mathrm{m}^2$
Mikrobiologisches Labor	$57\mathrm{m}^2$
physikalisches/geologisches Kleinraumlabor	$30\mathrm{m}^2$
Equipmenträume: Kühlraum/Lagerraum Chemikalien Lagerraum Utensilien	$\begin{array}{c c} 8\mathrm{m}^2 \\ 5\mathrm{m}^2 \end{array}$
Großgeräteraum	$8\mathrm{m}^2$

Gesamte Nettogeschoßfläche (exkl. Terrassen) ca. $1480\,\mathrm{m}^2$

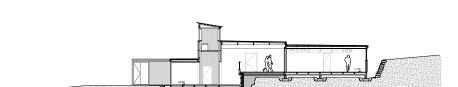












Projekt

Abb. 41: Schnitt aa M 1:400

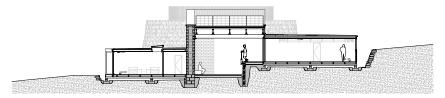


Abb. 42: Schnitt bb M 1:400

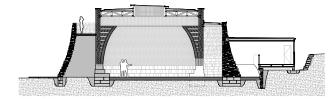
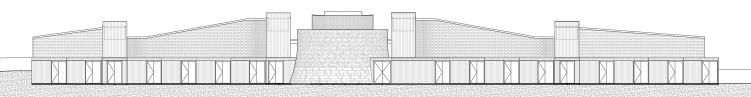


Abb. 43: Schnitt cc M 1:400



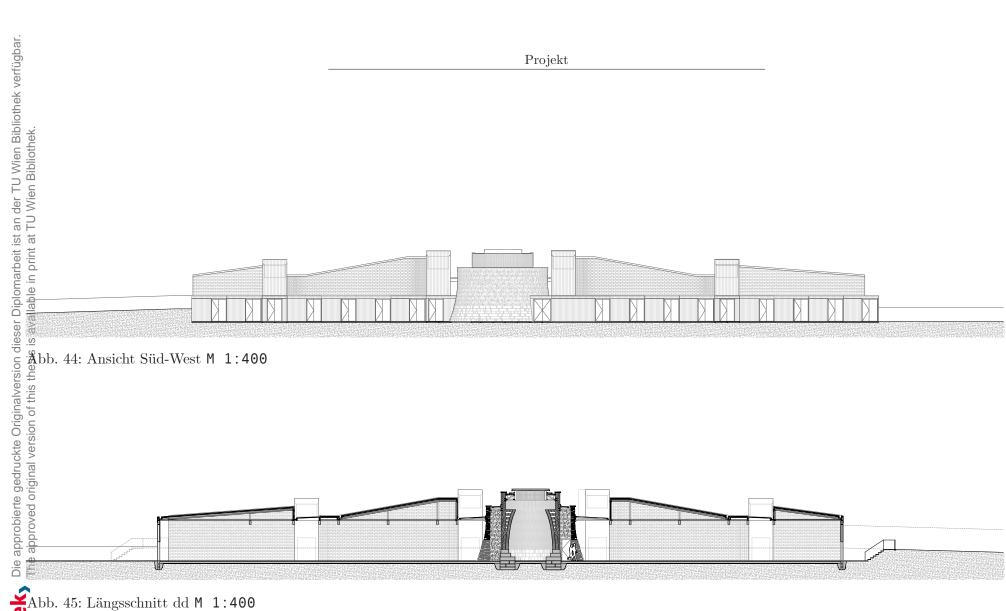
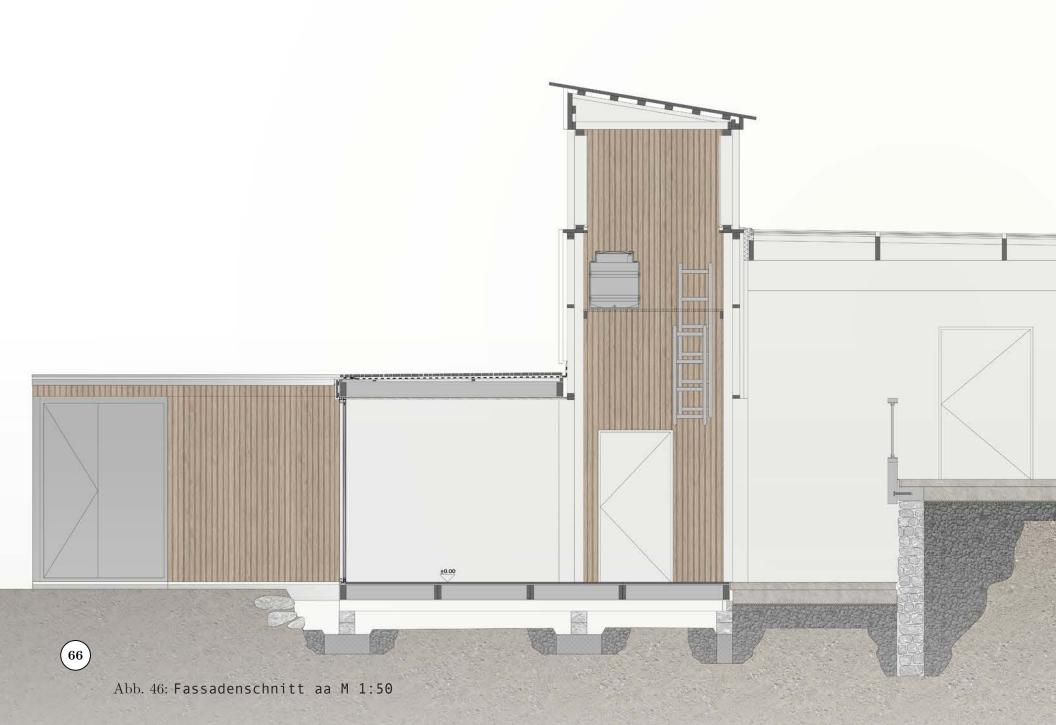
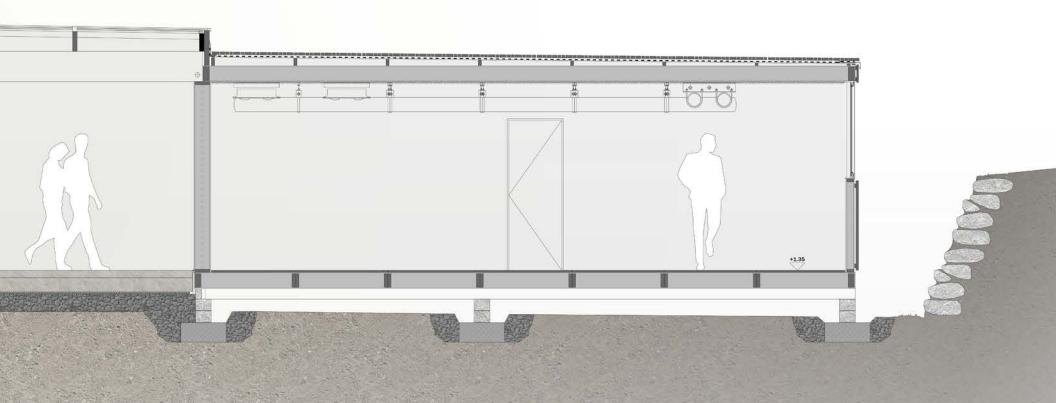
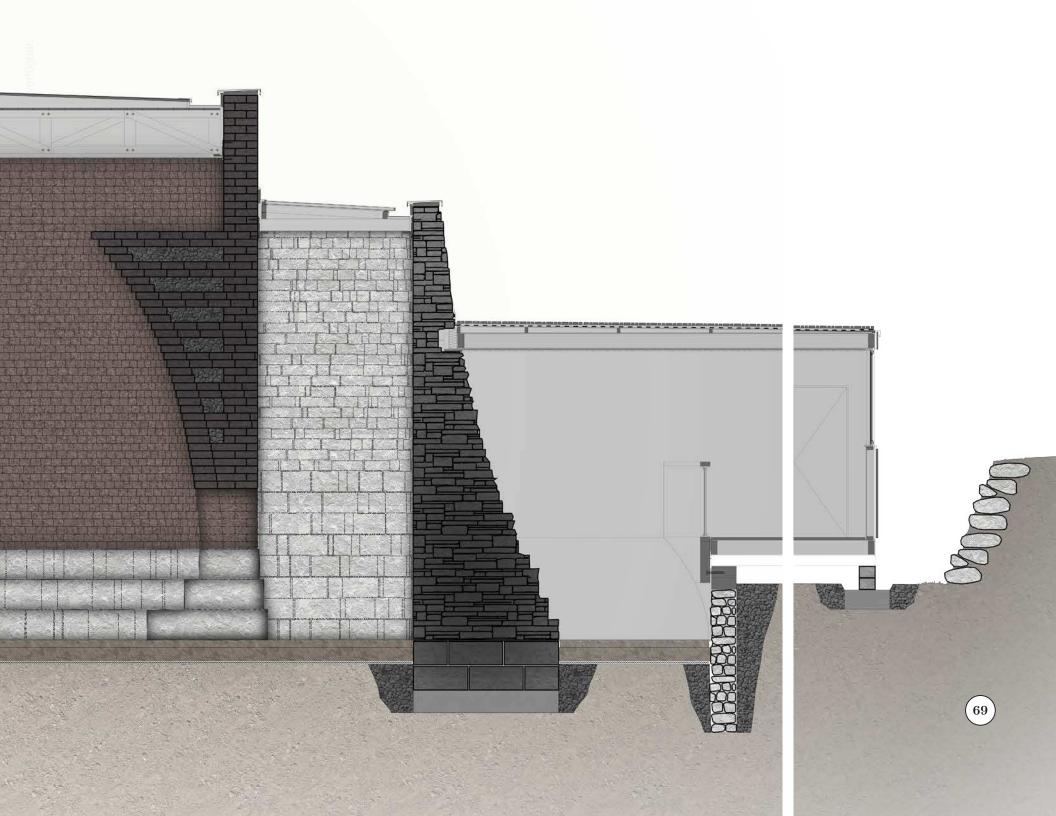


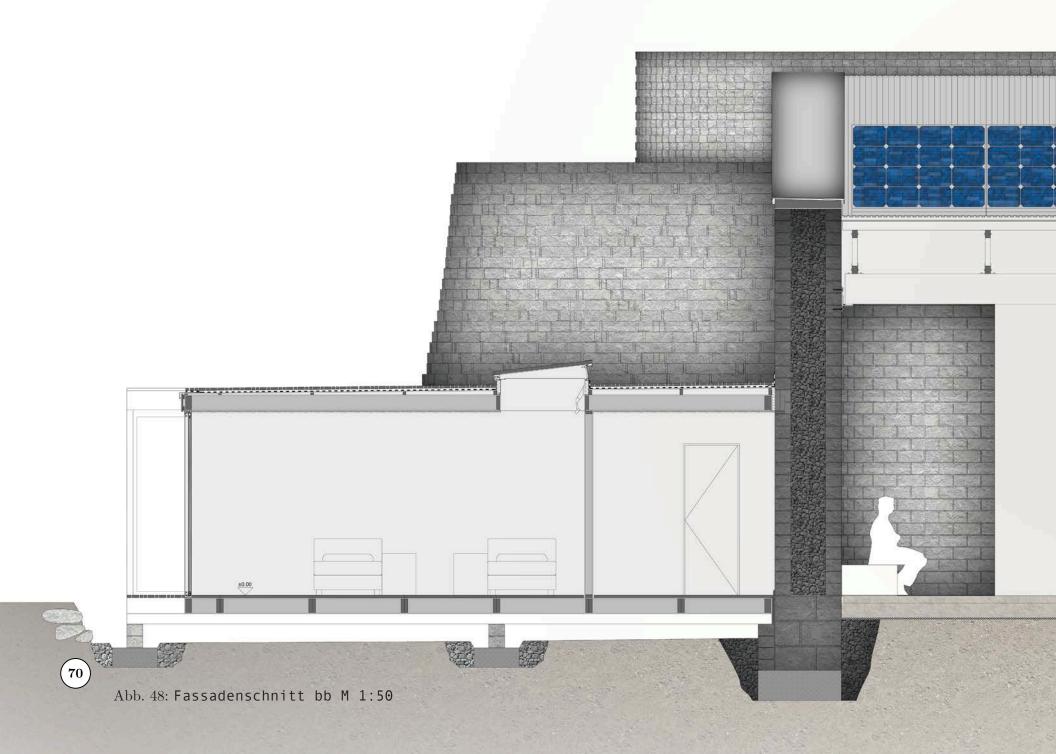
Abb. 45: Längsschnitt dd M 1:400

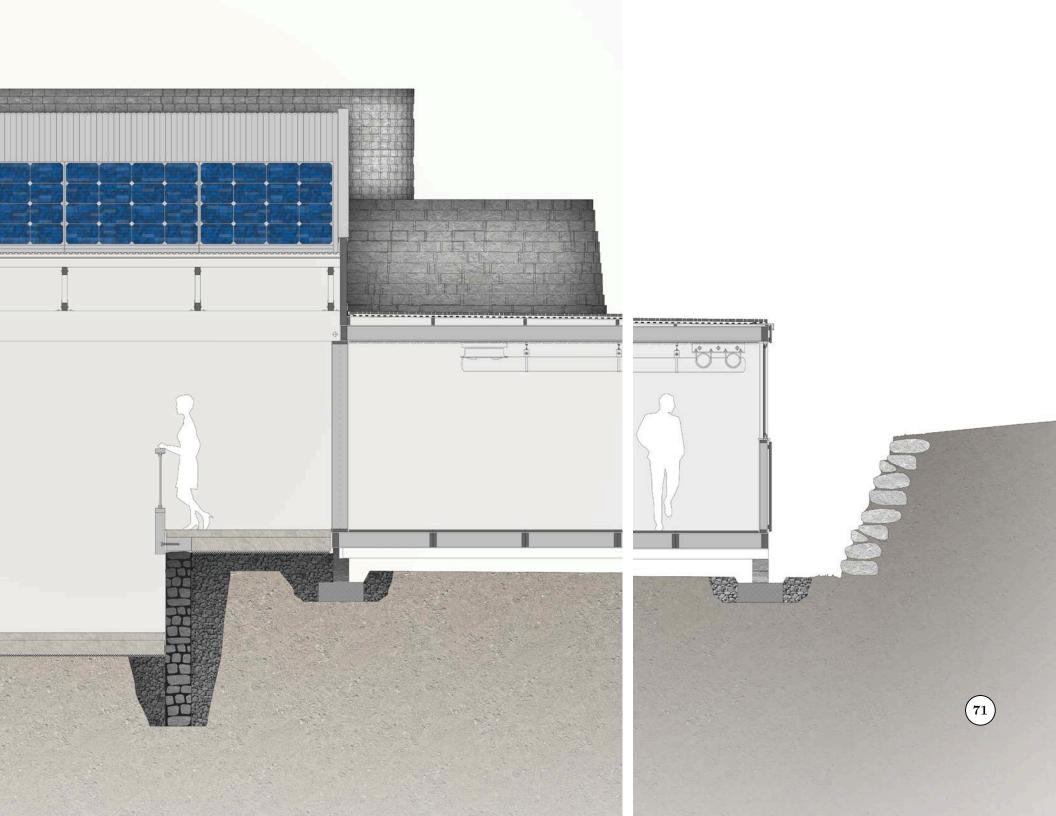
Projekt



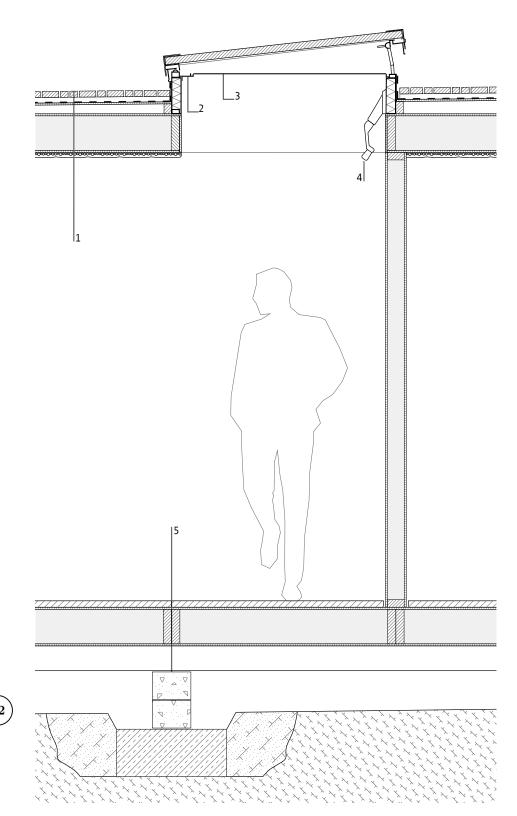


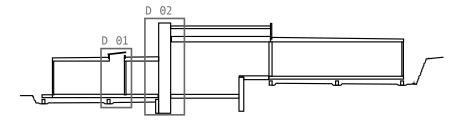




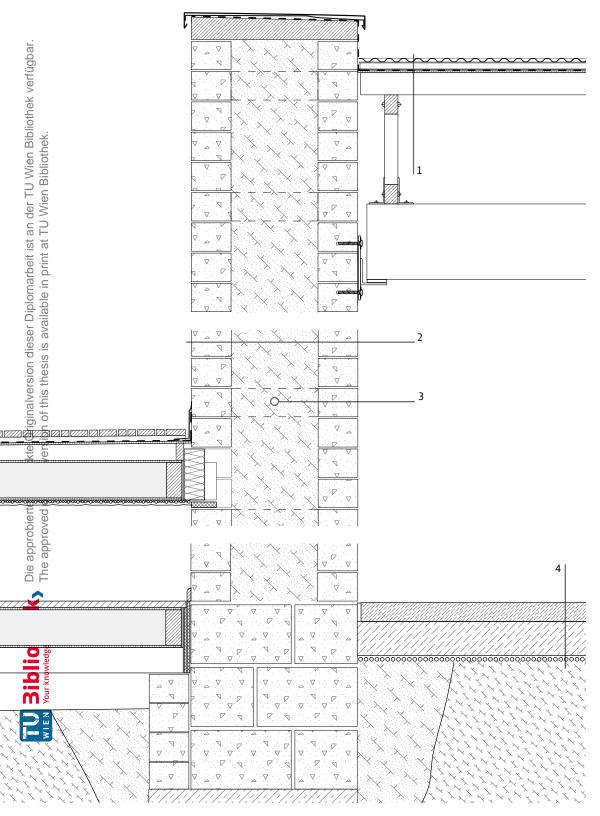


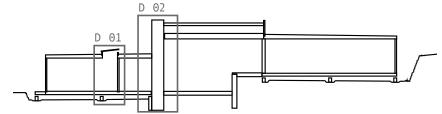






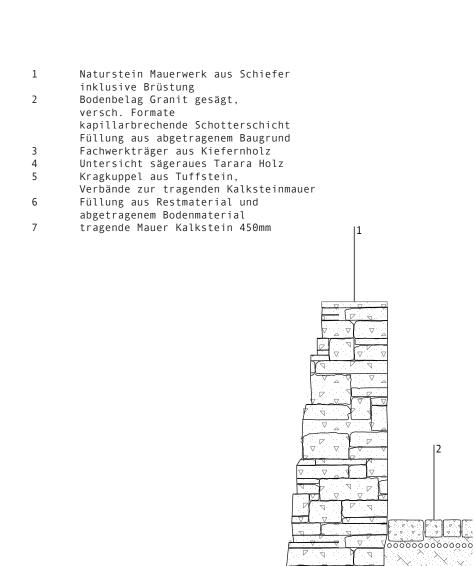
- 1 Deckung aus imprägnierter Kiefer Konterlattung Kiefer Abdichtung OSB Platte 11,1 (Gefälle 1%) Panel: OSB Platte 11,1mm Dämmung aus Wurzelfaser/Holzbalken 50x200mm OSB Platte 11,1mm Lehmputz auf Schilfrohr Putzträger
- Kondensationsauffang
- 3 Insektengitter
- manueller Öffner
- 5 Betonplatten Panel: OSB Platte 11,1mm Dämmung aus Wurzelfaser/Holzbalken 50x200mm OSB Platte 11,1mm Holzbalken Kiefer 60x140mm Naturstein 210mm Streifenfundament Beton 600mm





- 1 Wellblech verzinkt 18mm
 Unterkonstruktion Hutprofil 40mm
 Abdichtung PE-Folie
 Sperrholzplatte 12mm
 Träger Kantholz 50x100mm
 Fachwerkträger Kantholz 50x100mm
 Querträger Kantholz 130x400mm
- Naturstein Kalk 210mm Füllung aus abgetragenem Baugrund Naturstein Kalk 210mm
- 3 Binderstein Gneis
- 4 Trasstonboden geschliffen 100mm Holz-Trass-Lehm-Mischung 180mm kapillarbrechende Schotterschüttung





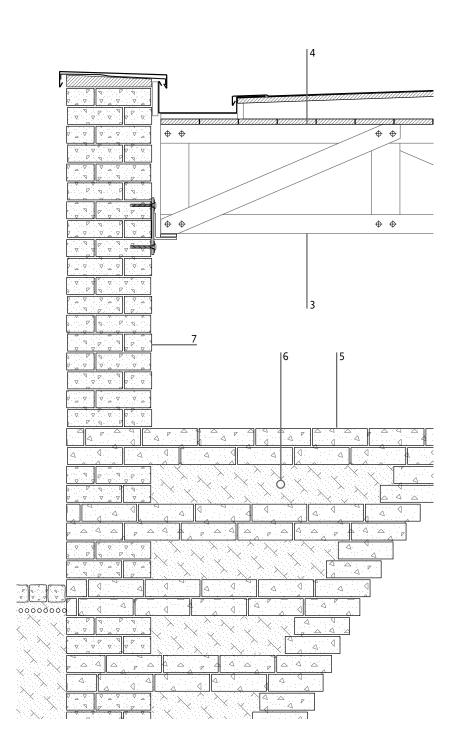
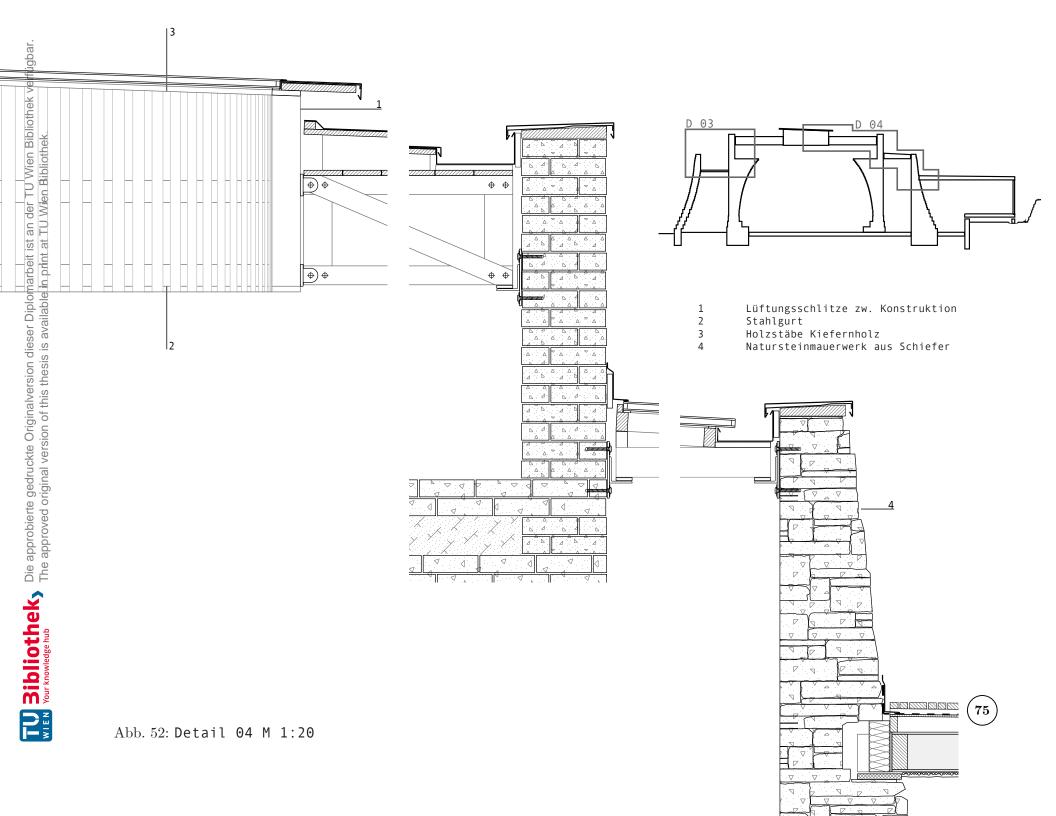


Abb. 51: Detail 03 M 1:20



Schaubilder 0.16





Abb. 53: Schaubild Zugang





Abb. 54: Schaubild Forschungsstation



82



Abb. 55: Schaubild Hauptgang

84

Projekt

Abb. 56: Schaubild zentraler Raum

Referenzen

- [1] A. SÁEZ, L. CABRERA, A. JENSEN G. CHONG: Late Neogene lacustrine record and palaeogeography in the Quillaqua-Llamara basin, Central Andean fore-arc (northern Chile). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 151(1-3):5-37, 1999.
- [2] AHMADKHANI, BAHRAM: Traditional sustainable solutions in Iranian desert architecture to solve the energy problem. Int. J. Tech. Phys. Probl. Eng., 6, 01 2011.
- [3] AYDENIZ, NAGME EBRU und FELLAHI NADJLA: Mzab algerian vernacular architecture: A connection between the architecture and the environment. Yasar University, 2019.
- [4] BICHER, BÄRBEL: Die Welt der Gesteine. Geo- und Umweltportal Freiburg, 2019. Accessed on 2020-01-13.
- [5] BIENES NACIONALES, MINISTERIO DE: Amplía reserva nacional Pampa del Tamarugal, en la comuna de Pozo Almonte, provincia del tamarugal, región de Trapacá. https://www.levchile.cl/Navegar?idNorma=1053868, 2013. Accessed on 2020-01-20.
- [6] BITTMANN BENTE, LE PAIGE S.J. R.P. GUSTAVO, NÚÑEZ A. LAUTARO; cultura atacameña, serie el patrimonio cultural chileno, colección culturas aborigenes. Departamento de Extension Cultural del Ministerio de Educacion, 1978.
- [7] BOBENRIETH, L.: Geología de los cuadrángulos Cerro Desamparado y Cerro Soledad, Regiones de Tarapacá y Antofagasta, Memoria de Título (Inédito). Universidad de Chile, Departamento de Geología, 5, 1980.
- [8] Bull, Alan T., Barbara A. Andrews, Cristina Dorador und Michael Goodfellow: Introducing the Atacama Desert. Antonie van Leeuwenhoek, 111(8):1269-1272, Aug 2018.
- [9] C., Fernando Olivares: Salar de Llamara sumergido. https://www.chileindomito.cl/salar-de-llamara-sumergido/, 2016. Accessed on 2019-12-18.
- [10] CHILE, DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA UNIVERSIDAD DE: Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000. http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000.html, 2017. Accessed on 2019-12-11.
- Biblioteca del Congreso Nacional DE: ClimaVegetación https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region1/clima.htm. Accessed on 2019-12-11.
- [12] Consejo de Monumentos Nacionales de Chile: Pucará de Quitor. https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/pucaraquitor. Accessed on 2019-08-12.
- [13] DEHGHANI-SANIJ, ALIREZA R, MADJID SOLTANI und KAAMRAN RAAHEMIFAR: A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42:182–195, 2015.
- [14] DITTRICH, EGBERT: The Sustainable Laboratory Handbook Design, Equipment, Operation. Wiley-VCH Verlag GmbHu.Co.KGaA, 2015.
- [15] EMADIAN RAZAVI, SZ und M TAHBAZ: Climatic exterior walls in residential buildings of Yazd. Iran University of Science & Technology, 25(1):1-5, 2015

REFERENZEN

- [16] FACEY, WILLIAM: Back to Earth: Adobe Houses in Saudi Arabia. Arabian Publishing Ltd., 1999.
- [17] FORESTAL, CORPORACIÓN NACIONAL: Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. http://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-pampa-del-tamarugal/. Accessed on 2020-01-20.
- [18] GONZÁLEZ-PIZARRO, JOSÉ ANTONIO und CLAUDIO GALENO-IBACETA: Natural and Cultural Landscapes in Atacama Desert: Between Tradition and Innovation. In: Landscape Architecture-The Sense of Places, Models and Applications. IntechOpen, 2017.
- [19] GRIEM, WOLFGANG: Morfología de la Región de Atacama, Chile, https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap09b.htm, updated 2015, Accessed on 2019-07-30.
- [20] HARDOY, JORGE ENRIQUE: Pre-Colombian Cities. Routledge, 2014.
- [21] HENSCHEL, JR und N LANCASTER: Gobabeb-50 years of Namib Desert research, Journal of Arid Environments, 93:1-6, 2013.
- [22] Huang, Jianping, Wu Zhang, Jinqing Zuo, Jianrong Bi, Jinsen Shi, Xin Wang, Zhoulin Chang, Zhongwei Huang, Su Yang, Beidou Zhang, Guoyin Wang, Guanghong Feng, Jiuyi Yuan, Lei Zhang, Hongchao Zuo, Shigong Wang, Congbin Fu und Chou Jifan: An overview of the Semi-arid Climate and Environment Research Observatory over the Loess Plateau. Advances in Atmospheric Sciences, 25(6):906, Nov 2008.
- [23] JOURNAL, CIBSE: Life support providing heat and power in Antarctica. https://www.cibsejournal.com/general/life-support-keeping-scientists-warmin-antarctica/, 2016. Accessed on 2019-09-07.
- [24] KESHTKARAN, PARINAZ: Harmonization between climate and architecture in vernacular heritage: A case study in Yazd, Iran. Procedia Engineering. 21:428-438, 2011.
- [25] King, Geoffrey: Traditional architecture in Najd, Saudi Arabia. In: Proceedings of the Seminar for Arabian Studies, Seiten 90–100. JSTOR, 1977.
- [26] KNAPP, RONALD G: Chinese landscapes: the village as place, Seiten 159–160. University of Hawaii Press, 1992.
- [27] MALEKI, B AHMADKHANI: Traditional sustainable solutions in Iranian desert architecture to solve the energy problem. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), 6:84–91, 2011.
- [28] MALJANIAN, BRIANNA ROSE, CHRISTOPHER DAVID SONTAG, KELLY ANN AMES und TIMOTHY PATRICK O'NEIL: Energy Demand Management at the Gobabeb Research and Training Centre. Gobabeb Research and Training Centre, 2013.
- [29] MARTIN, MICHAEL: Planet Wüste. Verlag Knesebeck, 2015.
- [30] MILETO, CAMILLA, FERNANDO VEGAS, L GARCÍA SORIANO und VALENTINA CRISTINI: Vernacular architecture: Towards a sustainable future. Crc Press.
- [31] MORTADA, HISHAM: Sustainable desert traditional architecture of the central region of Saudi Arabia. Sustainable Development, 24(6):383–393, 2016.
- [32] MORTADA, HISHAM: Sustainable Desert Traditional Architecture of the Central Region of Saudi Arabia: Traditional Desert Architecture. Sustainable Development, Seiten 383–393, 2016.
- [33] Muñoz, Eduardo: Restauración del Pucara de Quitor. Estudios Atacameños. Arqueología y antropología surandinas, 1(7):191–197, 1984.
- [34] MUSEO PRECOLOMBINO: pueblos originarios de chile. http://www.precolombino.cl/culturas-americanas/pueblos-originarios-de-chile/atacameno/. Accessed on 2019-07-14.
- [35] Nalpas, Thierry, M-P Dabard, Gilles Ruffet, Antoine Vernon, Constantino Mpodozis, Alfredo Loi und Gérard Hérail: Sedimentation and preservation of the Miocene Atacama Gravels in the Pedernales-Chañaral area, Northern Chile: Climatic or Tectonic control? Tectonophysics, 459(1-4):161-173, 2008.
- [36] NAVARRA, GOBIERNO DE: Clasificación climática de Köppen. http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm. Accessed on 2019-12-11.
- Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. Ullstein, 1959.



REFERENZEN

- [38] NORM, NCH3308:2013: Ventilación Calidad aceptable de aire interior Requisitos.
- [39] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 2, Kapitel 2, Seiten 874–875. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [40] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 2, Kapitel 4, Seiten 1580,1595–1596. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [41] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 1, Kapitel 6, Seite 473. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [42] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 1, Kapitel 6, Seiten 483,488. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [43] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 3, Kapitel 7, Seiten 2107–2109. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [44] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 3, Kapitel 5, Seiten 1647–1648. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [45] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 1, Kapitel 3, Seite 144. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [46] OLIVER, PAUL: Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Band 3, Kapitel 5, Seiten 874–875. Cambridge University Press Cambridge, 1997.
- [47] QUADE, JAY, JASON RECH, JULIO BETANCOURT, CLAUDIO LATORRE, BARBRA QUADE, KATE RYLANDER und TIMOTHY FISHER: Paleowetlands and regional climate change in the central Atacama Desert, northern Chile. Quaternary Research, 69:343–360, 03 2008.
- [48] REMINI, BOUALEM, BACHIR ACHOUR, CHEIKH OULED BELKHIR und DAHMANE BABA AMAR: The Mzab foggara: an original technique for collecting the water rising. Journal of Water and Land Development, 16(1):49–53, 2012.
- Bayerischer: Desertifikation Ausbreitung der Wüste, Die Wüste wächst jedes Irland. https://www.br.de/themen/wissen/wueste-ausbreitung-desertifikation-verwuestung-100.html, 2018. Accessed on 2019-07-07.
- [50] SAADATIAN, OMIDREZA, LIM CHIN HAW, KAMARUZZAMAN SOPIAN und MOHAMAD YUSOF SULAIMAN: Review of windcatcher technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3):1477–1495, 2012.
- [51] Society, The Mars: ABOUT THE MDRS. http://mdrs.marssociety.org/about-the-mdrs/. Accessed on 2019-09-06.
- [52] SUDA, JÜRGEN und RUDOLF-MIKLAU FLORIAN: Bauen und Naturgefahren: Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz, Kapitel 8, Seite 289. Springer-Verlag, 2011.
- [53] SURVEY, BRITISH ANTARCTIC: Halley VI Research Station. About. https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/#about. Accessed on 2019-09-07.
- [54] TAPIA, J, R GONZÁLEZ, B TOWNLEY, V OLIVEROS, F ÁLVAREZ, G AGUILAR, A MENZIES und M CALDERÓN: Geology and geochemistry of the Atacama Desert. Antonie van Leeuwenhoek, 111(8):1273–1291, 2018.
- [55] UNBEKANNT: Erdbebensicheres Bauen mit lokalem Baumaterial. https://www.nepal-entwicklung.org/berichte/erdbebensicheres-bauen/. Accessed on 2019-11-05.
- WALTER, HEINRICH und SIEGMAR-W BRECKLE: Ökologie der Erde: Band 2: Spezielle Ökologie der Tropen und Subtropen, Band 2, Kapitel 3, Seiten 210-212. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1984.
- [57] Walter, Heinrich und Siegmar-W Breckle: Ökologie der Erde: Band 2: Spezielle Ökologie der Tropen und Subtropen, Band 2, Kapitel 3, Seiten 254-264. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1984.
- [58] Walter, Heinrich und Siegmar-W Breckle: Ökologie der Erde: Band 2: Spezielle Ökologie der Tropen und Subtropen, Band 2, Kapitel 3, Seite 213. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1984.
- [59] Wissen: Wüsten. https://www.wissen.de/lexikon/wuesten. Accessed on 2019-06-30.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit und das ganze Studium über fachlich und seelisch unterstützt haben.

Andrea Rieger-Jandl- für die Betreuung der Diplomarbeit und den prägenden Input

Mauricio Muñoz Castillo Raimundo Lugaro Constanza Vargas Sascha Koslowsky Cristina Mercado Clavijo - für die Unterstützung und Inspiration in Chile

Patricio Figueroa Rossi

Ursula & Robert Hofer Bernhard & Iris Hofer Getraud & Robert Hofer Rosemarie Krydl

Oliver Dunkel Alexandra List Nadine Schuller

Danke für alles.