

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

Diplomarbeit

## **Kompetenzzentrum für erneuerbare Energie**

am Colegio „Juan XXIII“ der Bildungseinrichtung „Fe y Alegria“,  
Cocaraya, Dep. Cochabamba, Bolivien

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

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Karin Stieldorf

Abteilung für Hochbau und Entwerfen E253/4,  
am Institut für Architektur und Entwerfen E253

eingereicht an der Technischen Universität Wien,  
Fakultät für Architektur und Raumplanung  
von

Hannes Schober

0126535  
8350 Hohenbrugg, Magland 83a

Wien, am 15. September 2009



gewidmet  
meiner Familie



.....bedanken möchte ich mich weiters bei

meiner Betreuerin Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Karin Stieldorf

Ao. Uni. Prof. Dipl.-Ing Dr. techn. Klaus Krec für die  
bauphysikalische Unterstützung

allen Mitgliedern und Förderern von el sol

meiner Familie und meinen Freunden

bei allen die mich während der Erstellung dieser Arbeit sowie  
meine ganze Studienzeit hindurch unterstützt haben.

# Inhalt

Einleitung	8	Materialien	38
Vorwort	9	Lehm	39
Das Projekt „el sol“	10	Adobe	40
Ziel des Projekts	13	Beton	41
		Hochlandgras	41
Überblick		Stroh	42
		Ziegel	42
Bolivien	16	Holz	43
Geschichte		Steine	44
Geographie	18		
Klima	19	nachhaltiges Bauen	46
Bevölkerung	20	autochthones Bauen	47
Politik	21	Solare Architektur	48
Wirtschaft	22	Die Sonne	48
Architektur	23	Mensch und Sonne	48
Cochabamba	34	historische Beispiele	49
Architektur	36	Sonnenschutz	50
		Sonnenenergienutzung	50

Das Colegio Juan XXIII, Cocaraya 53

Energetica 53

Fe y Alegria 53

Geschichte der Schule 54

Das Colegio Juan XXIII 52

    Bauabschnitt/Bestand 1986 59

    Bauabschnitt/Bestand 2006 64

Kompetenzzentrum für erneuerbare Energie 70

Vorgangsweise

    städtebauliche Überlegungen 70

    Funktionen 71

    alte Bauform – neue Interpretation – die Kancha 72

    Entwurf 74

    Konstruktion 78

Anhang

Bauphysikalische Simulation

Abbildungsverzeichnis

Literaturverzeichnis

## Einleitung

Vorwort

Das Projekt „el sol“

Ziel des Projekts



Abb 1: Ende des Selbstbau-Workshops, Curahuara de Carangas

## Vorwort

Wir stehen am Anfang des 21. Jahrhunderts. Konflikte schwelen weltweit um die knappen Ressourcen der ständig wachsenden Weltbevölkerung. Die fossilen Energieträger, deren Preise sich dauernd erhöhen, werden bald zur Neige gehen, trotzdem wird nach wie vor an ihnen festgehalten. Der Klimawandel, sei er nun als eine Folge natürlicher Umwälzungsprozesse der Erde zu sehen oder als Ergebnis des intensiven Ressourcenverbrauchs des letzten Jahrhunderts, bietet zusätzlichen Grund, sich Gedanken über Alternativen zu machen. Der Wechsel auf erneuerbare Energieträger - von denen die Sonne als einzig endlos verfügbare Energiequelle das größte Potential beinhaltet – scheint die einzige Möglichkeit. Doch auch Windenergie, Wasserkraft, Biomasse und Erdwärme sollen einen großen Teil zum Wandel von einer auf wirtschaftliche Rentabilität orientierten in eine auf ökonomische Rentabilität orientierten Gesellschaft beitragen.

Grob kann der Gesamtenergieaufwand auf der Erde in drei Hauptbereiche unterteilt werden: Industrie, Gebäude, Transport - wobei die Hälfte der gesamten verwendeten Energie auf die Konstruktion und den Betrieb von Gebäuden fällt<sup>1</sup>. In allen drei Bereichen wird die Entwicklung mehr und mehr in Richtung Nachhaltigkeit und ökologische Verantwortung gehen. Alternative Antriebe im Bereich Transport oder neue, ressourcenschonende Herstellungsprozesse in der Industrie sind als Beispiele zu nennen.

Für mich als angehender Architekt, besteht natürlich in der Bauwirtschaft das größte Potential der persönlichen Einflussnahme. Aber nicht nur Architekten, auch Bauträger, Bauherren, Ingenieure und nicht zuletzt die Politik haben grosse Handlungsmöglichkeiten den Energieverbrauch von Gebäuden zu senken.

<sup>1</sup> Behling S. u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.20,21

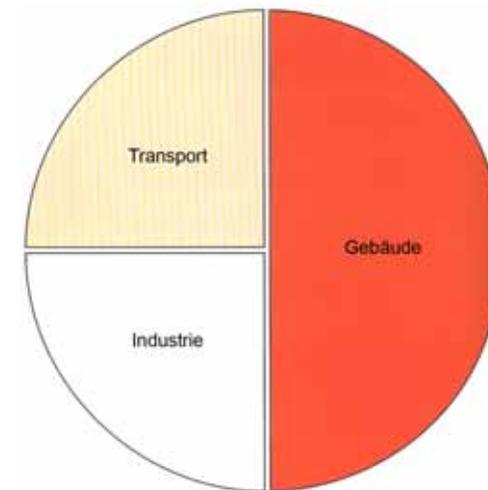


Abb 2: Weltenergieverbrauch

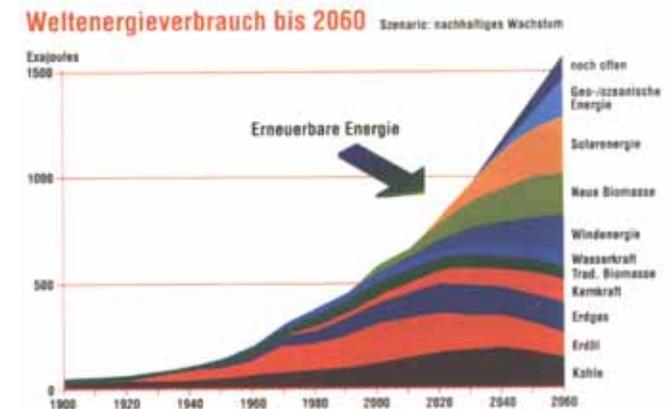


Abb 3: Potenzial für erneuerbare Energieträger

## Das Projekt „el sol“

Phase1: 2004-2006



Das Projekt „el sol“ (zu deutsch „die Sonne“) wurde 2004 ins Leben gerufen. Die Idee war einen Selbstbau-Solarkollektor zur Warmwassererzeugung, welcher an der HTL Ettenreichgasse, Wien entwickelt wurde, nach Bolivien zu „exportieren“. Daraufhin war man zweimal in Bolivien (2005 und 2007) um die Menschen vor allem im unwirtlichen Altiplano im Bau und im Umgang mit diesen Kollektoren zu schulen. So wurden ca. 15 Kollektoren mit der Bevölkerung gebaut (vor allem für öffentliche Gebäude wie Schulen) um so das Vertrauen in die Solarenergie zu stärken. Durch die Verwendung eines Solarkollektors ist es möglich die Versorgung mit Warmwasser ohne Einsatz von teurem Strom zu gewährleisten. Die Kollektoren sind als druckloses System konzipiert und bedürfen keinerlei aufwendiger Technik<sup>2</sup>.



Abb 4: Montage eines Kollektors, Modell „Caracol“, Apana

Auszeichnungen für el sol:

**Hubertus-Award 2007**, Sonderauszeichnung in der Kat. „Energie“

**Energy Globe Vienna 2007**, 3. Platz

**Trigos 2007**, 1. Platz, Kat. „Gesellschaft“ (mittlere Unternehmen)  
zusätzlich: Publikumspreis

**European Business Award 2008**

Windkraft Simonsfeld (mit dem Projekt EL SOL) wurde zu den 11 besten Unternehmen gewählt

Der nächste Schritt im Projekt besteht nun darin, durch gezielte Maßnahmen das Angebot und die Nachfrage in Bolivien im Bereich Solarthermie, zu stimulieren.

<sup>2</sup> [http://www.wksimonsfeld.at/wks/front\\_content.php](http://www.wksimonsfeld.at/wks/front_content.php), 17.08.2009

## Phase 2 – Solarthermisches Schulungsgebäude

Anfangs sollte im Zuge des Projekts eine Art „el-sol-Hauptquartier“ in Bolivien, in dem permanent Kurse zum (Selbst-) Bau der Kollektoren stattfinden errichtet werden.

Das war der Zeitpunkt, in dem ich zu el sol gestossen bin, brauchte man doch einen Architekten für das Bauvorhaben. Nach längerer Auseinandersetzung mit dem Thema und einem ersten Entwurf, wurde mir bewusst, dass ich, um ein solches Projekt durchführen zu können, viel tiefer in die Materie eintauchen musste und entschied mich gleichzeitig das Projekt zu meiner Diplomarbeit zu machen. Kurzerhand bewarb ich mich für ein Stipendium zur Durchführung einer „kurzen wissenschaftliche Arbeit im Ausland“ (kurz: KuWi) am Ausseninstitut der TU Wien und flog noch vor dem positivem Bescheid im September 2008 nach Bolivien, um an der **Universidad Mayor de San Andres (UMSA)** in La Paz meine Recherchen für die Arbeit durchzuführen.

Während meines Aufenthaltes in Südamerika fuhr ich mit dem Projektkoordinator Florian Mayer, der zur Projektanbahnung nach Bolivien gekommen war, nach Cochabamba um mit der NGO „Energetica“, einem potentiellen Partner von el sol, Kontakte zu knüpfen. Dabei stellte sich heraus, dass wir mit „Energetica“ einen perfekten Partner gefunden haben, der über sehr gute Kontakte in ganz Bolivien verfügt und Projekte im Bereich Photovoltaikanlagen, Trinkwasserversorgung, Biogasanlagen usw. abwickelt. Gemeinsam mit Miguel Fernandez (Energetica) besuchten wir einige Firmen in Cochabamba, die Solarkollektoren von sehr guter Qualität herstellen.

Das veranlasste uns dazu unser Vorhaben, das auf den Selbstbau von Kollektoren abzielt, fallenzulassen, um stattdessen die dort produzierten Kollektoren zu forcieren.



Abb 5: zwei Kollektortypen kamen in Phase 1 zum Einsatz



Abb 6: Duschkopf der Marke "Lorenzetti"

## Vergleich: Selbstbaukollektor vs. Kollektor Cochabamba

Bei der Selbstbauversion war es vonnöten, jeden Abend die Nachtdeckung des Kollektors zu schließen, um ein Auskühlen des gespeicherten Warmwassers zu verhindern. Nicht so beim professionellen Kollektor aus Cochabamba, der mit isolierten Tank ausgestattet ist und auf welchen es außerdem eine zweijährige Gewährleistung und eine Wartungsgarantie gibt. In Bolivien – im Gegensatz zu Österreich, wo es jede Menge Heimwerker gibt – ist man es nicht gewohnt selbst Hand anzulegen. Der Selbstbau ist zwar eine schöne (lt. Miguel Fernandez eine „romantische“) Vorstellung, doch tritt ein Gebrechen auf, ist man in den wenigsten Fällen in der Lage es wieder zu reparieren. Meist fehlt es dafür an Werkzeug und oft an der notwendigen Motivation bzw. am Know-How.

Der „kaputte“ Kollektor und die damit verbundene kostenlose Warmwassererzeugung wird „vergessen“, das Vertrauen in die nachhaltige Sonnenenergie schwindet und man installiert wieder den alten „Lorenzetti“-Brausekopf, der Warmwasser elektrisch erwärmt, oder verzichtet ganz auf die warme, hygienische Dusche.

Noch zu erwähnen bleibt, dass die Kosten des Selbstbaukollektors nur geringfügig niedriger sind und wenn man bedenkt, dass die Arbeitszeit für das Selberbauen nicht im Preis inkludiert ist, so ist dem professionell gefertigten Kollektor klar der Vorzug zu geben.

## Ziel des Projektes

Erneuerbare Energie wird in Bolivien noch kaum eingesetzt, obwohl die Voraussetzungen (Sonne, aber auch Wind) sehr gut sind.

Gerade in ländlichen Gegenden im Altiplano, wo durch die unzureichende Energieversorgung die erforderlichen Hygienestandards (Warmwasseraufbereitung) oft nicht erfüllt werden können, besteht die Möglichkeit der Nutzung der erneuerbaren Sonnenenergie.

Durch Kooperationen mit lokalen Herstellern, alternative Finanzierungsmodelle, Informationskampagnen sowie die Qualitätssicherung der Anlagen soll der Markt für Solarthermie gestärkt werden. Aus dem ursprünglichen Vorhaben eine Einrichtung zum Selbstbau der Geräte zu schaffen, entstand somit die Notwendigkeit eines Schulungsgebäudes für die Solarthermie.

Im **Colegio Técnico Juan XXIII**, der Organisation Fe y Alegria fanden wir dann die optimalen Voraussetzungen zur Umsetzung des Projektes. Hier vermittelt man Jugendlichen die Lehrinhalte der Pflichtschule und eine handwerklich-technische Ausbildung aus einem der angebotenen Zweige. Energetica, der Partner von el sol, ist seit Anfang des Jahres mit der Abhaltung des neuen Kurses für Photovoltaik betraut. So wird es ab nächstes Jahr auch die Möglichkeit geben, eine Ausbildung im Bereich Solarthermie zu erhalten.

Dies soll unter anderem durch diese Diplomarbeit und andere freiwillige, persönliche Engagements sowie durch die finanzielle Unterstützung des Projektes „el sol“ durch die **Windkraft Simonsfeld KG** und die **ADA** (Austrian Development Agency) erreicht werden.



Abb 7: Solarkollektor der Firma "Sico-Sol", Cochabamba

Das Projekt sieht als Startschuss der 2. Projektphase die Adaptierung vorhandener Räumlichkeiten zu **Lehrräumlichkeiten für die Solarthermie** sowie die Konstruktion von **Übungsaufbauten** zur Ausbildung von Schülern sowie Professionisten in diesem Bereich vor. Zum Zwecke der Ausführung der notwendigen Arbeiten wird das Projektteam bestehend aus Projektkoordinator, Zimmerer, Elektriker und ich als Architekt von Anfang November bis Ende Jänner vor Ort im Einsatz sein.

In dieser Diplomarbeit wird durch den Entwurf eines **Kompetenzzentrums für erneuerbare Energie** ein Blick in die nahe Zukunft geworfen und somit einer möglichen Erweiterung des Lehrangebotes am Colegio um die Ausbildungszweige Windkraft und/oder Wasserkraft entgegengekommen.



# Überblick

Bolivien  
Cochabamba  
Cocaraya



Abb 8: Regenbogen, Curahuara de Carangas

## Bolivien

- allgemein
- Geschichte
- Geographie
- Klima
- Bevölkerung
- Politik
- Wirtschaft
- Architektur



Abb 9: Der Illimani, 6439m



Abb 10: Lage Boliviens in Südamerika

## allgemein

Bolivien, das ärmste Land Lateinamerikas, ist neben Paraguay der zweite Binnenstaat Südamerikas. Ca. 10,5 Millionen Einwohner leben auf einer Fläche von ca. 1.000.000 km<sup>2</sup>. Das entspricht in etwa 13 mal der Fläche von Österreich. Die Hauptstadt des plurinationalen Staates ist Sucre, Regierungssitz La Paz. Bolivien gliedert sich in neun Departamentos.



## Geschichte

Aufgrund des speziellen Klimas und dem Bedürfnis nahe an der Sonne zu leben, hatten die Inka im andinen Hochland schon sehr früh eine Hochkultur geschaffen, die bis zur Ankunft der Spanier halten sollte. Durch die Kolonisation kamen viele Europäer nach Südamerika und viele davon beuteten den Kontinent und deren Ureinwohner aus. Das Ende der Kolonialen Zeit in Bolivien folgte schließlich am 6. August 1825, als Simon Bolivar dem Land zur Unabhängigkeit verhalf.

Die rohstoffreichen Erdölvorkommen im Osten des Landes brachten Deviseneinkünfte, doch drohten auch das Land zu zerteilen. Die Steuererlöse aus dem Verkauf des Rohöls kamen auch dem armen Hochland zugute, was natürlich für Unmut im Osten des Landes sorgte. Das führte zu einigen tödlichen Auseinandersetzungen aufgrund der Abspaltungsbestrebungen des Ostens und vielen sogenannten „marchas“ nach La Paz.

Seit 2006 bekleidet Evo Morales das Präsidentenamt und ist somit das erste indigene Staatsoberhaupt Boliviens. Von ihm erhofft sich die Bevölkerung eine stärkere Vertretung ihrer Interessen, wirtschaftliches Wachstum und dadurch bessere Lebensumstände. Das soll unter anderem durch die Verstaatlichung der gewinnbringenden Rohstoffindustrie und durch eine großangelegte Alphabetisierungskampagne geschehen.

## Geographie

Neben dem Hochland der Anden im Westen und dem tropischen Tiefland im Osten, das mit zwei Drittel den Rest den größten Teil des Landes einnimmt, gilt das trockene Chaco als dritter natürlicher Großraum<sup>3</sup>.

Das Kernland Boliviens befindet sich auf dem bis zu 200 km breiten und sich in einer Seehöhe von 3500 bis 4500 m gelegenen Hochplateau der Anden (Altiplano) zwischen der Kordilliere im Osten (Cordillera Oriental) und der im Westen (Cordillera Occidental). Vom Titicacasee, welcher der am höchsten gelegene kommerziell schiffbare See der Welt gilt, ausgehend wird das Altiplano nach Süden hin immer trockener (im Norden 2000mm, im Süden 600mm), und „gipfelt“ schließlich in der Hochlandwüste mit dem größten Salzsee der Welt, dem Salar de Uyuni, Departamento Potosi.<sup>4</sup>

## Klima

Durch die sehr großen Höhenunterschiede - Illimani (6439 m; zweithöchste Erhebung im Land) im Westen und Rio Paraguay (90 m) im Osten – erklärt sich auch das unterschiedliche Klima Boliviens. So beträgt die mittlere Jahrestemperatur in La Paz (Andenhochland; 3400m) 10,4 °C, wohingegen in Santa Cruz de la Sierra (Tropisches Tiefland; 440m) 23,9°C. Weiters sind die jahreszeitlichen Temperaturunterschiede gering, viel signifikanter sind – vor allem im Altiplano – die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht. Eigentlich gibt es in Bolivien nur zwei Jahreszeiten: Regenzeit und Trockenzeit. Die Trockenzeit im Andenhochland dauert von April bis Oktober und zeichnet sich durch kalte Nächte aus. In der Regenzeit in den Anden von November bis April ist es weniger kalt, doch treten kurze, heftige Regenschauer auf.

3 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S.16

4 Helfritz, H.: Südamerika: präkolumbianische Hochkulturen, Köln, 1973, S.57-60

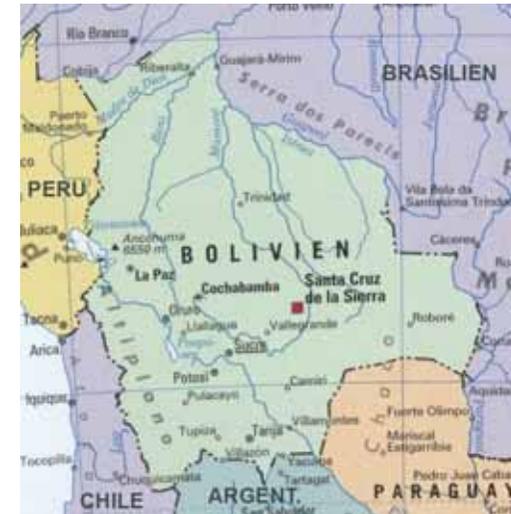


Abb 12: Bolivien und seine Nachbarn

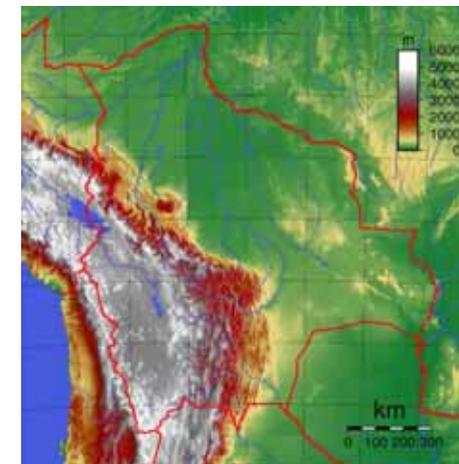


Abb 13: topografische Karte von Bolivien



Abb 14: Cholita, El Alto



Abb 15: getrockneter Lamafötus, calle de las brujas, La Paz

## Bevölkerung

Ca. die Hälfte der Bevölkerung Boliviens sind Hochlandindianer (Indigenas; vor allem Quechuas und Aymara), welche noch nach traditionellen Sozialstrukturen und Wirtschaftsweisen - vor allem in ländlichen Regionen – leben. Neben mehr als 30% Mestizen (Cholos) stellen die Nachkommen der spanischen Kolonialherren (ca. 15%) die Oberschicht des Landes.

Nachdem Ende des 18. Jhtds die indigenen Sprachen und die damit verbundene Kultur verboten wurde, werden sie heute wieder an Schulen und Universitäten unterrichtet. Neben der Amtssprache Spanisch, die nur rund von der Hälfte der Einwohner gesprochen wird, dürfen weitere 36 indigene Sprachen offiziell gesprochen werden. Die Katholiken stellen mit 90% die größte Glaubensgemeinschaft<sup>5</sup>. Von den vielen alten präkolumbianischen religiösen Riten und Gebräuchen der Quechua und Aymara werden einige heute noch - und erstaunlicherweise im Einklang mit dem katholischen Glauben – praktiziert.

<sup>5</sup> Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S.17

## Politik

Nach der Unabhängigkeit und wenig erfolgreichen kriegerischen Auseinandersetzungen mit den Nachbarländern und dadurch hervorgerufenen Verlusten großer Gebiete (u. a. Zugang zum Pazifik) folgten im 20. Jhtd auch einige Militärdiktaturen (z.B. Hugo Banzer Suárez) als man in den 80ern schließlich die demokratische Wende schaffte<sup>6</sup>.

Das Land, mit dem jetzigen Präsidenten Evo Morales (Partei „MAS“ - Movimiento al Sozialismo) ist Mitglied der Andengemeinschaft CAN (*Comunidad Andina de Naciones*), welche gemeinsame Außenpolitik und freier Personen- und Warenverkehr zum Ziel hat.

Staatsreligion ist die römisch-katholische Kirche, gleichzeitig gilt auch das Recht auf freie Religionsausübung.

Die wirtschaftsstarke Departamentos des „Media Luna“ (Santa Cruz, Tarija, Beni, Pando) fordern mehr Autonomie in Wirtschaftsfragen und setzen sich für den Großgrundbesitz ein, was der ökonomisch schwache Osten des Landes (dort, wo die Regierung sitzt) nicht zulassen will. Hier lebt ein Großteil der indigenen Bevölkerung – zum Teil in großer Armut - und erhofft sich durch die Politik von Morales eine Besserung der Lebensumstände und eine Beilegung des innerstaatlichen Konfliktes.

Die neue Verfassung ab 2009 räumt unter anderem der indigenen Bevölkerung mehr Rechte ein und verspricht eine Wirtschafts- und Landreform.



Abb 16: Präsident Evo Morales

---

6 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S.42,43

## Wirtschaft

Bolivien ist das ärmste und exportschwächste Land Lateinamerikas und nur etwa 5 % der Straßen sind befestigt. Der Großteil der Bevölkerung ist nach wie vor in der Landwirtschaft beschäftigt, welche vor allem im Altiplano auf den Anbau von traditionellen Nahrungsmitteln wie Kartoffeln, Getreide, Bohnen und Quinoa („Andenhirse“) spezialisiert ist. Produziert wird vor allem für den Eigengebrauch, sehr wenig Nahrungsmittel werden exportiert. Anders im fruchtbaren Tiefland im Osten. Hier gedeiht Reis, Zuckerrohr, Kaffee, Mais, Soja und Baumwolle für den Export. Der Koka-Anbau ist nach wie vor einer der Hauptwirtschaftszweige des Landes<sup>7</sup>. Obwohl die Blätter zum Großteil getrocknet gekaut werden, bilden sie auch den Rohstoff zur Erzeugung von Kokain, was unter anderem zu bilateralen Spannungen, v.a. mit den USA geführt hat.

Bolivien verfügt hinter Venezuela über Südamerikas zweitgrößtes Erdgasvorkommen - 90 Prozent der Fördermenge wird exportiert. Die geförderte Menge an Erdöl verwendet man hingegen zur Deckung des Eigenbedarfs. In den Bergbauregionen um Potosi und Oruro, die heute zu den ärmsten Gegenden Boliviens zählen, werden nach wie vor, wenn auch in immer geringerem Ausmaß, Zinn, Zink, Blei, Kupfer, Wolfram, Antimon, Gold und Silber abgebaut.

Der Stromerzeugung von 5,293 Milliarden kWh steht ein Verbrauch von 3,385 Milliarden kWh (2006) gegenüber, wobei die Versorgung mit Elektrizität vor allem in ländlichen, schwach entwickelten Regionen – vor allem im Altiplano – schlecht ist, denn ein Anschluss ans Netz würde sich laut Energieanbieter nicht rechnen.

Das Anfang 2009 entdeckten Lithiumvorkommen in der Nähe von Potosi lässt auf ein Wirtschaftswunder hoffen.



Abb 17: getrocknete Kokablätter

<sup>7</sup> Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S.16

## Architektur

### Die Architektur der Inka

Am bekanntesten sind natürlich die alten Städte und Kultstätten der Inka (Cuzco, Ollantaytambo, Machu Picchu, Tihuanaco,...) mit ihren einzigartigen Terrassenanlagen, welche sanft in die Landschaft gebettet, nicht nur zur Verteidigung sondern auch für den Anbau von Feldfrüchten errichtet wurden.

Die Inka, die – im Gegensatz zu den Kulturen der Antike – den Holzbau nicht als Vorbild zur Umsetzung des Steinbaus betrachteten, erarbeiteten sehr feine Fertigkeiten in Umgang sowie Bearbeitung der Steine. Unglaublich exakt ruhen tonnenschwere, aber fein und glatt behauene polygone Steinbrocken über- und ineinander, ohne dass dabei Mörtel verwendet wurde.

Typisch für die Gebäude aus Stein waren die trapezförmigen Öffnungen sowie Nischen zur Aufbewahrung im Inneren. Die Inka verfügten aber auch über eine feine Zimmermannstechnik und vermutlich wurde auch eine beträchtliche Anzahl von hochrangigen Gebäuden aus Adobe gebaut.<sup>8</sup>

Als Dachform für die sehr häufigen rechteckigen Einraumhäuser wählte man Walmdächer oder Satteldächer. Um die Lasten der oft bis zu 60° geneigten Dachkonstruktion besser aufnehmen zu können, wurden die Längsmauern häufig leicht nach innen geneigt (4-6°) errichtet, was unter anderem auch optische Effekte bewirkt.



Abb 18: Nische, Ollantaytambo, Peru



Abb 19: Terrassen, Ollantaytambo

<sup>8</sup> Protzen, J.-P.: Die Architektur der Inka, in: Das Inka-Reich, Zürich, 1994, S.217

## die Kancha

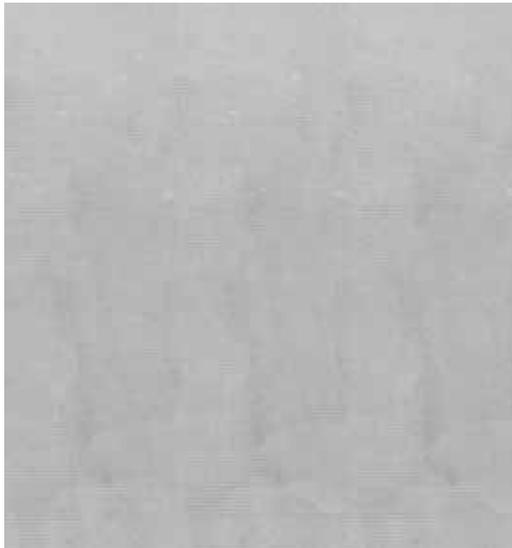


Abb 20: Andenkreuz, Tihuanaco

Die traditionelle Behausung, die sog. „kancha“, war schon vor der Kolonialzeit eine gebräuchliche Gebäudeform im Hochland der Anden und hat ihren Ursprung im Tempelbau der Inka. Die - vor allem im Sakralbau - orthogonal orientierten Gebäude gehen auf die vier Himmelsrichtungen des Inkareiches zurück und in der Mitte symbolisierte oft ein Loch den Nabel der Welt – Cuzco. Die Abstufungen im sog. „Andenkreuz“ bedeuten Unterwelt, Welt der Menschen und Götterwelt.

Oft umrahmt eine geschlossene Mauer welche nur eine (Tür-)Öffnung nach außen besitzt, das Gehöft, verläuft entlang der Grundstücksgrenzen und bietet als Profanbau im Inneren Platz für landwirtschaftliche Aktivitäten wie die Weiterverarbeitung der Ernte und die nächtliche Haltung der Weidetiere, das Zubereiten von Speisen sowie die Einnahme des Mahls. Für jedes der Gebäude innerhalb einer kancha ist eine bestimmte Funktion vorgesehen. Ist für das eine Gebäude Wohnen vorgesehen so verwendet man das andere als Lagerraum oder Stall. Üblicherweise wird eine kancha, die heute hauptsächlich aus adobe ausgeführt ist (früher auch aus Stein) nur von einer Familie bewohnt.

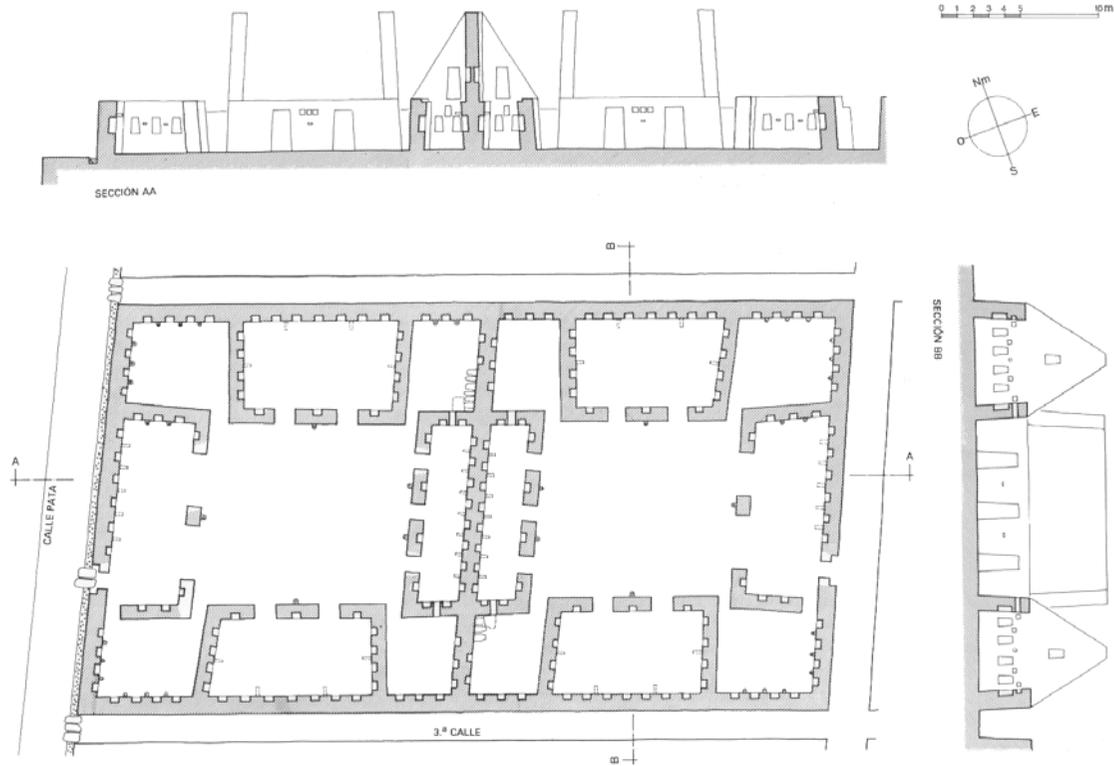


Abb 21: Doppelkancha, Ollantayambo, Peru

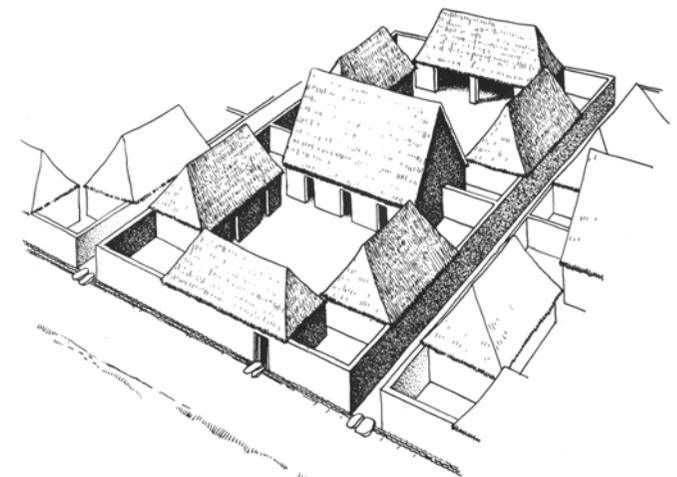


Abb 22: Doppelkancha, Ollantayambo, Peru

Von der Konstruktion her sind die Bauwerke einer Kancha sehr einfach aufgebaut.

Um ein Aufsteigen der Feuchtigkeit vom Erdreich zu verhindern, wurden und (werden auch heute noch) die Fundamente aus Stein ausgeführt, welche mit einem Mörtel aus Erde und Wasser zu einer stabilen Basis verbunden sind. Die Umfassungsmauer bildet neben der Rahmung des Hofes gleichzeitig eine der vier Mauern der Gebäude im Inneren.

Holzrundlinge, als Pfetten auf den beiden Giebelmauern aufliegend, bilden die wirtschaftliche Dachkonstruktion, denn durch die geringe Spannweite bei einfachen Bauten (oft nur 2 – 4,5m) erspart man sich die aufwändige Sparrenkonstruktion, welche zusätzliches Einbringen der knappen Ressource Holz bedeuten würde. Weiters verzichtet man auf die Ausführung von L-förmigen bis komplexeren Grundrissen für die Gebäude, denn eine Dachverschneidung würde genauso wertvolles Material verlangen.



Abbi23: Innenansicht einer Kancha, Langui, Peru

Bündel aus **Ichu**-Gras, welches im Andenhochland in rauen Mengen vorkommt, werden in die Lattung eingehängt und bestechen - im Unterschied zu den heute oft verwendeten Aluminium-Wellblechen – durch das bessere Raumklima im Inneren, die kostenlose Verfügbarkeit, die Schonung der Ressourcen und durch die Schallabsorption bei Niederschlag.

Weiters wird mit dem Gras die Umfassungsmauer abgedeckt, und wie bei der Dachdeckung öfters erneuert, um die Erosion der Erdmauer zu verhindern.

Fensteröffnungen sind sehr klein oder man verzichtet überhaupt auf solche, denn sie stellen doch eine Schwachstelle (mehr wärmetechnisch als konstruktiv) im Mauerwerksverbund dar und überhaupt verbringt man sehr wenig Zeit in den Gebäuden, da man tagsüber im Freien arbeitet und erst nachts zum Schlafen hineingeht (vgl. österreichische Bauernhäuser).

Heute wie damals bietet sich die Kancha als einfache, selbst zu bewerkstellende Konstruktionsweise von Gebäuden, vor allem in ländlichen Regionen, an.



Abb 24: landwirtschaftliches Gebäude, Langui, Peru



Abb 25: koloniale Architektur über Mauern der Inka, Chinchero, Peru

## kolonial

Die ersten spanischen Städte entstanden anstelle der eroberten Städte der Indios, an strategisch wichtigen Orten oder in der Nähe von Rohstoffvorkommen. Die Kirchen der Kolonialherren wurden auf den Ruinen der zerstörten Tempel gebaut, die Steine wurden wiederverwendet.

Nachdem der Silberboom vorbei war, führte die unattraktive Lage für Architekten im Land (fehlende finanzielle Mittel, wenige Aufträge) dazu, dass die meisten (nicht anspruchsvollen) Bauvorhaben von Baumeistern durchgeführt wurden. Viele Indigene waren zu dieser Zeit an Bauprojekten beteiligt und brachten sich auf künstlerische Weise ein. So weisen viele Kirchenfassaden aus der Kolonialzeit heidnische Motive auf, die von anonymen Einheimischen gefertigt wurden. Kennzeichnend für die als „**arquitectura mestiza**“ (18. Jhtd) bekannte Periode waren eine massive, schwer wirkende Architektur und ein starker Austausch zwischen importierten und eigenen Elementen und Formen.<sup>9</sup> Einfache Fassaden, und dekorativ-großzügige Innenhöfe waren typisch für Profanbauten dieser Zeit. Bei sakralen Bauwerke wiederum findet sich das verspielte Dekor auf dem Hauptportal.

Versuche in dieser Zeit, eigene Architekturschulen zu etablieren scheiterten. Es konnte keine nationale Architektengeneration hervorgebracht werden. Außerdem waren es meist die Leiter dieser Schulen – oder in Europa ausgebildete Architekten – die die wichtigsten Projekte in dieser Zeit realisierten<sup>10</sup>.



Abb 27: Fassadendetail der Kirche Santa Domingo, La Paz



Abb 26: Fassadendetail, Kathedrale San Lorenzo, Potosí

<sup>9</sup> Gisbert, T.; de Mesa, J.: *Arquitectura Andina*, La Paz, 1997, S.14, 27

<sup>10</sup> Cuadra, M.: *Architektur in Lateinamerika*, Darmstadt, 1991, S.71

Im Gegensatz zu den an einer Straße orientierten und aneinandergereihten Häusern der Spanier, gruppierten sich die Häuser der Indigenen (oft kanchas) meist um zentrale Plätze.

Im Osten (Sta Cruz de la Sierra), welcher zur damaligen Zeit von wenig wirtschaftlichem Interesse war, richtete sich die Architektur der Gebäude nach den vorhandenen Rohstoffen sowie nach dem vorherrschenden Klima und man erreichte so eine einfache Bauweise, die von jesuitischen Missionaren (vor allem Chiquitos) in diesem Gebiet umgesetzt werden konnte.<sup>11</sup>

## 19. Jahrhundert

Zu den bedeutendsten Beispielen dieser Zeit zählen die Kathedralen von La Paz, und Santa Cruz de la Sierra.

„...die mangelnde Qualität der Architektur am Ort, die oft auftretende willkürliche Kombination von Architekturformen verschiedener Herkunft, das Fehlen eines klaren Konzeptes bei vielen Bauten. Sie entsprachen aber auch der geringen Bedeutung der Architekten in der örtlichen Gesellschaft und die mangelnde Anerkennung der Architektur überhaupt. Dies war auch daran zu erkennen, dass das allgemeine Niveau der Architektur im Vergleich zur Kolonialzeit deutlich sank und in ganzen Bereichen des Bauwesens, wie im Wohnungsbau, keine architektonisch herausragenden Leistungen oder Erneuerungen erzielt wurden.“<sup>12</sup>



Abb 28: Iglesia de Santo Domingo, La Paz

<sup>11</sup> Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.75

<sup>12</sup> ebenda, S.76

## Frühes 20. Jahrhundert



Abb 29: ehemaliger Bahnhof von La Paz, heute: Busterminal

Durch den wirtschaftlichen Aufschwung am Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte sich eine Generation bolivianischer Architektenpersönlichkeiten (z.B. Emilio Villanueva, Julio Mariaca Pando), die ihr Studium im Ausland abgelegt hatten.

Im Jahre 1940 war es Villanueva, der maßgeblich an der Gründung der „Escuela Arquitectura“ an der „Universidad Mayor de San Andrés“ in La Paz beteiligt war. Anfang der Fünfziger schließlich wurde die Schule in die „Facultad de Arquitectura y Urbanismo“ umgewandelt. Mitte der Sechziger folgte dann eine langandauernde Krise in der Lehre der Architektur, die durch soziale Unruhen und Unsicherheit in dieser Zeit hervorgerufen wurde und private sowie öffentliche Aufträge minimierte. Daneben kam es zu einer steigenden Politisierung der Fakultät – viele Studenten richteten sich gegen die bestehende Ordnung und solidarisierten sich mit den untersten Gesellschaftsschichten um eine Veränderung herbeizuführen, doch diese Strömungen erloschen zum Großteil nach dem Militärputsch von 1971.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.72

## Die Moderne

Architekten arbeiten für die wenigen Reichen bzw. für öffentliche oder gewerbliche Auftraggeber. So zum Beispiel für die Errichtung von staatlich gestützten Wohnungsbauten, doch die Ergebnisse waren nur gut gemeint und daher schlecht gemacht. Die untere Gesellschaftsschicht plant und baut ihre Gebäude, die rein existentiellen Bedürfnissen entsprechen, nach wie vor selbst.

Für die Armen standen oft nur steile, unwegsame Baugründe zur Verfügung, und speziell in der Regenzeit kam es früher oft vor, dass ganze Hänge samt Gebäuden und Bewohnern einfach wegrutschten. Andererseits denken viele Menschen, dass wenn sie ein Gebäude an einem attraktiveren Standort besäßen, sie es sich eines Tages nicht mehr leisten könnten und somit wegziehen müssten<sup>14</sup>.

„Für den Wohnungsbau der unteren Gesellschaftsschichten sind 'negative', rückläufige Prozesse zu beobachten. Sie sind gekennzeichnet durch ein wiederholtes Scheitern der Lösungsversuche nach konventionellen westlichen Vorbildern und durch die schrittweise Reduktion der Lösungen auf immer anspruchslosere aber realistischere Bauten. Es entsteht eine Architektur der reinen Bedürfnisbefriedigung. Sie ist Ausdruck der Unfähigkeit eines Staates, den Interessen aller Gruppen der Nation gleichermaßen gerecht zu werden. Diese Situation beinhaltet eine tiefe Krise,...“<sup>15</sup>



Abb 30: Conjunto de la Cultura 'Franz Tamayo', La Paz



Abb 31: Haus in Hanglage, La Paz

14 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.195

15 ebenda, S.10



Abb 32: Dachlandschaft, La Paz



Abb 33: Hauptgebäude der UMSA, La Paz

Mit dem Wohnhaus das der Wiener Ingenieur, Ethnograph und Archäologe Arturo Posnansky 1915-1920 für sich selbst errichtete, wurde zum ersten Mal versucht, einen nationalen bolivianischen Stil zu kreieren. Doch die Umsetzung dessen beschränkte sich durch den Einsatz von nachgebildetem Dekor aus Tihuanaco lediglich auf die Fassaden- und Wandgestaltung und wirkt sich weder auf die Grundrißkonzeption noch auf die Konstruktion aus.

Auch die Kombination von moderner Stahlbetonarchitektur mit der Dekoration durch historisierende Elemente fand seinen Niederschlag, wie z.B. beim Bauwerk der Universidad Mayor de San Andrés (1940-1948) von Emilio Villanueva.

Im wirtschaftlichen Aufschwung der Siebziger, welcher die Einführung neuer Standards im Bauwesen sowie höheren Ansprüche an die Architektur bedeuteten, zeigte sich einmal mehr, dass man an Fachleuten aus dem Ausland angewiesen war<sup>16</sup>.

---

16 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.87

In der Stadt Santa Cruz, die innerhalb weniger Jahre seine Einwohnerzahl verfünffachte, entstanden architektonisch interessante Bauwerke, vor allem Geschäfts- und Wohnhäuser sowie Verwaltungsgebäude, welche qualitativ höher einzustufen sind wie vergleichbare Projekte in La Paz. Vorbild für die Iglesia de San Miguel die vom Architekten Hugo López Videla und dem Ingenieur Mario Gallindo errichtet wurde war die Architektur Félix Candela.

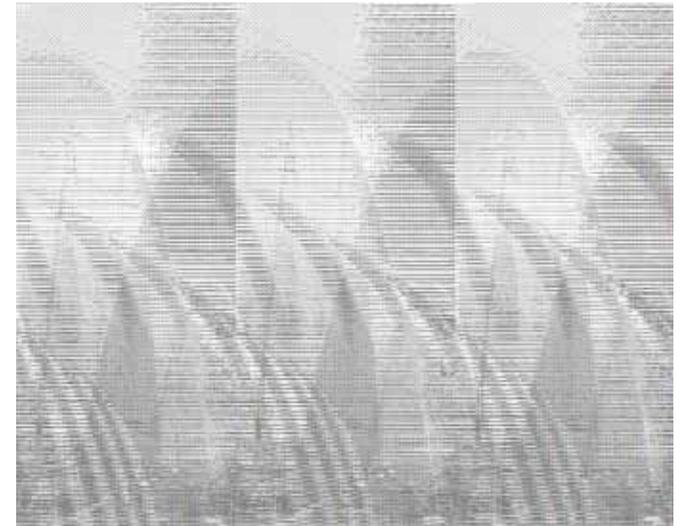


Abb 34: Iglesia de San Miguel, Zona Sur, La Paz

## Cochabamba

Die „Stadt des ewigen Frühlings“ ist nach Santa Cruz de la Sierra, La Paz und El Alto mit ca. 600.000 Einwohnern die viertgrößte Stadt in Bolivien. Im gemäßigten Klima der auf 2500 m über Seehöhe liegenden Stadt herrscht im Vergleich zum Altiplano ein angenehmes Klima. In der Regenzeit von Dezember bis Februar fallen 2/3 der Niederschlagsmenge des ganzen Jahres. Der Winter in Cochabamba dauert von Juni bis August und zeichnet sich durch Trockenheit aus. Heizungen sowie Klimaanlage stellen das ganze Jahr über keine Notwendigkeit dar.

Die Stadt deren Name auf Quechua „sumpfige Ebene“ bedeutet, liegt am Ostrand der Anden im Cochabamba-Tal, wo der fruchtbare Boden durch intensive Landwirtschaft genutzt wird und es folglich schon seit längerem Probleme mit der Wasserversorgung gibt<sup>17</sup>.



Abbi 35: Kathedrale und Konvent, San Teresa de Cochabamba

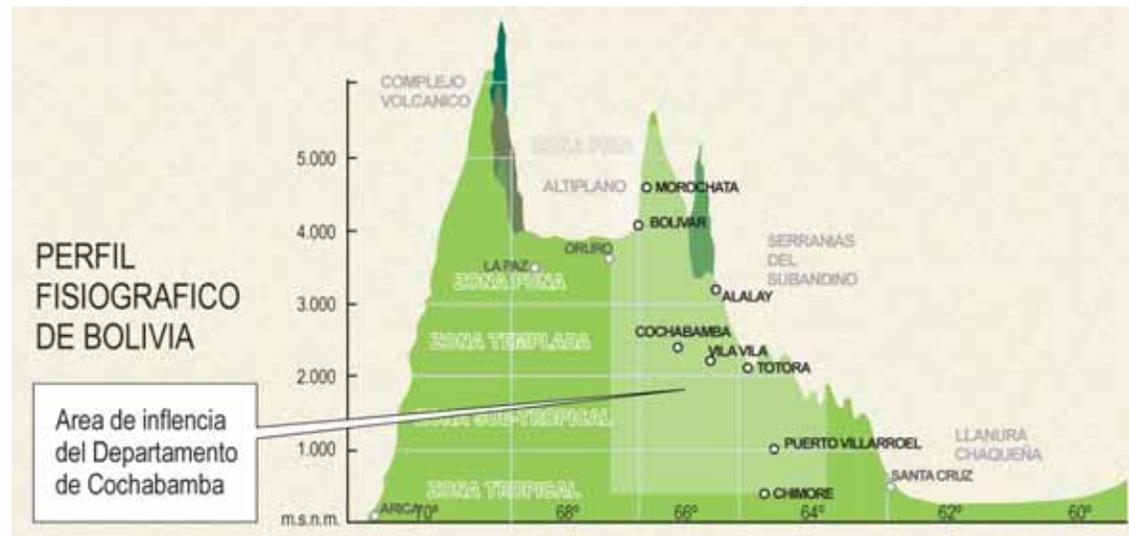


Abb 36: Schnitt durch die Anden mit den Klimazonen Boliviens

17 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S.264

Im Jahr 2000 kam es aufgrund der Privatisierung der Wasserversorgung und der damit verbundenen Preiserhöhungen zu zahlreichen Protesten und Ausschreitungen was sogar in der Ausrufung des Kriegszustand gipfelte. Die Wasserversorgung wurde schließlich wieder der öffentlichen Kontrolle übergeben, doch das Problem der Wasserknappheit ist immer noch aktuell, denn nach wie vor wird ein Teil der Bevölkerung im Tal durch Tanklaster mit der lebenswichtigen Flüssigkeit versorgt<sup>18</sup>.

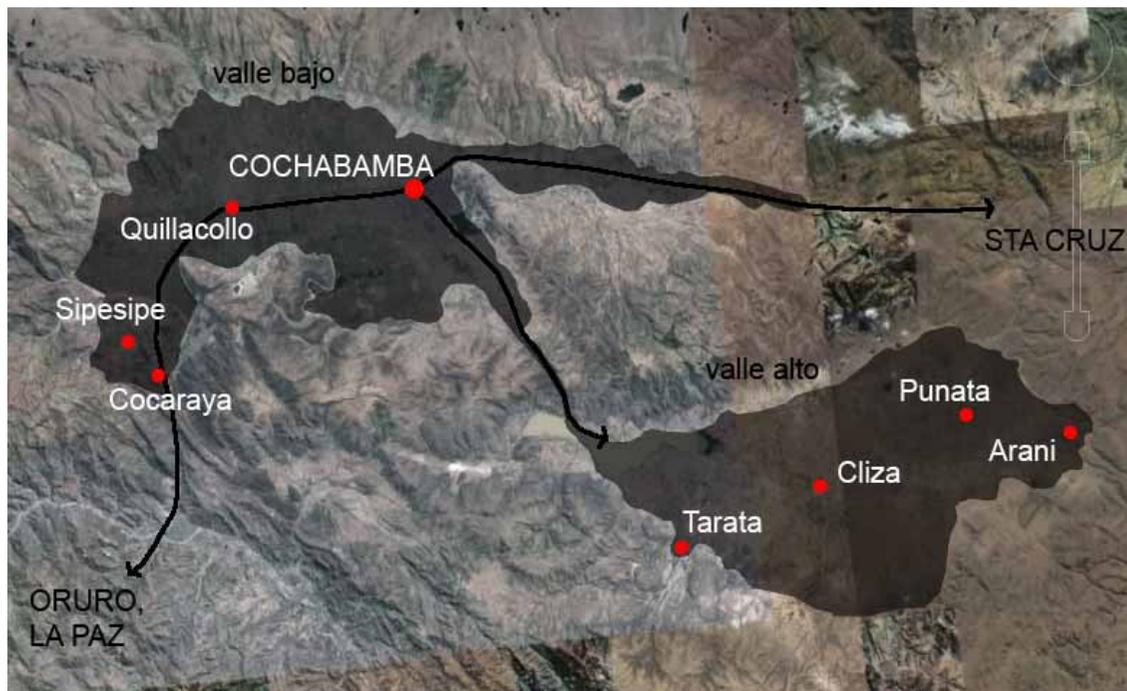


Abb 37: valle bajo und valle alto

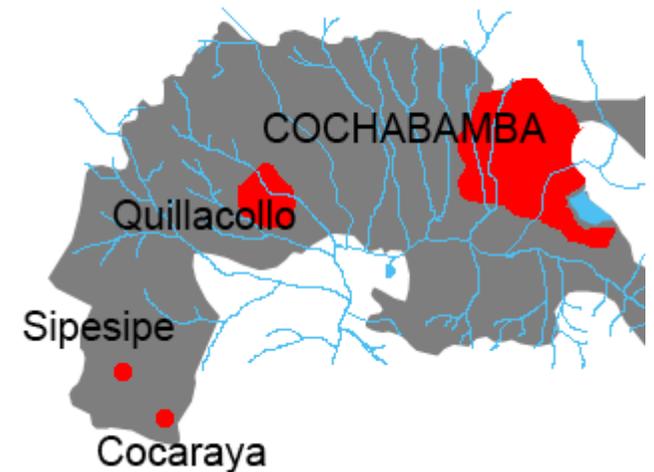


Abb 38: valle bajo und Gewässer

18 Huber Abendroth, H.: Der 'Wasserkrieg' von Cochabamba, 2004, Wien, S.1-5



Abb 39: Cochabamba



Abb 40: Kathedrale von Cochabamba

## Architektur

Der streng Nord-Süd orientierte Rasterplan der Altstadt zeugt von kolonialer Stadtplanung, enge Gassen und großzügige Innenhöfe dominieren das Stadtbild im Zentrum, von wo aus man gut positioniert die größte Christusstatue der Welt, den „Christo de la Concordia“, auf einem Hügel am Rande der Stadt erblicken kann.

Die Kathedrale von Cochabamba - 1571 erbaut - gilt als eines der ältesten religiöse Bauwerk in der Region und zeichnet sich durch den schon erwähnten Mestizischen Stil aus.

Neben dem Zentrum der Hauptstadt findet man auch an anderen Orten im Tal kolonial geprägte Dörfer und Kleinstädte wie Tarata und Punata.

Die heutigen Ruinen von „Inca-Rakay“ waren einmal ein Außenposten des Inka-Reiches und um Qolapachi deuten Reste von siloartigen Lagern – sog. „Quolcas“ - auf ein Zentrum für Landwirtschaft im fruchtbaren Cochabamba-Tal hin.



## Materialien

Lehm  
Beton  
Gras  
Stroh  
Ziegel  
Holz  
Blech  
Stein



Abb 41: Ziegelmauerwerk auf Wänden aus Adobe

## Lehm

Lehm setzt sich hauptsächlich aus Ton, Schluff und Sand zusammen. Daneben können auch größere Steine und organische Bestandteile darin vorkommen. Im Vergleich zu den industriell hergestellten Baumaterialien, ist der Lehm, der üblicherweise an Ort und Stelle gewonnen wird, kein genormter Baustoff. Lehm hat die Eigenschaft, die Luftfeuchtigkeit in einem Raum zu regulieren. Bei zu hoher Feuchtigkeit nimmt er Wasser aus der Luft auf, die er bei trockener Luft wieder an sie abgibt. Gleichzeitig muss er im Aussenbereich vor Regen und Spritzwasser im Bereich der Traufe geschützt werden. Weiters können bei zu schneller Trocknung und fehlender Bewehrung Schwindrisse entstehen, die den Baustoff unbrauchbar machen. Neben seiner Fähigkeit Wärme zu speichern und diese zeitversetzt wieder an den Raum abzugeben, besticht Lehm vor allem durch die Bindung von Schadstoffen, die Abschirmung von hochfrequenten Strahlungen und durch die sehr gute Kombinationsmöglichkeit mit Holz<sup>19</sup>. Durch Zusätze wie Zellulose oder Leinölfirnis können die verschiedenen Eigenschaften von Lehm gezielt verbessert werden.

Während der Baustoff Lehm in Europa wieder mehr an Bedeutung gewinnt – vor allem im Selbstbau wird er wegen dem Einsparungspotential von Energie und Transportkosten und der Wiederverwendbarkeit sehr geschätzt – gilt er in anderen Ländern (auch in Bolivien) als rückständiges Baumaterial.

Wärmeleitfähigkeit	Rohdichte	WLZ
Massivlehm	2000 kg/m <sup>3</sup>	$\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$
Strohlehm	1400-1600 kg/m <sup>3</sup>	$\lambda = 0,6 - 0,8 \text{ W/mK}$
Leichtlehm	800-1200 kg/m <sup>3</sup>	$\lambda = 0,3 - 0,5 \text{ W/mK}$

<sup>19</sup> Minke, G.: Das neue Lehm-Handbuch, Staufen b. Freiburg, 2001, S.19-21



Abb 42: Oberfläche eines Lehmputzes



Abb 43: Wand aus Adobe



Abb 44: frischer Adobe-Stein und Form



Abb 45: Zum Trocknen aufgelegte Lehmziegel

## adobe

Adobe-Ziegel bestehen aus Erde, Wasser und Gras. Die Erde wird mit Wasser einige Male vermischt und mit den Füßen durch Treten zu einem Brei vermengt. Geschnittenes Ichu-Gras wird am Ende der Masse beigemengt (3 mal stampfen), um Risse beim Trocknen der Ziegel zu verhindern. Ist der „Ziegelteig“ gut vermischt, wird er in eine befeuchtete Ziegelform aus Holz geklatscht, gepresst und verdichtet, anschliessen glattgestrichen, etwas Sand auf die Oberfläche gestreut (um das Festkleben am Untergrund zu verhindern) und aus der Form gestürzt. Ist die eine Seite genügend trocken, wird der Ziegel umgedreht um ein gleichmäßiges Lufttrocknen zu ermöglichen.

Beim Versetzen werden durch das Einbringen eines Erdmörtels die Ziegel untereinander verbunden.

Das heute oft verwendete Argument, dass Adobe schlecht ist und sich gesundheitsschädlich auf die Bewohner auswirkt ist nicht tragbar. Das Einnisten von Insekten in das Gemäuer (Ameisen bzw Termiten) verhindert man indem man einen Anstrich aus Kalk vorsieht. Feuchtigkeit → Kalkputz (minke,204)

Weiters sprechen die bauphysikalischen Werte und die kostenlose Verfügbarkeit für eine Verwendung von adobe. Ein Argument dagegen ist, der hohe Arbeitsaufwand, der die Herstellung von adobe-Ziegeln bedingt. Doch meist wird bei der Herstellung ebensolcher die Hilfe der Verwandten und Nachbarn in Anspruch genommen

Relevanz für das Projekt:

Durch seine gute Verfügbarkeit wird Lehm in Form von Lehmziegel verwendet werden. Wegen des schlechten Image in Bolivien und weil Lehm nicht sehr wasserbeständig ist, wird die Lehmziegelmauer verputzt und mit einem wasserabweisenden Anstrich versehen werden.

## Beton

2400 kg/m<sup>3</sup>;  $\lambda=2,3$  W/mK

Heute, vor allem in den Städten in Kombination mit gebrannten Ziegeln gerne verwendet.

Relevanz für das Projekt:

Beton kann sehr schlecht Temperaturschwankungen ausgleichen und gibt rasch die Aussentemperatur nach Innen ab und umgekehrt. Zusätzlich wird ein beträchtlicher Teil der auf eine Bodenbetonplatte auftreffenden Sonnenstrahlung in Form von Wärme reflektiert. Die glatte und versiegelte Oberfläche (Verschieben von Kollektoren auf dem Übungsgelände) sprechen aber klar für die Anwendung im Bereich horizontaler Flächen.

## Hochland-Gras (paja)

Von den drei paja-Sorten (paja brava bzw. ichu; paja kcoya; paja iru) auf dem Altiplano eignet sich das Ichu-Gras am besten für bauliche Anwendungen (Dachdeckung) bzw. für die Herstellung von adobe-Ziegeln. Im Vergleich mit Stroh können die wärmedämmenden Eigenschaften nicht mithalten.

Relevanz:

Die geringe Akzeptanz im Lande und aufgrund der Einschätzung, dass ein mit Gras gedecktes Haus nicht ein Kompetenzzentrum für erneuerbare Energie beherbergen könnte, wird sich der Einsatz des Hochlandgrases in dieser Arbeit auf die Verwendung in adobe-Ziegeln beschränken.



Abb 46: Baustelle, La Paz



Abb 48: Ichu-Gras in der Natur

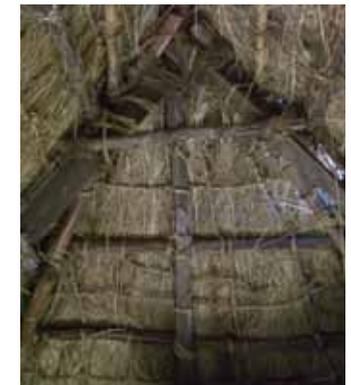


Abb 47: Ichu-Gras als Baustoff



Abb 49: Stroh, ein erneuerbarer Baustoff

## Stroh

$\lambda=0,045 \text{ W/mK}$  - Dichte:  $90 \text{ kg/m}^3$

Stroh ist überall dort vorhanden, wo Landwirtschaft betrieben wird. Als Wärmedämmung wird es wegen des besseren Brandverhaltens komprimiert verwendet. Die GrAT hat mit einer mit Strohbällen gedämmten Holzständerwand erfolgreich auf F90 getestet. Oft werden die Ballen, welche mit Kleinballenpressen auf bis ca.  $100 \text{ kg/m}^3$  verdichtet werden mit Lehm aussen und innen mit Lehm beschmiert, was die Widerständigkeit des Baustoffes erhöht.

### Relevanz:

Durch die gute Verfügbarkeit wird Stroh als Dämmmaterial zwischen den Konstruktionshölzern von Wand und Decke eingesetzt werden.



Abb 50: Ziegelgebäude, El Alto

## gebrannte Ziegel

$\lambda=0,5 - 1,4 \text{ W/mK}$

Mit der Einverleibung der Länder Südamerikas als spanische Kolonie, kamen natürlich auch europäische Technologien ins neu entdeckte Land. Viele Ziegelbrennereien entstanden, in denen die indigene Bevölkerung unter unmenschlichen Bedingungen für die Herstellung von Ziegeln für die spanische Paläste schufteten mussten.

Die traditionelle Bauweise mit adobe-Ziegeln blieb dennoch für die Eroberten die einzige Möglichkeit, sich ihre eigenen vier Wände zu schaffen. Heute, wie damals, galt und gilt das Haus aus Erdziegeln als rückständig, und da heute die Häuser oft unverputzt bleiben, bevorzugt man den gebrannten Ziegel, welcher für jedermann sichtbar ist, und somit Prestige und Reichtum bedeutet. Anders in Europa, wo zurzeit eine Trendwende zu bemerken ist und Lehm als Baustoff langsam wieder ein besseres Image bekommt.

Relevanz:

Maximale Anwendung: eventuell als Verstärkung des Adobe-Mauerwerks

## Holz

$\lambda=0,09 - 0,19 \text{ W/mK}$

Bolivien ist reich an Holz, besitzt es doch ausgedehnte Regenwälder im Amazonasgebiet im Nordosten und große Waldflächen im tropischen Tiefland im Osten des Landes. Das Problem jedoch liegt darin, dass das wertvolle und qualitativ hochwertige Holz allein für den Export bestimmt ist. Das heisst, vor allem für das Altiplano, wo Holz von Haus aus relativ selten ist, dass das Baumaterial in schlechter Qualität nur für anspruchslose Aufgaben z.B. als Unterkonstruktion für das Dach (die statischen Anforderungen sind durch die geringen Spannweiten sehr niedrig) verwendet wird. Auch sind Holzfenster relativ selten – oft dienen L-Metallprofile in die das Glas mit Silikon geklebt wird als Rahmen, die Dichtheit der Fenster ist demnach entsprechend schlecht. Vor allem als Material für Möbel wird das Massivholz, im Gegensatz zu den in den Industrieländern gebräuchlichen Plattenwerkstoffen, oft verwendet.

Relevanz:

Wenn man davon ausgeht, dass das Material ausreichend und in einer guten Qualität vorhanden ist, stellt sich der konstruktiven Verwendung von Holz, z.B. als Leichtbauwand, nichts entgegen. Das gleiche gilt für den Innenausbau.



Abb 51: Holzfußboden



Abb 52: frisches Fundament aus Steinen, Langui, Peru



Abb 53: Steinfundament, Cochabamba

### Blech, verzinkt

Als Material für die Dacheindeckung wird oft Blech verwendet. Die Deckung ist wenig wartungsintensiv, jedoch erwärmt sich das Material bei Sonnenbestrahlung ziemlich schnell und gibt bei Niederschlag lautes Trommelgeräusch von sich.

Relevanz: Kombiniert mit einem hinterlüfteten Dach als Deckung einsetzen.

### Stein

Sandstein  $\lambda=1,6-2,3 \text{ W/mK}$

Steine werden oft für die Ausbildung von Fundamenten und Sockelzonen verwendet, da sie somit der darauf errichteten Lehm-mauer Schutz vor Feuchtigkeit bieten.

Daneben verwendet man sie – je nach Vorkommen – zur Errichtung von Einfriedungen, wie etwa jene der Kancha.

Relevanz:

Durch die kapillarbrechenden Eigenschaften von Stein und die große Verfügbarkeit in Cochabamba wird das Material im Fundamentbereich zum Einsatz kommen.



## nachhaltiges Bauen

autochthone Architektur  
solare Architektur  
ökologische Architektur

„...Philosophie und Know-How der anonymen Baumeister (bedeuten) die größte unangezapfte Quelle architektonischer Anregung für den industriellen Menschen“<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Rudofsky, B.: Architektur ohne Architekten: Eine Einführung in die anonyme Architektur, Salzburg/Wien, 1989

## autochthone Architektur

Als autochthone Bauweise bezeichnet man Gebäude, die von anonymen Erbauern mittels traditionellem Handwerk und unter Verwendung von Materialien aus der unmittelbaren Region klimaeffizient, ökonomisch-funktionell und ohne Einfluss von außen hergestellt wurden.

Zum einen halten sich bei einer solchen Konstruktion die Kosten und der Energieaufwand gering und zum anderen sind diese Gebäude energieeffiziente Gebäude, die auf das spezifische Klima ihrer Umwelt angepasst sind - „eine Art regionalspezifische Solararchitektur“<sup>21</sup>.

Simpel aber doch geschickt werden so die Grundanforderungen nach Schutz erfüllt. Ein höherer Komfort blieb durch die beschränkten Mittel dabei aber meist auf der Strecke und war durch die ausgeglichene Beziehung zwischen Mensch und Umwelt auch nicht erreichbar<sup>22</sup>.

Durch Industrialisierung und Globalisierung der Welt fanden neue (und wiederentdeckte) Materialien und Formen Einzug in die Architektur und Baukunst. Die Ergebnisse waren Gebäude, die von ihrem Energiehaushalt her nicht auf das Klima abgestimmt waren, in dem sie gebaut wurden. Das machte es notwendig, sie im Winter zu beheizen und im Sommer zu kühlen.

21 Fischer, Freymuth, Häupl u. a.: Lehrbuch der Bauphysik, Wiesbaden, 2008, S.752-754

22 Behling, S. U S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.44



Abb 54: Sonnenschutz, Mali



Abb 55: Konstruktion eines Iglu

## Solare Architektur

### Die Sonne

Der Fixstern unseres Sonnensystems ist 150 Millionen km von der Erde entfernt und hat einen Durchmesser von 1 392 000 km. Die Kerntemperatur beträgt 14 000 000 °C, die Oberflächentemperatur (1m<sup>2</sup>) 6 000 °C, was einer Oberfläche von 600 000 100-Watt-Glühbirnen entspricht.

von der eingestrahlichten Sonnenenergie auf die Erde werden 30% reflektiert, 47% von der Atmosphäre absorbiert, der Rest gelangt schließlich auf die Erdoberfläche: 23% treiben den Wasserkreislauf an, weniger als 1% steuert Winde und Strömungen und 0,2% schließlich werden durch die Photosynthese in gespeicherte chemische Energie umgewandelt. Die gesamte eingestrahlichte Sonnenenergie kehrt letztlich als langwellige Sonnenenergie in das Weltall zurück<sup>23</sup>.

Somit bleibt eine grosse Menge an erneuerbarer Sonnenenergie ungenutzt...

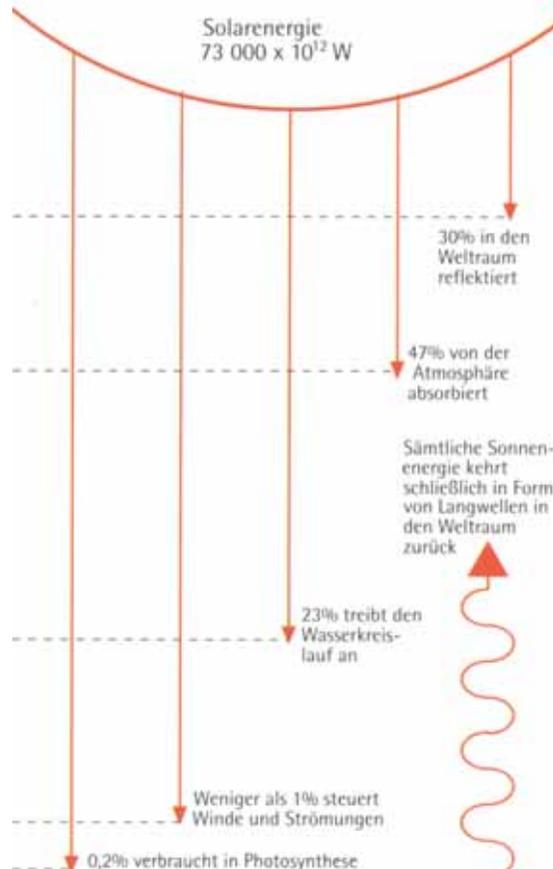


Abb 56: Die Sonnenenergie

### Der Mensch und die Sonne

Der Ursprung des modernen Menschen ist in der afrikanischen Savanne zu finden, das bedeutet, der Mensch ist auf das spezifische Klima dort angepasst. So sind zum Beispiel die Schweißdrüsen, die maßgeblich für das Wärmegleichgewicht im Körper verantwortlich sind, auf das Leben in der Savanne eingestellt<sup>24</sup>.

Behausung und Bekleidung und auch die Entdeckung des Feuers halfen dem

<sup>23</sup> Behling S. u. S.: Sol Power, München/New York, S.26-28

<sup>24</sup> Behling S. u. S.: Sol Power, München/New York, S.36

Menschen, sich auch in unwirtlicheren Breiten ein angenehmes (Körper-)Klima zu schaffen (optimale Körpertemperatur: ca. 35°C). Neben der Austrocknung der Wände, der keimtötenden Wirkung des UV-Lichts der Sonne und dem Erhöhen der Gebäudetemperatur wirkt sich Sonnenlicht auch auf die Psyche des Menschen positiv aus. Fehlende „Bestrahlung“ durch den Fixstern wird vor allem im Winter von negativen Gefühlen begleitet (sog. „Winterdepression“)<sup>25</sup>.

### Historische Beispiele

Ausreichend Sonne bedeutete neben ausreichend Niederschlag gute Ernte und man konnte so die ständig wachsende Bevölkerung ernähren. Somit wurde die Sonne in vielen Hochkulturen in der Gestalt eines Gottes verehrt und auch die Architektur richtete sich nach den solaren Zyklen.

Neben der guten Positionierung und Orientierung eines Gebäudes wurde das Klima eines Gebäudes auch durch andere Maßnahmen wie z.B. durch geschickte Luftzirkulationen beeinflusst.

Die römischen Heizanlagen (hypocaustum) erwärmten mittels antiker Fußbodenheizung oft ganze Badehäuser. In Indien wiederum filtern die Mushrabijen das Licht vor dem Eindringen in den Innenraum und sorgen bei gleichzeitiger Durchlüftung für ein angenehmes Klima im Inneren.

Windfänger im Orient, sog. „Badgire“ sind über die Dachfläche ragende „Windkollektoren“, die die Luftströmungen zur Klimatisierung der Gebäude nutzbar machen.

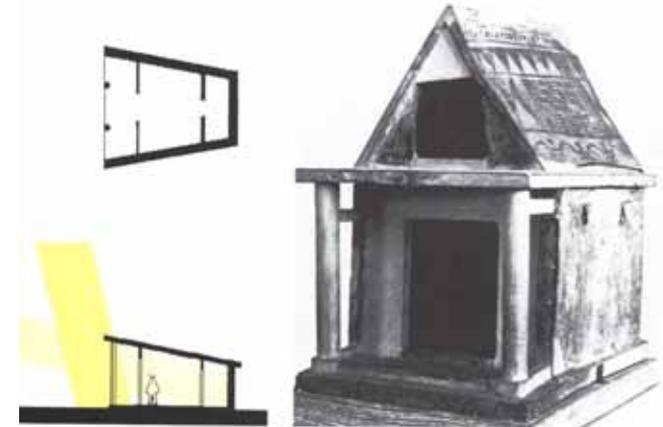


Abb 57: griech. Megaron, sog. "Sokrates-Haus"

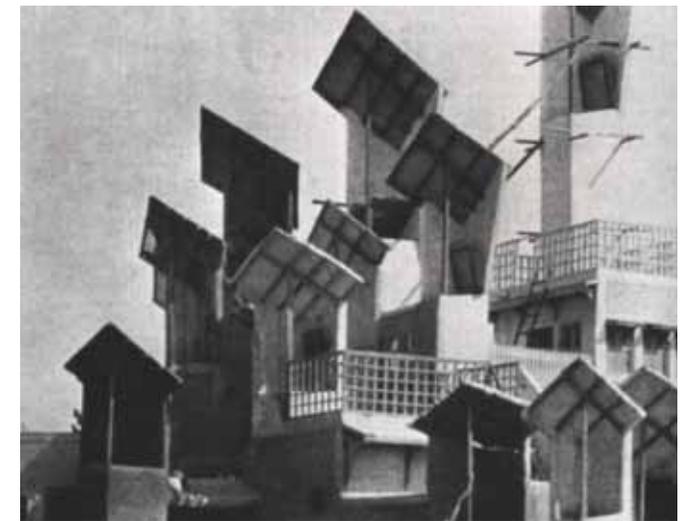


Abb 58: sog. Badgir, Windfänger im Orient

<sup>25</sup> Treberspurg, M.: Neues Bauen mit der Sonne; Wien/New York, 1994, S.9

## Sonnenschutz

Sollte der natürliche Schutz (Bäume) vor der Einstrahlung nicht reichen, so wird auf bauliche Verschattungsvorrichtungen, wie Auskragungen (sog. brise-soleils), Lamellen oder Fensterläden zurückgegriffen. Neben immer effizienteren weil speziell beschichteten Gläsern zeigen auch Rollos, im Außenbereich angebracht akzeptable Ergebnisse.

## Nutzung der solaren Energie

### Die aktive Nutzung

Die aktive Nutzung fordert einem erheblich höheren technischen Aufwand. Als Beispiel hierfür gelten Solarkollektoren zur Stromerzeugung (Photovoltaik) und Kollektoren zur Warmwassererzeugung.

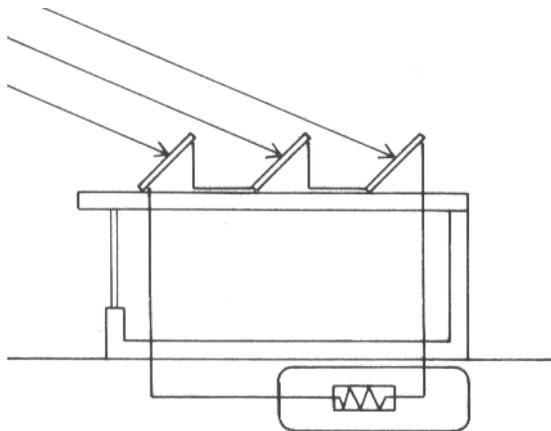


Abb 59: aktive Nutzung der Sonnenenergie

## passive Nutzung

„Das Prinzip passiver Sonnenenergienutzung ist die Umsetzung vorhandener Energiepotentiale aus natürlichen Energiequellen zur Gebäudeerwärmung unter weitgehendem Technologieverzicht.“<sup>26</sup>

Durch die passive Nutzung der Sonnenenergie kann in Gebäuden eine beträchtliche Menge an Energie gespart werden. Passive Sonnenenergie kann man z.B. durch Trombe-Wände oder Wintergärten nutzbar machen. Das Prinzip ist simpel. Die Sonne erwärmt tagsüber massive Bauteile, die sich dadurch im Laufe des Tages aufwärmen um die Wärmeenergie dann phasenverschoben in der Nacht wieder abzugeben.

### Transparente Wärmedämmungen (TWD)

Die transluzente Wärmedämmung lässt Licht auf einen dahinterliegenden Absorber treffen, der die Wärmeenergie dann an einen massiven Speicherbauteil weitergibt<sup>27</sup>.

26 Wachberger, H.: Handbuch für passive Sonnenheizsysteme, Wien, 1983, S.69

27 Enz, D.; Hastings R.: Innovative Wandkonstruktionen, Heidelberg, 2006, S.116

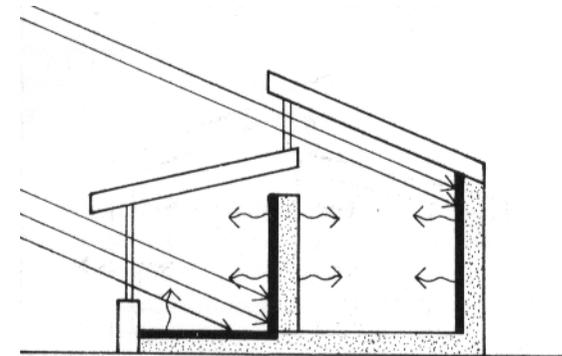


Abb 60: passive Nutzung der Sonnenenergie



Abb 61: Massivspeicherwand mit transparenter Wärmedämmung

# Colegio Tecnico Juan XXIII

Energetica

Fe y Alegria

Geschichte der Schule

Das Schulareal

Analyse

-Bauabschnitt/Bestand 1986

-Bauabschnitt/Bestand 2006



Abb 62: Teil des Schulareals vom Dach des Hauptgebäudes aus gesehen

## Energetica

Die NGO, mit Sitz in Cochabamba, beschäftigt ca. 30 Mitarbeiter – von Soziologen über Ökonomen bis hin zu Architekten – und gilt als einzige NGO in Bolivien als ISO-zertifiziert. Durch Energetica wurde auch der Kontakt mit Fe y Alegria und in weiterer Folge mit dem Colegio Juan XXIII, dem zukünftigen Bauareal hergestellt.

Die anfängliche Intention, das Schulungszentrum im Altiplano zu errichten - besteht doch aufgrund des Klimas gerade in dieser Region die höchste Nachfrage nach Warmwasser - wurde zugunsten der viel besseren Voraussetzungen (vorhandene Infrastruktur, Dichte der Kollektorenproduzenten, Energetica als Partner) fallengelassen. Man kann in diesem Zusammenhang sogar von Cochabamba als „Zentrum für erneuerbare Energie in Bolivien“ sprechen. Deshalb fiel letztendlich die Entscheidung für das Projekt zugunsten von Cochabamba.

## „Fe y Alegria“

Die den Jesuiten zugehörige Organisation ist in 16 Ländern Lateinamerikas (außer Mexiko) vertreten. In Bolivien ist man seit 1966 tätig und unterrichtet heute 300.000 bolivianische Schüler/Studenten, von welchen viele eine der 50 technischen Schulen besuchen.

„Fe y Alegria“, zu deutsch: Glaube und Freude/Fröhlichkeit, finanziert sich aus Eigenmitteln, durch NGOs, durch Spenden, durch die Regierung (diese übernimmt vor allem die Auszahlung der Gehälter der Lehrkräfte) und durch den Verkauf von landwirtschaftlichen Produkten (im Falle von Juan XXIII, Milch aus der Viehzucht).

## Geschichte der Schule in Cochabamba

Bei der ursprünglichen Ausbildung handelte es sich um eine "educacion tecnologico" (also eine technologische Ausbildung), wie sie damals im Colegio Juan XXIII vermittelt wurde. Im Unterschied dazu - und um die Begriffe voneinander abzugrenzen - gibt es auch eine "educacion tecnica" (technische Ausbildung), welche für die Ausbildung von Spezialisten in den verschiedensten handwerklichen Berufen herangezogen wurde.

Ursprünglich handelte es sich bei der Lehre am Colegio um eine „technologischen Ausbildung“. Tritt ein Problem in der Gesellschaft auf, befasst man sich damit und es werden die aktuellen Zustände analysiert, um dann Lösungen dafür zu finden. Dabei beschäftigen sich die verschiedenen Zweige mit dem Problem, und man versucht zusammen eine Lösung zu finden.

Heute handelt es sich bei der Ausbildung am Colegio um eine technische, wobei das Besondere in der Zweigleisigkeit des Unterrichtsplanes liegt. Die Vermischung von Theorie und Praxis ist laut Padre Ignacio Suñol (Direktor Fe y Alegria, Bolivien) einzigartig in Bolivien und soll den staatlichen Schulen als Vorbild dienen.

Im „Colegio Tecnico Juan XXIII“ der jesuitischen Organisation „Fe y Alegria“ bietet man Jugendliche im Alter von 15-20 Jahren die Möglichkeit neben dem grundlegenden Lehrplan auch eine praktische Ausbildung zu erhalten. Die angebotenen Zweige sind „carpinteria“ (Zimmerei), „mecnica“, „electricista“, „agropecuaria“ (Landwirtschaft) und „imagen, sonido y artes escnicas“ (künstlerischer Zweig).

Die praktische Ausbildung erfahren die Schüler zuerst im Colegio selbst, der Rest entfällt auf Betriebe, die den Schülern somit eine adäquate erste Berührung mit der Arbeitswelt vermitteln.

Seit Februar 2009 wurde durch Initiative von „energetica“ der Photovoltaik-Lehrgang („photovoltaico“) ins Ausbildungsprogramm aufgenommen und größtenteils auch von der NGO abgehalten. Ab 2010 soll auch die Solarthermie als fixer Bestandteil der Ausbildungsmöglichkeit den Schülern angeboten werden. Neben dem Unterricht für die Jugendlichen sollen auch Kurse und Workshops für Erwachsene (Professionisten wie Installateure, die Solarkollektoren aufstellen) stattfinden, um die Qualität des Einbaus der Kollektoren weiter zu verbessern.

In absehbarer Zeit könnte dann ein staatlich ausgestelltes Zertifikat die Qualifikation der Absolventen bekräftigen und so ein weiterer Schritt in Richtung Professionalität in Sachen erneuerbarer Energie gemacht werden. In diesem Zusammenhang wird auch von einem sogenannten „Observatorio para energias renovables“, also eine Art Zentrum für erneuerbare Energie in Lateinamerika gesprochen, denn wenn sich eine Region in einem bestimmten Gebiet mit besonderen Leistungen hervortut, dann kann sie auch über die Landesgrenzen hinaus Bedeutung erlangen und Vorbildwirkung für andere Regionen haben.

Schon heute sind am Areal Warmwasserkollektoren und Photovoltaikmodule sowie Windräder in Verwendung.

## Das Schulareal

### Bauabschnitt 1986

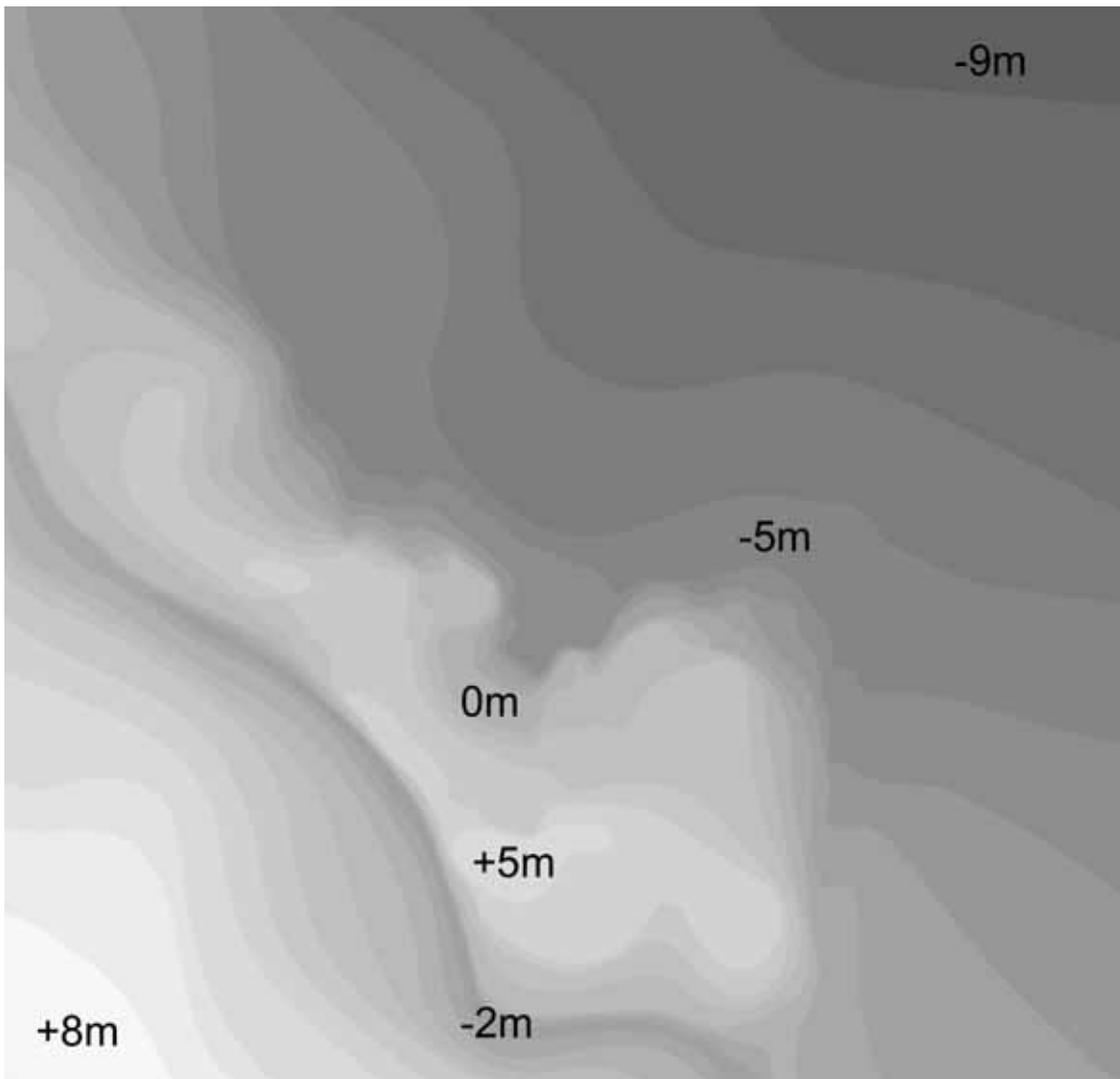
- 1 Gebäude f. Portier
- 2 Kirche
- 3 Küche, Speisesaal, Wäscherei, Lager
- 4 Internatsgebäude mit Sanitärgebäude
- 5 Theater
- 6 Freizeitgebäude
- 7 große Aula
- 8 kleine Aula
- 9 Lehrergebäude
- 10 Gebäude f. künstlerischen Zweig
- 11 Bibliothek
- 12 Labor
- 13 landwirtschaftliche Gebäude

### Bauabschnitt 2006

- 14 Werkstätte u. Sanitärgebäude
- 15 Hauptgebäude Neubau 2006
- 16 Direktionsgebäude

-  Höhengichtlinien, 1 m
-  Wege , Schulgelände
-  Autostraße Oruro-Cochabamba
-  Gebäude
-  Anbaufläche
-  Gewässer
-  Bäume





Das Schulareal das sich am Rand des Cochabamba-Tales befindet, ist nach Norden hin abfallend.

Nach Osten bildet die Autostraße die Grenze, nach Süden und Westen ist es ein kleiner Bach, der sich durch das Gelände schneidet. Der Höhenunterschied zwischen der niedrigsten Stelle im Nordosten und der höchsten im Süden beträgt an die 13m.

Obwohl das Grundstück direkt an die Schnellstraße von Cochabamba nach La Paz/ Oruro grenzt, und somit verkehrsmäßig günstig angebunden ist, ist es sehr ruhig am Schulareal, welches wie ein kleines Dorf wirkt. Das abfallende Gelände mit Teich und einem Bach ist in 30 Fahrminuten vom Zentrum von Cochabamba aus zu erreichen.

Der Großteil des Areals wird hauptsächlich für die Landwirtschaft genutzt. Das steile Ufer des Baches ist stark bewachsen, einzelne wenig dichte Baumgruppen spenden auf dem restlichen Gelände Schatten. Die sonst eher braune Vegetation verwandelt sich zu Beginn der Regenzeit in ein saftiges Grün. Wasser bezieht die Schule aus dem eigenen Brunnen.



Abb 63: das Grundstück der Schule in Cocaraya

## Bauabschnitt 1986

Der Baubeginn für das "Colegio Technico Juan XXIII - Cocaraya" war schließlich 1986 und wurde zum großen Teil durch Eigenleistung in Form von Arbeitszeit hergestellt. Der erste Direktor der Schule, Padre Pica, war gleichzeitig für die Architektur des Bauvorhabens verantwortlich.

Das hauptsächlich durch die holländische Regierung (CEBEMO) finanzierte Projekt wurde nach ca. zwei Jahren Bauzeit schliesslich fertiggestellt. Lediglich die tragenden Säulen wurden aus gebrannten Ziegeln errichtet – das restliche Baumaterial war Lehm welcher aus dem Boden im Bereich des heutigen Fischteich entnommen wurde und in Form von Adobe-Ziegeln verbaut wurde.

Die Leitidee dahinter war, den sozialistischen Gedanken im Gegensatz zu damaligen rechtsgerichteten Militärdiktaturen dieser Zeit (Hugo Banzer Suárez in Bolivien, Augusto Pinochet in Chile; Brasilien, Argentinien) baulich umzusetzen und auch den Jugendlichen, sofern in der damaligen Zeit möglich, zu vermitteln. Es sollten so sog. „Lideres“, also Führungspersonlichkeiten ausgebildet werden, die das Land in eine bessere Zukunft führen sollten.

Padre Pica spricht in diesem Zusammenhang von „PENUBOL“ („pequeña nueva Bolivia“ - zu deutsch: „neues, kleines Bolivien“), was sich auch an der Gesamtkonzeption der Anlage ablesen lassen sollte. Unter diesem Motto sollte also ein kleines Abbild des neuen, freien Bolivien geschaffen werden. So weist die Schulanlage den Charakter eines zersiedelten Dorfes in „bolivianischen Stil“ auf und tatsächlich orientieren sich einige der Gebäude bzw. einige Elemente in der architektonischen Ausformulierung an Vorbildern aus der Kolonialzeit.

Jedes der Häuser ist in Neokolonialem Baustil errichtet, bzw. weist Elemente desselben auf. Die differenzierte Entwicklung des Kolonialen Stils ist auf die unterschiedliche Höhenlage und somit auf das unterschiedliche Klima zurückzuführen. So deuten z.B. kühlende Arkadengänge auf heißes Klima hin und umgekehrt geschlossene Baukörper auf ein Klima wie es im Altiplano herrscht.

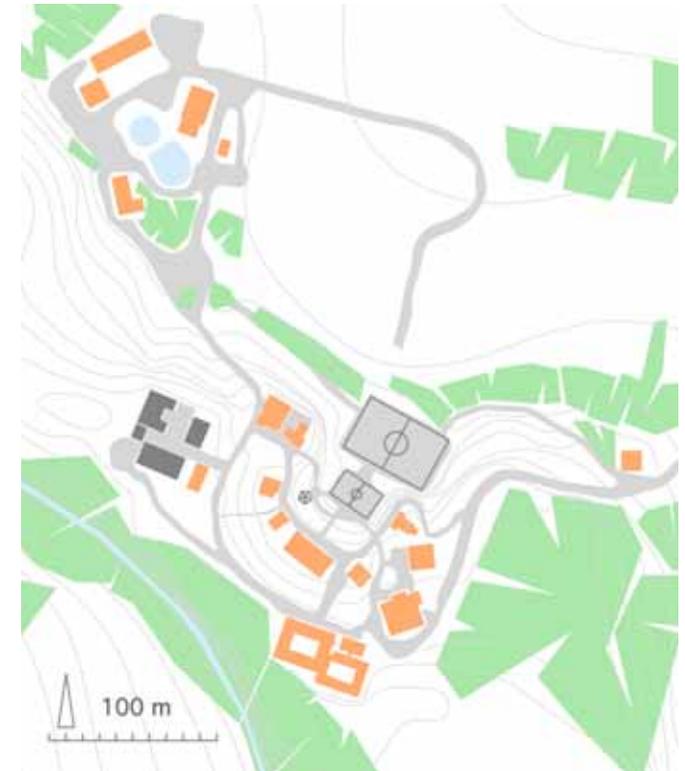




Abb 64: koloniale Dachdeckung, Tarata

Ausserdem spiegelt sich die Nachahmung der Eigenheiten der Architektur Boliviens in den gebogenen, mit keramischen Ziegeln gedeckten Dächern der Dörfer (techa colonial) des valle alto wieder. Jene Dörfer namens **Tarata**, **Punata**, **Cliza** und **Arani** (siehe Abb. 31, S. 35) weisen auch die typischen Holzbalkone auf, wie man sie auch bei der großen Aula als gestalterisches Element vorfindet. Hier sind die Balkone allerdings nicht wirklich benutzbar, denn der zugehörige 3x3m Raum ist praktisch das Turmzimmer welches über eine Leiter von außen erreicht wird und über keine Fenster verfügt.

Der "Mittelgiebel" der großen Aula ist dem Giebel des Innenhofes des "Casa de la Libertad" in Sucre nachempfunden, erweist sich bei näherem Interesse aber als Blendgiebel. Wie auch immer, in dem vorbildhaften Gebäude wurde die Freiheit Boliviens 1825 verkündet und der „Sala de la Libertad“ im Inneren war somit das 1. Parlament Boliviens.

An den Ecken der Frontseite des Internats für die Jungen sind jeweils 2 runde Säulen angebracht, die den "Ausbiss" der Ecken unterstützen. Durch diese in den Städten Oruro und Sucre zu findende regionale Eigenheit zur Ausbildung der Hauseingänge führten oft zwei Türen ins Innere, manchmal auch nur eine diagonal zur Säule angebrachte.



Abb 65: Die große Aula, Colegio Juan XXIII



Abb 66: Casa de la Libertad, Sucre



Abb 67: Nebeneingang, Internat

Weiters wurden bewusst asymmetrische Fassaden gebaut (das Fenster des Theaters wurde ausmittig gesetzt), wodurch wiederum die aus den Dörfern stammende Improvisation bei autochthonen Bauwerken nachgeahmt wurde. Die Kapitelle des kleinen Auditoriums, die den oberen Abschluss der Säulen aus Holz bilden, sind einer Hacienda in Chuquisaca, Sucre nachgebildet. So standen auch die alten, spanisch-jesuitischen Missionskirchen aus dem östlichen Landesteilen (Sta. Cruz) Modell für die Kapelle in Cocaraya. Damals wurden die Kirchen von den spanischen Missionaren zum Schutz der Indios errichtet, um deren Versklavung durch das portugiesische Brasilien - dort war die Sklaverei erlaubt – zu verhindern. Auch der weiße Kalkanstrich der Gebäude (pintar piruleado) welcher mit einer kleiner Maschine aufgetragen wird, erweist sich als traditionelles Mittel zum Schutz vor Feuchtigkeit. Zusätzlich angedacht, aber nie verwirklicht war eine Behausung für das dort arbeitende Lehrpersonal. Sie sollte sich nach dem Casa del Moto Mendez (benannt nach einem Revolutionär Boliviens), in San Lorenzo, Tarija richten.



Abb 68: Theater, Colegio



Abb 69: Kapitelle der kleinen Aula, Colegio



Abb 70: Kapelle, Colegio



Abb 71: San Miguel de Chiquitos

Durch die Verwendung von regionalspezifischen Architekturelementen aus den verschiedensten Teilen des Landes sollte den im Internat untergebrachten Schülern die Umgebung vertrauter und somit die Trennung von der Heimat leichter gemacht werden, stammten sie doch aus allen Teilen Boliviens. Neben der Ausbildung an der Schule und der neuen Architektur der modernen Gebäude, die nicht mehr dem ursprünglichen Gedanken des PENBUOL entspricht, hat sich einiges verändert. Auch weist er darauf hin, dass die Wartung der Gebäude zu wünschen übrig lässt...Gebäude halbkreisförmig rund um die Sportanlage, die in eine Art Kessel eingebracht wurde, angeordnet.



## Bauabschnitt 2006



Zwanzig Jahre nach dem Baubeginn des ersten Abschnittes wurden zusätzliche Gebäude errichtet (Arch. Sergio Bassarin, Cochabamba). Die vier Kuben aus Vollziegel bilden neben den im "Neo-Kolonialstil" errichteten Gebäuden und den Bauten für die Landwirtschaft eine dritte Gruppierung, ein drittes "Dorf im Dorf". Im Unterschied jedoch zu den anderen beiden stehen die 2 Jahre alten Gebäude frei da auf einer Kuppe. Lediglich das zu den "kolonialen" Gebäuden zu zählende Labor hat sich zu der Gruppe "geschwindelt". Das größte Bauwerk der Gruppe (alle nicht unterkellert) ist das zweistöckige Hauptgebäude in dem sich Informatikräume und kleine Seminarräume, das Pneumatiklabor und das Modellbaulabor befinden. Gegenüber befindet sich das Direktions/Verwaltungsgebäude mit den Büros. Das Werkstattegebäude - zwar auch nur einstöckig - weist aber durch die erhöhten Anforderungen eine größere Raumhöhe auf. Zusätzlich sorgen Lichtkuppel am Flachdach für die natürliche Ausleuchtung des doch tiefen Gebäudes. Der überdachte Eingangsbereich des Werkstattegebäudes spendet Schatten und wird somit als „Warteraum“ genutzt.

Zusammen mit dem Direktionsgebäude, dem Werkstattegebäude und dem Sanitärgebäude (alle eingeschossig) wird ein Platz geschaffen.

Auf dem Dach des Hauptgebäudes befinden sich einige Windräder sowie eine Photovoltaikanlage. Sie produzieren Strom welcher die Nachtbeleuchtung der Anlage gewährleistet. Zusätzlich befindet sich eine Wetterstation am Dach, welche wichtige Daten für die Landwirtschaft aufzeichnet.

Charakteristisch für das Erscheinungsbild sind die speziellen **ladrillo prensado** (gepresste Ziegel). Diese Vollziegel, welche eine ovale Vertiefung auf einer der beiden großen Flächen des Ziegelquaders entstammen einem lokalen Kunsthandwerk.

Auf dem Flachdach des Hauptgebäudes befinden sich Windräder - zwei der insgesamt fünf Windräder wurden von Rolando Casala selbst entworfen und gebaut - und eine 12 m<sup>2</sup> Photovoltaik-Anlage zur Energieerzeugung installiert. Die dreiphasige Stromanlage sorgt für die abendliche Beleuchtung der Aussenanlagen und bezieht, falls nicht ausreichend, Strom aus dem öffentlichen Netz.



Abb 72: "muro semicargo"



Abb 73: Das Hauptgebäude der 2. Bauphase an der Schule

## Vorgaben für Schulungs- und Vortragsräume

### Belichtung

Die Fensterflächen von Unterrichtsräumen sollen bei freiem Lichteinfall ca.  $\frac{1}{6}$  bis  $\frac{1}{5}$  und bei eingeschränktem Lichteinfall ca.  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{4}$  der Fußbodenfläche betragen. Tageslichtquotient lt. ÖISS mind. 1 %, besser 2-5 %

Bei tiefen Räumen sind zum Zwecke der ausreichenden natürlichen Belichtung hohe Fenster vorzusehen. Die Tafel- bzw. Projektionswände sollen keine Fensteröffnungen aufweisen, der seitlicher Lichteinfall ist daher erstrebenswert. Weiters soll der Tageslichtverlauf in Schulungs- bzw. Arbeitsräumen annähernd gleichmäßig sein. Raumhöhen von 3,2 m solle nicht unterschritten werden, um eine ausreichende Belichtung zu gewährleisten

Blendungen durch zu hohe Leuchtdichteunterschiede sind zu vermeiden und bei Pausen- und Verkehrsflächen ist auf ein möglichst differenziertes Lichtmilieu zu achten.

In den Innenräumen ist für einen möglichst gleichmäßigen Lichteinfall auf die Tischflächen zu sorgen, Mauerpfeiler breiter als 1m sollten vermieden werden.

### Sommerliche Überhitzung

Die Temperatur in Aufenthaltsräume sollte an Hitzetagen  $3^{\circ}\text{C}$  bis  $6^{\circ}\text{C}$  unter der maximalen Außenlufttemperatur liegen. Einflussfaktoren dafür sind der angebrachte Sonnenschutz, die entstehende Wärme durch die Personenbelegung sowie durch die Gerätenutzung, die natürliche Belüftung im Inneren, die Größe und Orientierung der Glasflächen und die Nutzung speicherwirksamer Bauteile. Ein Kühlenergiebedarf in Schulgebäuden ist unbedingt zu vermeiden, wenn notwendig dann soll mittels passiven Kühlsystemen Abhilfe geschaffen werden.

## Belüftung

Für SchülerInnen über zehn Jahre beträgt der erforderliche Raumlufwechsel 20 m<sup>3</sup> pro Person und Stunde. Als bewährteste Lüftungsmethode wird die Querlüftung angesehen.

## zusätzliche Vorgaben

Die Benutzung der Werkstätte und des Hörsaals soll wegen des möglichen Angebots von Abendkursen von 8:00 bis 20:00 gewährleistet werden. Zusätzlich sind spezielle Nutzungen wie z.B. eine Filmvorführung im Hörsaal oder eine Ausstellung im Werkstättengebäude im Entwurf zu berücksichtigen. Die Personenbelegung für den Hörsaal und die Werkstatt beträgt 15 Personen. Für die thermische Gebäudesimulation der beiden Räume wird eine Luftwechselzahl von 30 m<sup>3</sup> pro Person und Stunde angenommen.

## Bauphysikalische Vorgaben

Da es sich bei dem Monat Juli bzw. November um den kältesten bzw. wärmsten im Jahr handelt wurden die Temperaturverläufe (jede volle Stunde eine Messung) des 15.07.2008 und des 15.11.2008 als Berechnungsbasis für die thermische Gebäudesimulation (GEBA) herangezogen.

### Temperaturverlauf, Cochabamba<sup>28</sup>:

	0 Uhr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nov.	15	15°	15°	15°	13°	13°	12°	15°	20°	23°	26°	27°
Juli	9°	9°	6°	5°	4°	4°	4°	3°	6°	12°	16°	18°

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nov.	28°	28°	24°	23°	22°	25°	23°	21°	19°	19°	19°	19°
Juli	20°	21°	22°	23°	24°	24°	21°	17°	13°	12°	11°	9°

Sollte es in der kalten Zeit des Jahres über Nacht in den Innenräumen stark abkühlen kann z.B. durch das Verwenden eines speicherfähigen Materials (z.B. Lehm) als Fußboden, die tagsüber durch solare Gewinne erzielte Wärme zeitversetzt über Nacht wieder abgegeben werden.

Das Gebäude soll sich zur Sonne hin möglichst wenig öffnen, da die Gefahr der Überhitzung besteht. Zusätzlich könne Dachvorsprünge und Jalousien Abhilfe schaffen. Der erforderliche Luftwechsel während der maximalen Raumbelastung beträgt pro Person 30 m<sup>3</sup> in der Stunde.

<sup>28</sup> URL [http://www.wunderground.com/history/wmo/85223/2008/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2008&req\\_city=NA&req\\_state=NA&req\\_statename=NA](http://www.wunderground.com/history/wmo/85223/2008/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2008&req_city=NA&req_state=NA&req_statename=NA), 10.09.2009

Dabei macht die Tätigkeit der sich im Inneren befindlichen Personen viel aus. Denn unterschiedliche körperliche Aktivitäten erfordern auch unterschiedliche Raumtemperaturen um zu einer behaglichen Raumtemperatur zu gelangen. Je nach Tätigkeit produziert zum Beispiel ein sitzender Mensch 90 Watt an Wärmeenergie, ein Sportler hingegen ganze 400 Watt. Ein kleiner Unterschied zwischen empfundener Temperatur und Raumtemperatur ist als ein Indiz für Behaglichkeit zu sehen.

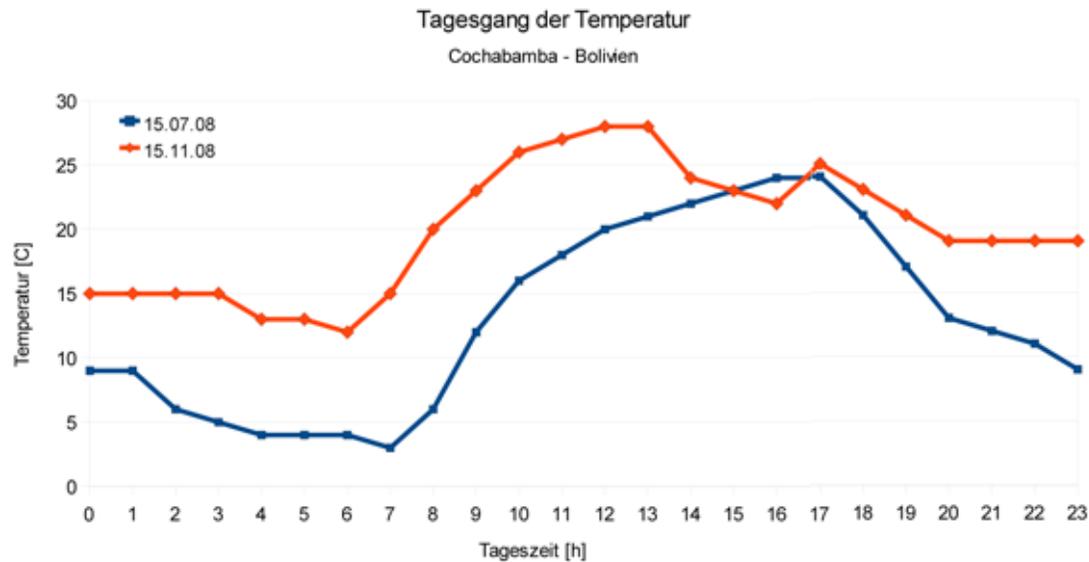


Abb 74: Tagestemperaturverlauf eines warmen und eines kalten Tages

## Das Kompetenzzentrum



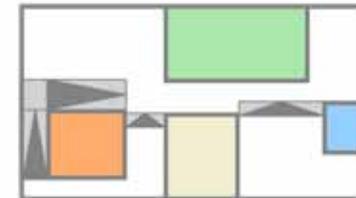
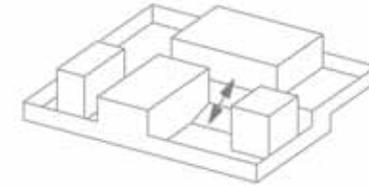
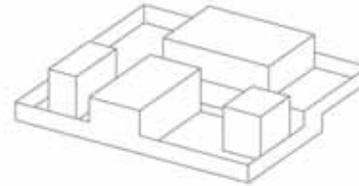
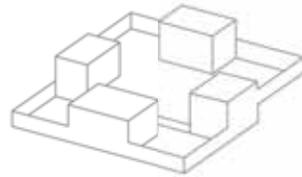
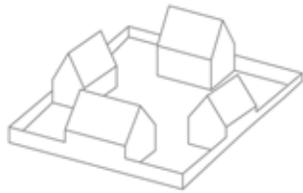
## **Funktionen**

Prinzipiell werden dem Gebäude zwei Hauptfunktionen zugeschrieben. Zum Einen soll es einen Vortragsraum geben, in dem Vorlesungen und Seminare abgehalten werden können. Hier soll die theoretische Ausbildung der Schüler stattfinden. Zum Anderen darf neben der theoretischen auch die praktische Ausbildung nicht zu kurz kommen, deshalb stellt die Werkstätte die zweite Hauptfunktion der Konstruktion dar. Hier soll unter fachlich qualifizierter Anleitung das in der Praxis notwendige Wissen an die Schüler weitergegeben werden.

Neben den zwei genannten Hauptfunktionen Auditorium und Werkstätte und den Versorgungsfunktionen Lager und Sanitärräume bilden die Räume für die Übungsaufbauten, Anschauungsmodelle und Demoobjekte die Zusatzfunktionen. Die Werkstätte, der Hörsaal, die Sanitäranlage und der Lagerraum sollen in geschlossenen und überdachten Räumen untergebracht sein. Sie und angrenzende überdachte Freiräume sollen unabhängig vom Wetter benutzbar sein. Die oben genannten zusätzlichen Funktionen sind zum Teil im überdachten Außenraum sowie auch unter „freier Sonne“ untergebracht und somit zum Teil auch wetterabhängig.

Bevorzugt soll die Anwendung **nachwachsender Rohstoffe** zur Anwendung kommen. Das wird bei **regional verfügbaren Materialien**, wie z.B. Lehm, die Transportwege verkürzen und dem Aspekt der Nachhaltigkeit weiter Rechnung tragen. Teile des Neubaus sollen als Leichtbau aus heimischen Holz ausgeführt werden ( mit Stroh ausgefacht) und in Kombination mit dem massiven Lehmbau die vertikalen Raumbegrenzungen bilden.

Als Ausgangspunkt für den Entwurf wird die funktionale Anordnung der Baukörper einer Kancha herangezogen. Jedem der einzelnen Bauwerke des andinen Gehöfts ist eine bestimmte Funktion zugewiesen. Die Grundrisskonzeption des Kompetenzzentrums wird sich an die der Kancha orientieren bzw. von dieser abgeleitet sein.

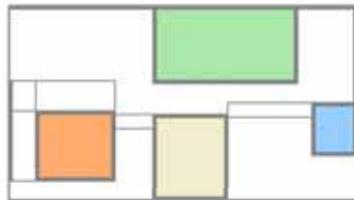
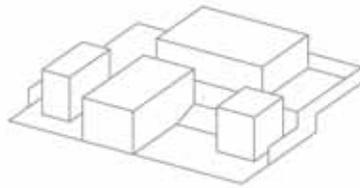


eine kancha in hanglage mit zentralem platz im zentrum.

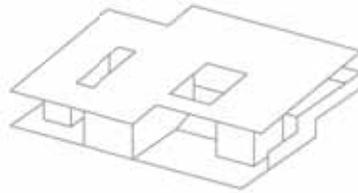
die 4 "überdachten" funktionen werkstätte, hörsaal, sanitäranlage und lager werden in den grundriss einer kancha transformiert. wegen der vorhandenen hanglage wird die bodenplatte in zwei ebene unterschiedlicher höhe geteilt.

die baukörper werden gemäß der erforderlichen raumgrößen für die funktionen dimensioniert und zueinander ausgerichtet.

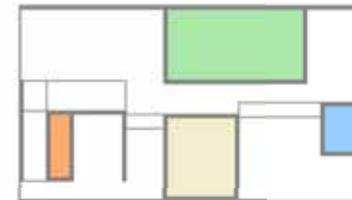
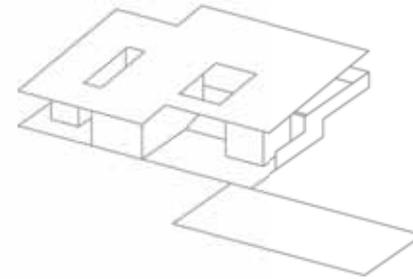
um den höhenunterschied von 0,9m zwischen den ebene zu überwinden, werden stiegenläufe und ein rampe für die barrierefreie nutzung der räumlichkeiten vorgesehen.



für eine ungehinderte fortbewegung aus und in das gebäude wird an den erforderlichen stellen die umfassungsmauer aufgebrochen.

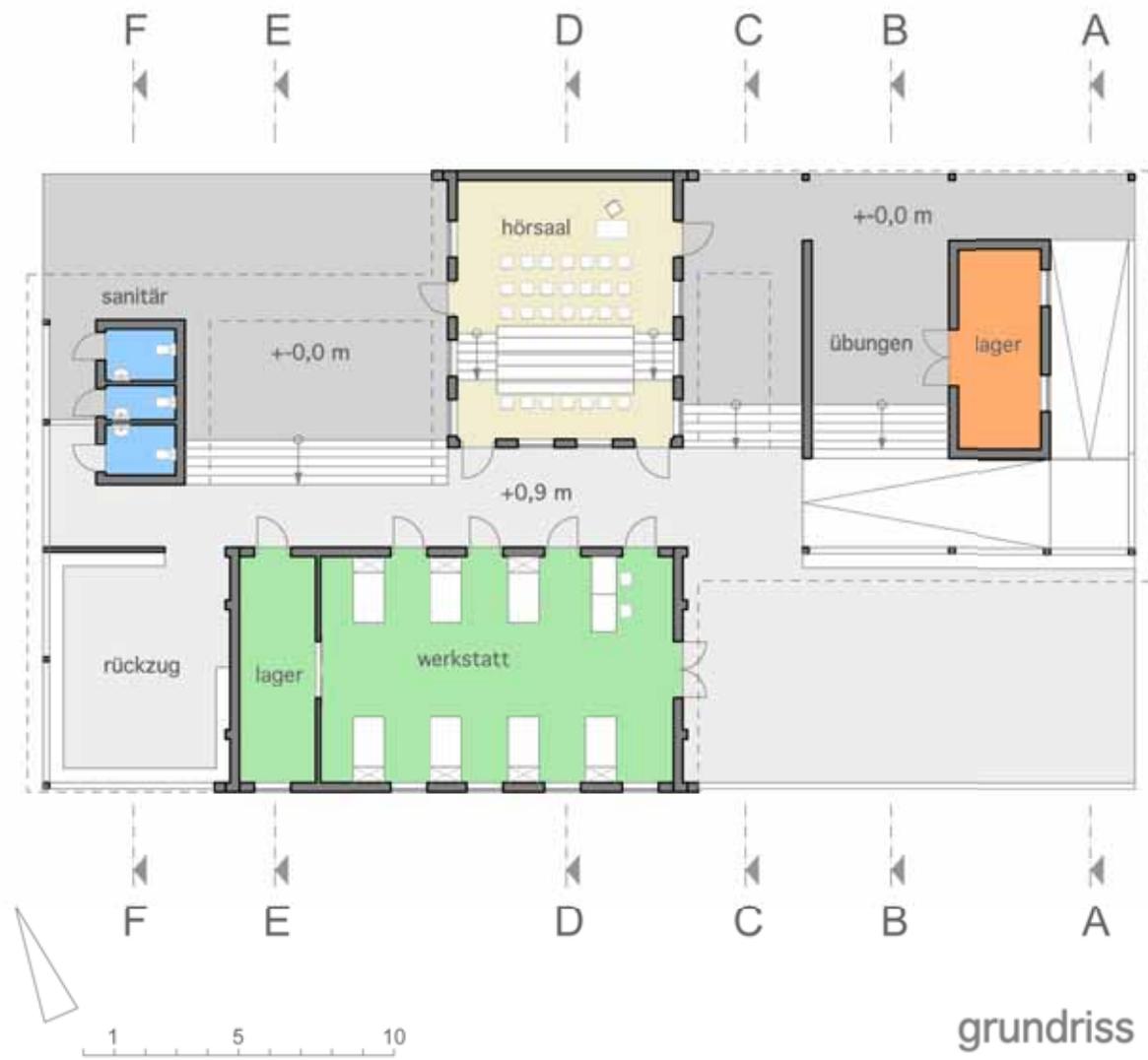


um einen schutz vor sonne und regen zu gewährleisten, wird ein flach geneigtes dach (9°) richtung norden über die verkehrsflächen zwischen die einzelnen baukörper gezogen. gleichzeitig entstehen so überdachte aussenräume, die unterschiedlich benutzt werden können. öffnungen im dach sollen für eine ausreichende belichtung der räume sorgen.



an das gebäude wird eine befestigte fläche angeschlossen, welche das demo-areal und die übungskollektoren beherbergen soll.

- Werkstätte
- Hörsaal
- lager
- Sanitärgebäude
- überdachte freiräume





Der Standort für das Gebäude liegt zwischen den Bauten aus dem Jahr 2006 und den landwirtschaftlichen Gebäuden und schafft gleichzeitig eine Fußgängerverbindung. Zusätzlich kann durch die unmittelbare Nähe zum Hauptgebäude die Infrastruktur beider Gebäude gemeinsam genutzt werden. Erleichtert wird dies mittels eines Durchbruchs der Nordmauer im Erdgeschoss des bestehenden zweistöckigen Hauptgebäudes. Da das Gelände am Standort abschüssig ist, wird das Kompetenzzentrum auf zwei Ebenen, die mit Stiegen und einer Rampe verbunden sind, gesetzt werden. Auf der dem Hang zugewandten Südseite des Neubaus wird das Gebäude etwas eingegraben und Stützmauern aus Beton sichern die horizontalen Flächen, daneben.

Die Wege innerhalb der Anlage  
(links die das bestehende Wegnetz, rechts  
das Wegnetz nach dem Neubau)





grundriss

## Holzständerwand

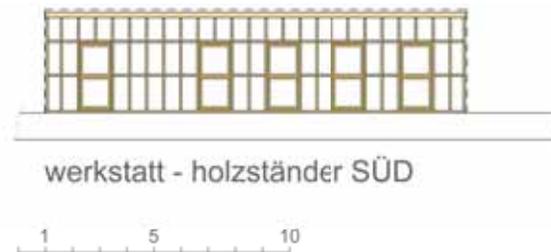
Da der Holzbau in Bolivien nicht sehr verbreitet ist, es aber dennoch genügend qualitativ hochwertiges Holz gibt, wird die Dachkonstruktion sowie ein Teil der Aussenwände als Ständerwand ausgeführt. Dabei wird die Aussteifung eines solche Bauteils erst durch die Bepankung der Konstruktion erreicht.

Die Vorteile liegen in der Vorfertigung und der damit verbundenen schnellen Montage. Zusätzlich bietet eine 5cm dicke Wärmedämmschicht an der Innenseite des Bauteils Raum für die bequeme Installation für die Hausleitungen. Desweiteren ermöglicht der Ständerbau großzügigere Öffnungen als eine vergleichbare Wand aus Adobe, was die Vorteile einer großzügigeren Belichtung und einer angenehme Durchlüftung während des Arbeitens mit sich bringt.

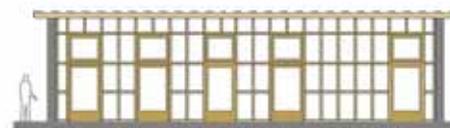
Zwischen den Konstruktionshölzern wird als Dämmmaterial komprimiertes Stroh eingebracht, welches aufgrund der höheren Feuergefahr an den Außenseiten mit Lehm verschmiert wird.

Adobe – Wände: Stabilität oder Einbau von Pfeilern aus adobe bzw. Ziegel  
größer 5m Aussteifung durch Querverbund der Lehmsteine

adobe: traditionell, aber Leute akzeptieren es sehr wenig – rückständig → Kalkputz

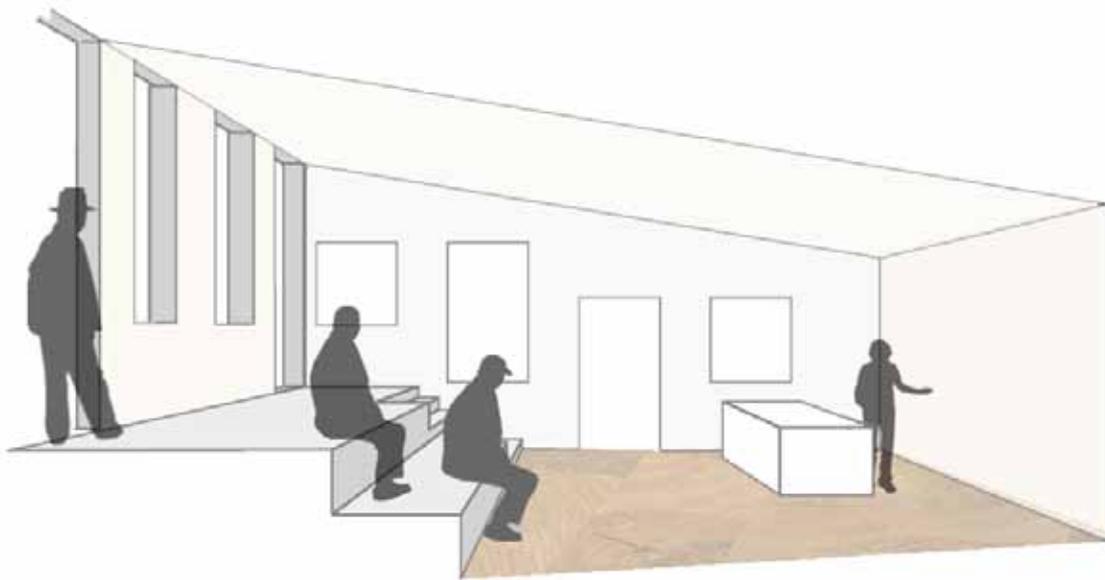


werkstatt - holzständer SÜD



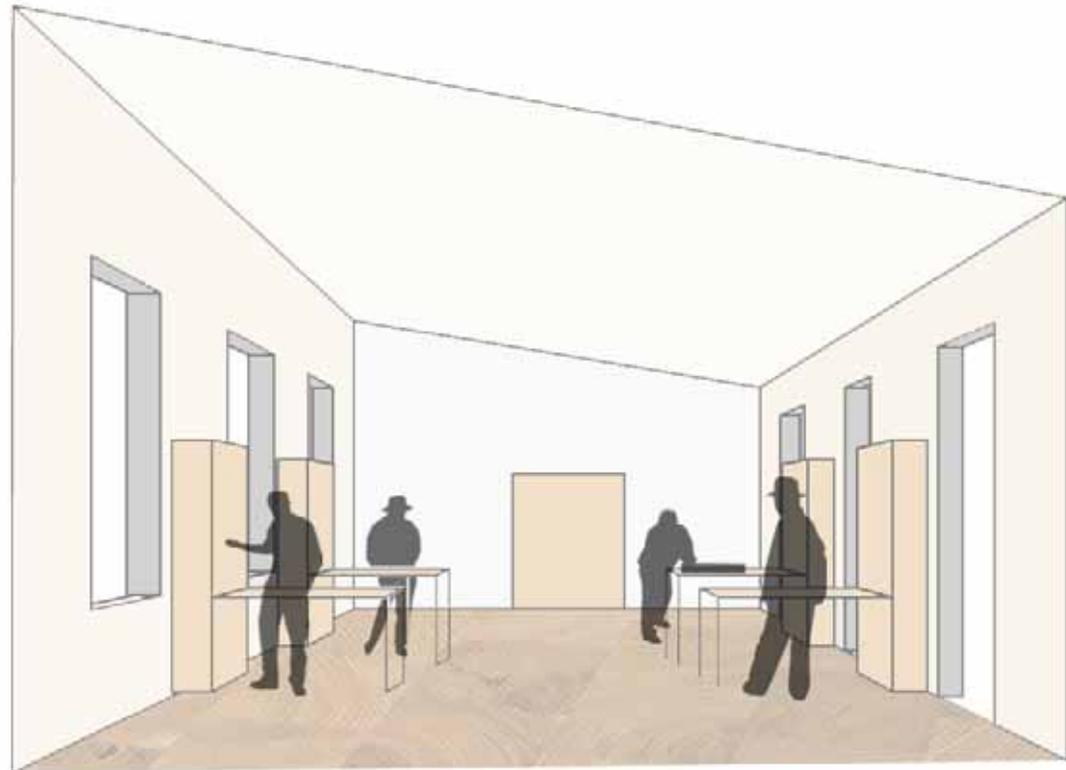
werkstatt - holzständer NORD





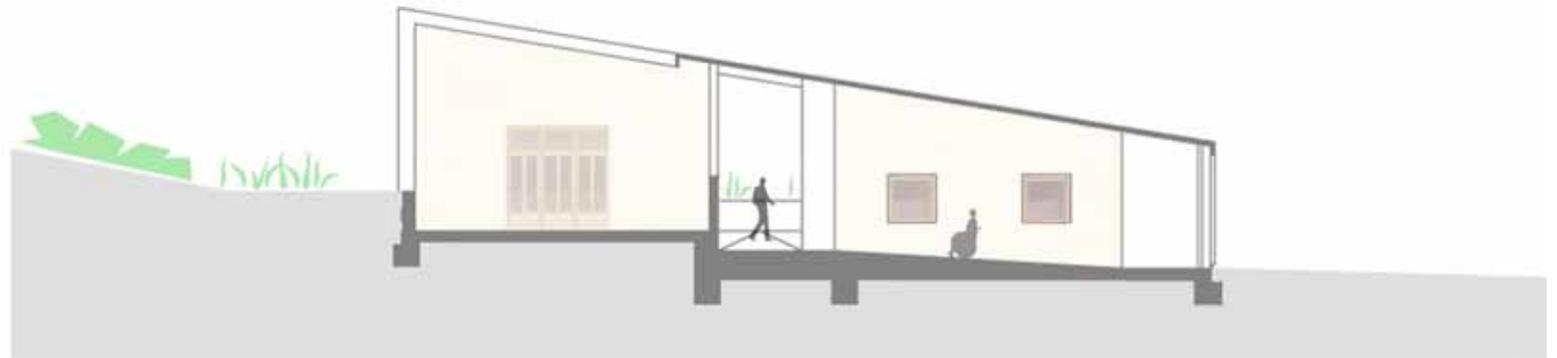
Der Hörsaal des Kompetenzzentrums

In der Werkstatt wird Hirnholzpflaster in einer Schichthöhe von 6 cm zur Anwendung kommen. Dieser Fußbodenbelag stellt ob seines Gewichts und seiner Schichtdicke einen speicherwirksamen Bauteil dar und erweist sich speziell bei stehenden Tätigkeiten - wie jenen in einer Werkstatt – als gute Wahl. Die Fensterflächen sitzen in der Ständerwand.



Die Neigung des Flachdaches beträgt  $9^\circ$ . Die optimale Neigung von Kollektoren beträgt rund  $20^\circ$ .  
Gelände findet im Entwurf ebenfalls Niederschlag – 2 Ebenen - Rampe (schnitt) – barrierefrei, u.a. auch für Transport von Gerätschaften/Übungsaufbauten von der Werkstatt zum Übungsareal

schnitt A-A



schnitt B-B



schnitt C-C



## Hörsaal (schaubild)

15 personen

Lichteinfall quer

Über 2 Ebenen, 2 permanente Ränge im  
Bereich der Stufen

Beamer

Licht von den Seiten - Querlüftung

Computerecke

externe Vorträge, Filmvorführung

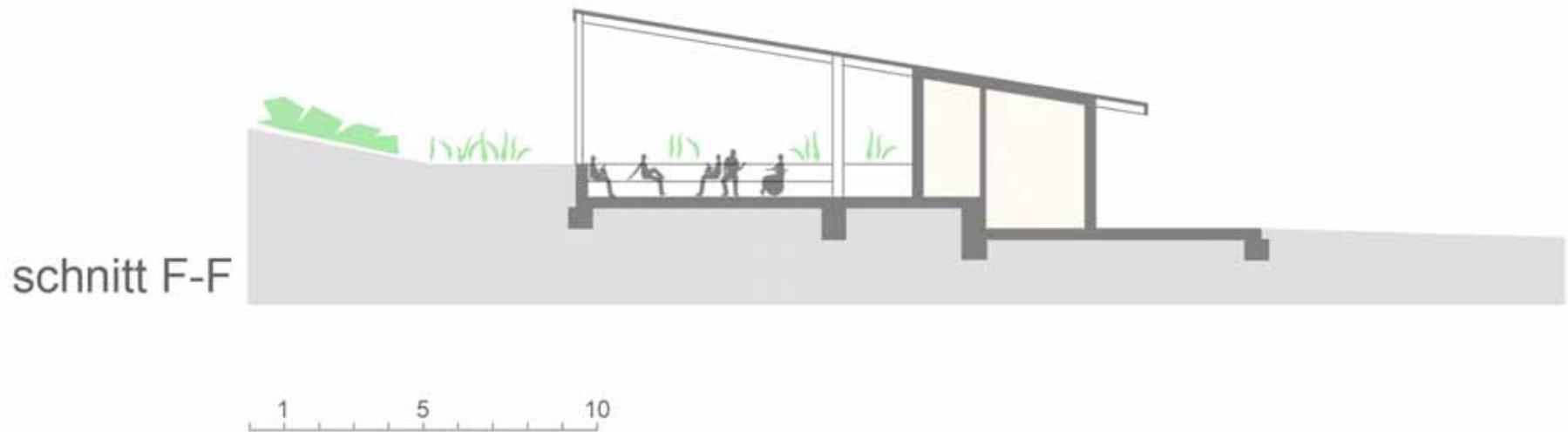
schnitt D-D

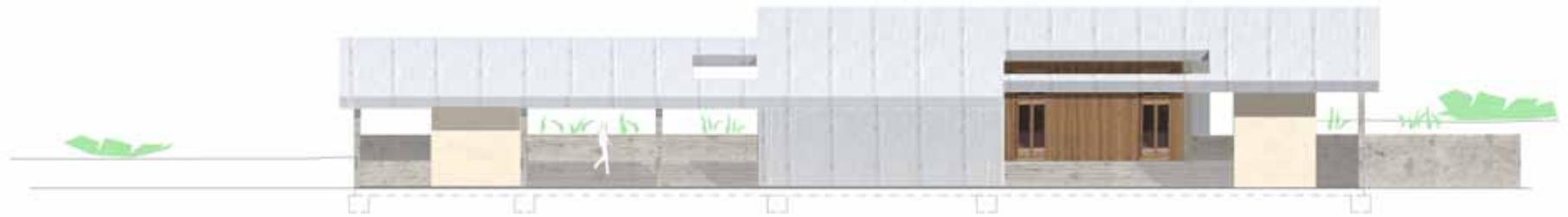


schnitt E-E



Pausenraum





ansicht NORD

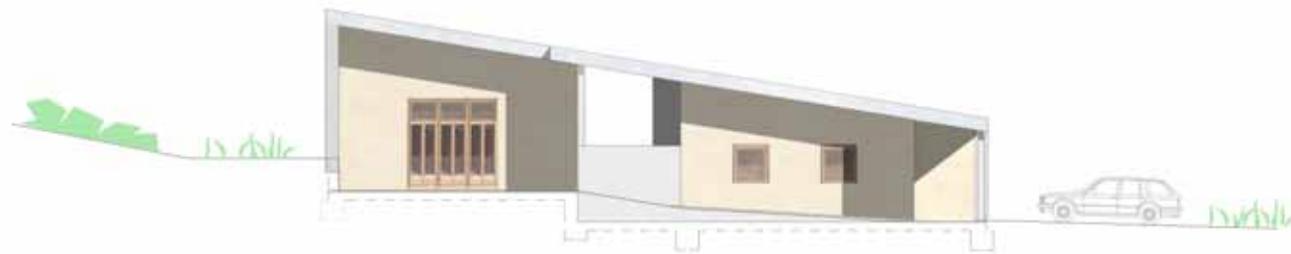




ansicht WEST



ansicht SÜD



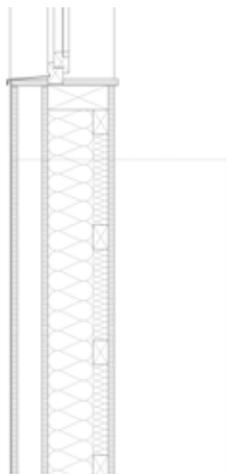
ansicht OST

### **Bauteile/Details**

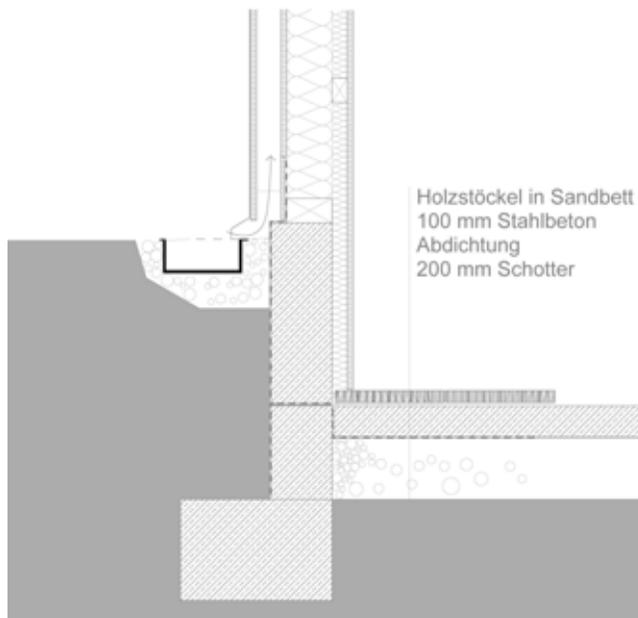
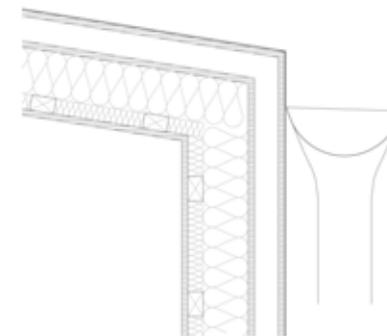
hinterlüftete Blechdeckung (verzinkt) –  
Hinterlüftung verhindert, dass sich unter dem  
Blech Feuchtigkeit ansammelt (Dataholz.com)

### **Entwässerung**

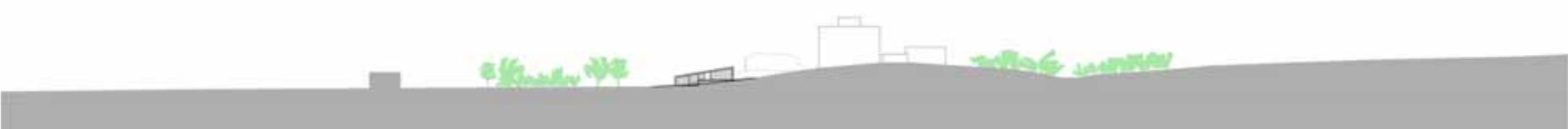
Rigol – Entwässerungsrinnen, bzw. Gräben –  
abfallendes Gelände vom Gebäude weg  
ausreichende Dimensionierung der  
Falleitungen zur Regenwasserabfuhr  
Dachrinnen  
Schutz vor aufsteigender Feuchtigkeit  
Verschattung wesentlich – Dachüberzug



- Blecheindeckung
- 24,0 Vollschalung aus Holz
- 80,0 Konterlattung u. Hinterlüftung
- Unterspannbahn
- 22,0 Holzweichfaserplatte
- 150 Konstruktionsholz
- bzw. Strohballendämmung (mit Lehm beh.)
- Dampfbremse
- 50,0 Querlattung
- bzw. Dämmung
- 20,0 OSB-Platte
- 20,0 OSB-Platte



- Holzstöckel in Sandbett
- 100 mm Stahlbeton
- Abdichtung
- 200 mm Schotter





Gangzone zwischen Hörsaal und Werkstatt



## Abbildungsverzeichnis

Abb 1 Diewald, Gloria

Abb 2 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.20

Abb 3 Bäckmann, R.: Sonnenschutz III, Bochum, 2000, S.139

Abb 4 Diewald, Gloria

Abb 5 Mayer, Florian

Abb 6 URL [http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-55660717-canilla-electrica-lorenzetti-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-55660717-canilla-electrica-lorenzetti-_JM),  
19.09.2009

Abb 7 Mayer, Florian

Abb 8 Diewald, Gloria

Abb 9 Schober, Hannes

Abb 10,11 Schober, Hannes

Abb 11 Schober, Hannes

Abb 12 Meyers Großer Weltatlas, Mannheim, 2008, S.209

Abb 13 URL [www.transamerika.org/media/Karten/Bolivien](http://www.transamerika.org/media/Karten/Bolivien), 05.09.2009

Abb 14 Lengauer, Karin

Abb 15 Lengauer, Karin

Abb 16 Ronald Zak/AP, <http://www.findingdulcinea.com/news/international/2009/march/Morales-Calls-for-Decriminalization-of-Coca.html>, 26.09.2009

Abb 17 - 20 Schober, Hannes

Abb 21 Protzen, J.-P.: Die Architektur der Inka, in: Das Inka-Reich, Zürich, 1994, S. 203

Abb 22 ebenda

Abb 23-25 Schober, Hannes

Abb 26 Gisbert, T.; de Mesa, J.: Monumentos de Bolivia, La Paz, 2002, S.153

Abb 27 Gisbert, T.; de Mesa, J.: Arquitectura Andina, La Paz, 1997, Tafel S.352

Abb 28 Schober, Hannes

Abb 29 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.83

Abb 30 Gisbert, T.; de Mesa, J.: Monumentos de Bolivia, La Paz, 2002, S.303

Abb 31 Schober, Hannes

Abb 32 Schober, Hannes

Abb 33 URL <http://www.payer.de/bolivien2/boliv02599.gif>, 20.09.2009

Abb 34 Schober, Hannes

Abb 35 Gisbert, T.; de Mesa, J.: Monumentos de Bolivia, La Paz, 2002, S.227

Abb 36 Publikation "Boletin Solar 5 Marzo 2009"

Abb 37 Google Earth, Grafik nachbearbeitet vom Autor  
Abb 38 ebenda  
Abb 39 -48 Schober, Hannes  
Abb 48 Enz, D., Hasstings R.: Innovative Wandkonstruktionen, Heidelberg, 2006, S. 137  
Abb 49 - 52 Schober, Hannes  
Abb 53 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.63  
Abb 54 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.46  
Abb 55 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.28  
Abb 56 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.92  
Abb 57 Schober Hannes  
58 Schober Hannes  
Abb 59 Wachberger, M. u. H.: Mit der Sonne bauen: Anwendung passiver Sonnenenergie,  
München, 1983, S.10  
Abb 60 Wachberger, M. u. H.: Mit der Sonne bauen: Anwendung passiver Sonnenenergie,  
München, 1983, S.10  
Abb 61 Enz, D., Hasstings R.: Innovative Wandkonstruktionen, Heidelberg, 2006, S.116

## Literaturverzeichnis

- 1 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.20,21
- 2 URL [http://www.wksimonsfeld.at/wks/front\\_content.php](http://www.wksimonsfeld.at/wks/front_content.php), 17.08.2009
- 3 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S. 16
- 4 Helfritz, H.: Südamerika: präkolumbianische Hochkulturen, Köln, 1973, S. 57-60
- 5 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S. 17
- 6 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S. 42,43
- 7 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S. 16
- 8 Protzen, J.-P.: Die Architektur der Inka, in: Das Inka-Reich, Zürich, 1994, S. 217
- 9 Gisbert, T.; de Mesa, J.: Arquitectura Andina, La Paz, 1997, S. 14, 27
- 10 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S. 71
- 11 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.75
- 12 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.76
- 13 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.72
- 14 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.195
- 15 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.10
- 16 Cuadra, M.: Architektur in Lateinamerika, Darmstadt, 1991, S.87
- 17 Kirst, D.: Peru-Bolivien, Köln, 2001, S. 264
- 18 Huber Abendroth, H.: Der 'Wasserriegel' von Cochabamba, 2004, Wien, S. 1-5
- 19 Minke, G.: Das neue Lehm-Bau-Handbuch, Staufen b. Freiburg, 2001, S. 19-21
- 20 Rudofsky, B.: Architektur ohne Architekten: Eine Einführung in die anonyme Architektur, Salzburg/Wien, 1989
- 21 Fischer, Freymuth, Häupl u. a.: Lehrbuch der Bauphysik, Wiesbaden, 2008, S. 752-754
- 22 Behling, S. U S.: Sol Power, München/New York, 1996, S. 44
- 23 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.26-28
- 24 Behling, S u. S.: Sol Power, München/New York, 1996, S.36
- 25 Treberspurg, M.: Neues Bauen mit der Sonne; Wien/New York, 1994, S. 9
- 26 Wachberger, H.: Handbuch für passive Sonnenheizsysteme, Wien, 1983, S. 69
- 27 Enz, D., Hasstings R.: Innovative Wandkonstruktionen, Heidelberg, 2006, S.116
- 28 ÖISS, Richtlinien für den Schulbau
- 29 URL [http://www.wunderground.com/history/wmo/85223/2008/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2008&req\\_city=NA&req\\_state=NA&req\\_statename=NA](http://www.wunderground.com/history/wmo/85223/2008/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2008&req_city=NA&req_state=NA&req_statename=NA), 10.09.2009