

# Form statt Technik

## Untersuchung zur Ersetzung der Haustechnik durch architektonische Maßnahmen

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grades  
„Master of Engineering“

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

Arch. Francesca Bocchini

1229239

Wien, 29. März 2016

## Eidesstattliche Erklärung

Ich, **ARCH. FRANCESCA BOCCHINI**, versichere hiermit

1. dass ich die vorliegende Master These, "FORM STATT TECHNIK. UNTERSUCHUNG ZUR ERSETZUNG DER HAUSTECHNIK DURCH ARCHITEKTONISCHE MASSNAHMEN", 69 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 29.03.2016

---

Unterschrift

## **Danksagung**

Mein größter Dank geht an Paul, der mich ermuntert hat, dieses Studium aufzunehmen und mich immer weiter mit Wort und Tat unterstützt hat.

Danke an meinen Töchter, Alma und Elena, die geduldig eingesehen haben, dass die Mama lernen muss. Danke an meine Schwiegereltern Cilli und Franz, die mir sehr geholfen haben, die Geduld von meinen Töchtern nicht zu überstrapazieren.

Danke an Sandra und Santi für ihre herzliche und unproblematische Gastfreundlichkeit.

Danke an Marta und Dieter, die meiner Teilnahme an den Masterprogramm und die damit verbundene Abwesenheiten im Büro zugestimmt haben.

Danke an Frau Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stieldorf für die wertvolle Betreuung bei dieser Masterarbeit.

## Kurzfassung

Im Sinne der Nachhaltigkeit stellen die gebäudetechnischen Anlagen eine Schwachstelle der Bausubstanz dar.

Es liegt in der Natur technischer Geräte kurzlebig zu sein:

- weil sie schnell altern, da die Technik eng verbunden mit dem Fortschritt ist;
- weil sie Produkte sind, die in einer Marktwirtschaft zu den Konsumgütern zählen
- weil Anlagen und Maschinen intensive Wartung benötigen, um die versprochene Leistung zu garantieren
- wegen der eingebauten Obsoleszenz

Es wird schon seit längerer Zeit immer wieder für die Reduktion des Haustechnik-Ausbaus plädiert, einerseits aus Rohstoffmangel, andererseits wegen der aufwändigen Handhabung und Instandhaltung bzw. auch aus ökologischen Gründen. Die Umsetzung dieser Forderung scheint auf jeden Fall aus mehreren Gesichtspunkten sinnvoll zu sein.

Ausgehend von der Beschreibung der Entwicklung der Haustechnik in Zusammenhang mit der Architekturgeschichte will diese Arbeit die Auswirkungen und die Korrelationen erfassen, die zur Interdependenz zwischen Architektur und TGA geführt haben.

Anhand sorgfältig ausgewählter Beispiele wird präsentiert, welche Planungsmethoden und architektonischen Lösungen eine deutliche Reduktion des haustechnischen Anteils ermöglichen. Aus dieser Analyse wird ersichtlich, wie eine konsequente klimabewusste Gestaltung kombiniert mit dem Einsatz neuer, leistungsfähiger Materialien und Bauteilen zur Planung architektonisch wertvollen Gebäuden führt, die ohne bzw. mit einem sehr geringem Einsatz von HT-Systemen ein hervorragendes Raumklima, sehr gute Wirtschaftlichkeit (im Hinblick auf den gesamten Lebenszyklus) und eine effiziente energetische Leistung kombinieren.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
1.1	Architektur und Haustechnik.....	2
1.2	Fragestellung und Ziel der Arbeit.....	3
1.3	Struktur der Arbeit.....	5
2	Stand der Forschung.....	6
3	Methodik und Vorgehensweise.....	9
4	Problemstellung.....	10
4.1	Historischer Abriss.....	10
4.1.1	Das Passivhaus.....	16
4.2	Vernakuläre Architektur.....	19
4.2.1	Ein paradigmatisches Beispiel: das Kinzigtäler Haus.....	21
4.3	Solararchitektur.....	25
4.3.1	Zwei Einfamilienhäuser in Trin (CH).....	28
4.4	Kybernetische Architektur.....	33
4.4.1	Wohnen im Kollektor: Das Patchworkhaus in Müllheim (DE).....	35
4.5	Lustenau 2226 - Ein Gebäude als Manifest.....	40
4.6	Think global, build social!.....	45
4.6.1	Die Schule in Gando (Burkina Faso).....	48
5	Diskussion und Planungsempfehlungen.....	52
5.1	Tabellarische Übersicht.....	54
5.2	Beschreibung der einzelnen Maßnahmen.....	56
5.2.1	Morphologische Anpassung an das Standortklima.....	56
5.2.2	Speichermasse.....	57
5.2.3	Nachtlüftung.....	58
5.2.4	Natürliche Lüftung.....	58
6	Schlussfolgerungen.....	61
6.1	Automation statt Leitungen: die Digitalisierung der Haustechnik.....	61

6.2	High-Tech Planung für Low-Tech Gebäude .....	62
7	Literaturverzeichnis .....	64
8	Abbildungsverzeichnis.....	68

*Welche Energieverschwendung, welch ein Aufwand,  
um zu lüften, zu heizen, zu beleuchten...  
wenn ein Fenster genügt.*

Luigi Snozzi

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Architektur und Haustechnik

*„Technik hat die architektonischen Probleme verursacht, die nur sie lösen kann.“*  
(Kai Babetzki – Transsolar, aus dem Interview in „Architektur für die Energie-Autonomie. Was ist heute machbar“, Radio Ö1, Sendung vom 14.10.13)

Die Haustechnik ist, wie Technik allgemein, neutral. Ihre Anwendung beim Bauen hat eine signifikante Erhöhung der Behaglichkeit sowie die Errichtung bemerkenswerter Gebäude ermöglicht. Ein Gebäude ohne fließendes Warmwasser oder Strom ist heute nicht mehr denkbar. Die Bereitstellung von Warmwasser ist durch einfache Technologie und den ausschließlichen Einsatz von erneuerbaren Energiequellen problemlos möglich. Photovoltaik-Anlagen zählen allmählich zur Standard-Gebäudeausstattung und stellen bis dato die einzige Möglichkeit dar, um Strom dezentral zu erzeugen und die fossile Stromproduktion ohne tiefgreifende Umstrukturierungen zu entlasten. Auch Aufzüge und Rolltreppen sind aus der Baupraxis nicht mehr wegzudenken. Die Selbstverständlichkeit jedoch, mit der die technische Gebäudeausrüstung als Antwort auf eine immer breiter werdende Palette baulicher Probleme eingesetzt wird, hat die architektonischen Lösungsmöglichkeiten aus dem Bewusstsein der Planer gedrängt. Insbesondere die Themen Komfort und Raumklima scheinen gänzlich von der Haustechnik abhängig zu sein.

Im Energie Atlas wird der aktuelle Stand der nachhaltigen Technik mit einem gewissen Stolz auf diese Weise zusammengefasst: *„Durch den Einsatz von Biomasse, Systemen zur Kraft-Wärme-Kopplung, individuell gefertigten Photovoltaikmodulen, solarthermischen Kollektoren sowie effizienten Speichersystemen und Regelungstechniken ist es inzwischen ohne großen Mehraufwand möglich, ein Gebäude CO<sub>2</sub>-neutral zu betreiben.“* (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 113)

Aus diesem Satz ist deutlich ablesbar, dass die Untrennbarkeit von Haustechnik und Gebäude nicht weiter hinterfragt wird – sogar von den Vertretern der nachhaltigen Architektur. Das Erreichen von Netto-Nullenergiegebäuden als Baustandard ist ohne Zweifel ein wichtiger Erfolg, der allerdings lediglich als Fortschritt und nicht als endgültiges Ziel betrachtet werden muss. Der CO<sub>2</sub>-neutrale Betrieb eines Gebäudes blendet den hohen Grauenergie- und somit CO<sub>2</sub>-Anteil der vielen Systeme aus, die

zur Bereitstellung der erneuerbaren Energien erforderlich sind. Darüber hinaus wird weder die Wartungsintensität noch die Kurzlebigkeit aller technischen Anlagen nicht erwähnt.

Damit ein architektonisches Projekt wirklich gelingt, muss es von den Nutzern angenommen werden. Die Aneignung einer Architektur ist der erste Schritt zur Erfüllung ihrer Bestimmung. Komplizierte haustechnische Systeme sind oft Hürden auf diesem Weg: Sie stellen ein Hindernis in der Nutzung eines Gebäude dar, weil das Verstehen ihrer Funktionsweise nur für Fachleute möglich ist.

## 1.2 Fragestellung und Ziel der Arbeit

Der Energiebedarf eines Gebäudes wird in erster Linie von nicht beeinflussbaren Faktoren wie Standort, Funktion und Nutzeranforderungen bedingt. Dennoch können rein architektonische Entscheidungen und generell planerische Festlegungen bezüglich Gebäudeform, Außenhülle, Materialauswahl, Energiekonzept usw. den Energieverbrauch maßgeblich reduzieren, nicht zuletzt weil die Planung das gesamte Lebenszyklus prägt.

In diesem Zusammenhang wird hier die Frage gestellt, ob sich die Architektur von der Haustechnik emanzipieren kann ohne auf die Standards der Behaglichkeit verzichten zu müssen.

Schon seit längerer Zeit wird untersucht "in welchem Umfang Energiedienstleistungen durch technische Systeme bereitgestellt werden müssen". Die Reaktionen darauf verfolgen zwei entgegengesetzte Strategien. Der eine Ansatz, im allgemeinen Sprachgebrauch als *Hightech*-Strategie bekannt, *„orientiert sich an den jeweiligen technologischen Mitteln, um eine optimale Funktionsweise zu gewährleisten, wobei auch zahlreiche Energiesysteme, Klappen, Ventile, Sensoren etc. ein adaptives Verhalten ermöglichen. Diese werden von einer komplexen Software gesteuert, die in Abhängigkeit von klimatischen Randbedingungen und Nutzerverhalten die optimale Regelstrategie sicherstellt.“* (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 61) Die *Low-Tech*-Strategie dagegen *„zielt darauf ab, über die städtebauliche Anordnung sowie eine energieoptimierte Gebäudeform und –hülle, die Nutzungsverteilung und die Materialwahl das Gebäude so zu gestalten, dass die gewünschten Bedingungen – ggf. mit geringen Abstrichen bezüglich des Optimums – mit einem Minimum an Technik erreicht werden.“* (ebenda)

Diese Arbeit möchte einen Beitrag im Sinne der *Low-Tech*-Strategie leisten. Um Gebäude planen und realisieren zu können, die eine hohe Behaglichkeit mit einer möglichst reduzierten technischen Ausrüstung vereinen, muss klar werden, dass Gestaltung, Komposition und Materialität sowohl formale als auch klimatische und energetische Instrumente sind.

Das Thema ist facettenreich und der Untersuchungsfeld leicht dehnbar. Hier werden daher die Kriterien aufgezählt, die den Rahmen dieser Arbeit definieren:

**Thermischer Komfort:** Die Fragestellung bezieht sich auf dem thermischen Komfort. In der Betriebsphase jedes Gebäude ergibt sich ein nutzungsabhängiger Stromverbrauch für die verschiedene elektrische Geräte (z.B. Erschließungssystem, Telekommunikation, Haushaltgeräte) und die Beleuchtung; bei industriellen Nutzungen kommt noch die Produktionsbedingte Prozess-Energie dazu. Während ein behagliches Innenraumklima ohne technologische Hilfestellung erreichbar ist (siehe Kap. 5.3.1), kann die Bereitstellung der Nutzerenergie nur mit dem Einsatz einer technischen Anlage erfolgen. Im besten Fall können solche Energielasten durch gebäudeintegrierte Technologien und Nutzung erneuerbaren Quellen gedeckt werden. In dieser Richtung geht die Entwicklung von Plus-Energie- und noch weiter von energieautarken Gebäuden

**Maßstab I:** Städtebau und Raumplanung stellen die Voraussetzungen für die Machbarkeit behaglicher und gleichzeitig *Low-Tech*-Gebäude. Schon in „*De architectura libri decem*“ vom Vitruv wird beschrieben wie die „*Wahl des Siedlungsortes, deren Ausrichtung, Wege- und Baufeld-Strukturen (...) die Gesundheit der Stadt, ergo das gesunde Leben* (bedingen). *Der Schluss liegt nahe, dass die kluge Stadtstruktur die Struktur des Einzelhauses bedingt*“ (Tersluisen, 2012, S. 9). Eine angemessene Betrachtung dieses Themas würde allerdings über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen.

**Maßstab II:** Die ausgewählten vorbildlichen Beispiele sind immer einzelne Gebäude. Man hätte auch größere Projekte analysieren können, wie z.B. die Wohn- und Büroanlage BedZED im Süden von London. Bei größeren Komplexen können maßstabbedingt Synergien entstehen, die gewissermaßen die energetische Autarkie innerhalb der Anlage erleichtern. Ein alleinstehendes und energieautarkes Gebäude zu planen ist die größere Herausforderung und schwierigere Aufgabe.

### 1.3 Struktur der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit werden die historischen Hintergründe aufgezeigt, die zur Entstehung der Haustechnik als eigenständige Disziplin geführt haben. Weiters werden die positiven und negativen architektonischen Auswirkungen beschrieben, die der Einzug der Haustechnik in die Baupraxis verursacht hat, von der globale Verbreitung des International Style bis zum Passivhaus.

Zur Problemstellung werden in chronologischer Reihenfolge fünf architektonische Strategien präsentiert, die Vorbildcharakter in Bezug auf die Minimierung der Haustechnik haben. Jeder Ansatz wird sowohl allgemein als auch im Detail mit Hilfe eines *best practice* Beispiels beschrieben.

Die fünf exemplarischen Ansätze sind:

- Vernakuläre Architektur
- Solararchitektur
- kybernetische Architektur
- Der Einzelfall Lustenau 2226
- *Think global, build social!*

Diese unterschiedlichen und komplexen architektonischen Haltungen werden im Kapitel „Diskussion und Planungsempfehlungen“ in ihren Grundhandlungen zerlegt und im Hinblick auf das energetische und klimatische Verhalten analysiert. Aus der tabellarischen Zusammenfassung der verschiedenen Strategien wird ersichtlich, dass sich einige Maßnahmen strategieübergreifend bewährt haben. Diese Maßnahmen – morphologische Anpassung an das Klima, Speichermasse, natürliche Lüftung und Nachtkühlung – werden daher vertieft und als Planungsempfehlungen für die Umsetzung einer Architektur ohne Haustechnik formuliert.

Im letzten Kapitel wird auf die Gebäudeautomation und neuen Planungsinstrumente hingewiesen, die eine positive Auswirkung auf die verstärkte Durchsetzung des Low-Tech Ansatzes haben werden.

## 2 STAND DER FORSCHUNG

Über die Sinnhaftigkeit der HT-Minimierung herrscht allgemeiner Konsens, von der praxisorientierten German Facility Management Association (GEFMA) bis zur theoretischen Position von ARCH+, einem der wichtigsten Architektur Zeitschriften Deutschlands.

jährliche Kosten der Nutzungsphase	Investitionskosten	
	niedrig	hoch
niedrig	z.B. Technikvermeidung durch bauliche Maßnahmen	z.B. Wärmedämmung
hoch	z.B. Baumaterialien mit geringer Lebensdauer	z.B. überdimensionierte technische Anlagen

Abbildung 1: Verhältnis Investkosten – Nutzungskosten (Quelle GEFMA)

### ARCH+

ARCH+ hatte bereits 1987 mit der Veröffentlichung der monographischen Ausgabe über Hassan Fathy gegen die Technikgläubigkeit des International Style Stellung genommen. Chefredakteur Nikolaus Kuhnert hält im Editorial fest, wie die programmatische Autonomie von der Natur, die zur formalen Entmaterialisierung der Modernen Architektur geführt hat, nur dank eines enormen energetischen Aufwands möglich war. Es wurde Masse mit Energie ersetzt. Dagegen ist der pragmatische Ausgangspunkt von Fathys Architektur das „*Bauen mit der Natur*“. Die technischen Lösungen der Moderne sind für die Menschen in den Entwicklungsländern nicht leistbar. „*Es gibt deshalb ein echtes Bedürfnis, die traditionellen, auf natürlichen Quellen basierenden Systeme weiterzuentwickeln. Die traditionellen Konzepte sollten wissenschaftlich bewertet und so verändert werden, dass sie modernen Bedürfnissen genügen.*“ (Fathy, 1987, S. 36)

Fathys Name ist seither Synonym „für die Wiedergeburt der Tradition, (...) für die Erneuerung des Lehmbaus und für die Rückkehr zu natürlichen Energien. In diesem Sinne funktionieren seine Häuser wie eine „natürliche“ Klimaanlage, die durch

*Bauformen und Disposition, bsp. Durch Malqaf, Windauslaß und Dur-qa'a leisten, was die Moderne nur noch durch ein immer Mehr an Technik vermag – ein Haus im Winter zu wärmen und im Sommer zu kühlen“ (Kuhnert, Moderne und Tradition, 1987)*

In den 1990er Jahren, unter der Leitung von Philipp Oswald, verfolgte ARCH + dieser Haltung weiter und auch heute immer noch: die Ausgabe 211/212 aus dem Jahr 2013 galt als Katalog zur Ausstellung *Think global, build social!* von Andres Lepik.

### **TRANSSOLAR**

Mit dem Büro Transsolar wurde 1992 in Stuttgart das Klima Engineering geboren. Thomas Lechner, Matthias Schuler und Peter Voit, drei Physik-Forscher an der Universität Stuttgart, wurden damals von der Stadt mit einer Studie zur Sonnenenergienutzung für nachhaltige Wohngebäude beauftragt. Dabei erkannten sie den Bedarf an einer professionellen Figur und Arbeitsweise, die die Synergien und Auswirkungen zwischen Klima, Architektur und technischen Systemen erfassen und kontrollieren konnte. Was sie anbieten wollten ging über die klassische Leistung des HT-Ingenieurs hinaus, daher nannten sie ihr berufliches Tun *KlimaEngineering*. Transsolar steht seither *„für klimagerechtes Entwerfen und Bauen: der Nutzung klimatischer und topographischer Standortfaktoren für passive Strategien und maximalen Nutzerkomfort.“* (Transsolar KlimaEngineering)

Transsolar betrachtet die Nachhaltigkeit eines Gebäudes oder einer gebauten Umgebung als Ergebnis vom guten Design und immer in Abhängigkeit mit der Nutzerwahrnehmung. Einer der Verdienste von Transsolar ist die wissenschaftliche Kritik an dem blinden Technikvertrauen, die sie mit Hilfe der von ihnen entwickelten Simulations-Software TRNSYS vor Augen führten.

Sie sind strenge Verfechter der integralen Planung und der passiven Entwurfsstrategien. Ihr Motto ist: High Comfort, Low Impact.

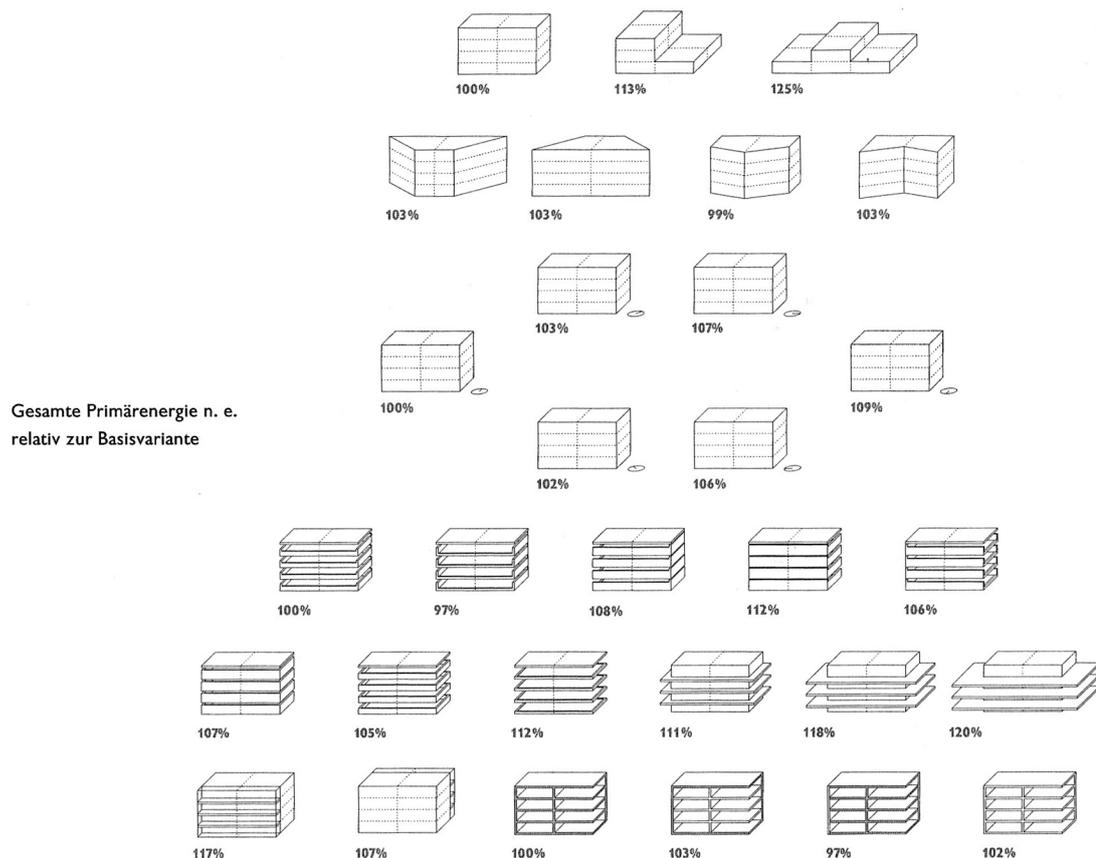
### **DIE HOCHSCHULE LUZERN**

Ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeitsdebatte der Hochschule Luzern ist die Betonung, neben der klassischen Betrachtung des Kontextes im Sinne von *genius loci* (Christian Norberg-Schulz), der Wichtigkeit des klimatischen Kontextes. Die Schule hat 2009 die erste und 2014 die zweite Auflage von „Klima als Entwurfsfaktor“ publiziert: dort werden *„räumlich-architektonische Antworten auf die*

*Klima- und Energiefrage. (...) (gesucht. Dabei) handelt es sich um Werkzeuge für Architekten und Planer im Entwurf.“ (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 16)*

Die Wirkungsweise der architektonischen Werkzeuge wird mit Simulationsunterstützten Körperstudien untersucht: angefangen von der Volumetrie und Proportionen eines Gebäudes, dessen Orientierung, der Disposition und Anteil der Fenster bis zur Bauweise und physikalischen Eigenschaften der Außenhülle. Die Kernaussage ist: Klima und Kultur sind die wichtigsten Entwurfsparameter. Die integrale Planung, unterstützt durch Computersimulationen, ist die zielführende Arbeitsweise zur Umsetzung der sogenannten Einfühlungsmethode, „ein Low-Tech-Ansatz, der mittels der Form und dem Raum selbst auf das Klima zu reagieren versucht.“ (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 34)

*„Der Ausgleich zwischen Außen und Innen, zwischen Klima und Komfort wird mit intelligenten, primär räumlich-baulichen Mitteln unter Einbezug von Physik, Biologie und Technik erreicht.“ (ebenda, S.34)*



**Abbildung 2: einige Körperstudien aus dem Gebäudezoo von "Das Klima als Entwurfsmittel" (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 79)**

### 3 METHODIK UND VORGEHENSWEISE

Um auf die vielen Potenziale der Form und Gestalt eines Gebäudes aufmerksam zu machen, beschäftigt sich diese Arbeit ausschließlich mit Methoden, Strategien und Beispielen einer Architektur, die aus unterschiedlichen Motivationen heraus auf die Klimatechnik verzichtet.

In Folge eines literarischen Studiums von verschiedenen Quellen (Berichte von Forschungsprojekten, Dissertationen, Publikationen von Symposien, Architekturfachzeitschriften und Nachschlagwerke zum Thema Nachhaltiges Bauen) konnten fünf signifikante Haltungen herauskristallisiert werden. Für jede wurde ein Gebäude ausgewählt, das als paradigmatische Umsetzung dieser Strategie gelten konnte. Diese ausgewählte *best practice* Beispiele sind sehr heterogen in Bezug auf Funktion, Standort, Epoche, Bauweise, weisen aber folgende ausschlaggebenden Gemeinsamkeiten auf:

- kein (oder nur ein vernachlässigbares) haustechnisches System
- gute Behaglichkeit
- architektonische Qualität

In Rahmen der Analyse der fünf Gebäuden wurden die Maßnahmen zur Vermeidung von Klimatechnik tabellarisch gegenübergestellt und die am meisten verwendeten abschließend als Planungsempfehlungen vertieft.

## 4 PROBLEMSTELLUNG

### 4.1 Historischer Abriss

„Die Explosion des Urbanen erschafft die Moderne. Zu Beginn des Industriezeitalters spielt Umwelt keine Rolle, allein das machbare gilt. Technische Materialien und maschinelle Techniken ermöglichen, was Architekten früher nur zu träumen wagten.“ (Thierfelder, 2003, S. 59)

Diese kurze Architekturgeschichte aus der Perspektive der Haustechnik beginnt mit der Industrialisierung und dem darauffolgenden raschen und schwer kontrollierbaren Wachstum der Städte. Der kombinierte Druck der Wohnungsnot und der liberalen Wirtschaft verwandelte innerhalb von wenigen Jahrzehnten ganze Stadtteile in einem vorher nie dagewesenen Ausmaß. Die konventionelle Bauweise zusammen mit dem liberalistischen Städtebau hatten zum Versagen der Städte beigetragen. Das Proletariat musste in dunklen, ungesunden und überbevölkerten Wohnvierteln hausen, die ein günstiges Milieu zur Ausbreitung von physischen und psychischen Krankheiten waren.

Gegenüber diesem Misserfolg wendete sich die Architektur von der Tradition ab. Von Howards *Gardencity*-Bewegung in England über Garniers *Cité industrielle* in Frankreich bis hin zu Sorias *Ciudad Lineal* in Spanien, war die europäische Architektur auf der Suche einer Neuerfindung und dafür widmete sie sich dem, was die deutsche Gruppe Neues Bauen am Anfang des 20. Jahrhunderts zu ihrem Motto gemacht hatte: Licht, Luft und Sonne.



Abbildung 3: Die alte und die neue Stadt, aus der Charta von Athen (1929), (Hegger et al., 2007)

Mit Licht, Luft und Sonne wollten die Architekten nicht nur den Körper, sondern auch den Geist der Menschen heilen. Die neuen ästhetischen und ethischen Ideale der

Transparenz, Klarheit, Effizienz, Reproduzierbarkeit, unterstützt vom Glauben an eine uneingeschränkte technische Machbarkeit bestimmten eine neue Formensprache und führten zur Entstehung der Modernen Architektur. Die technischen Fortschritte und Neuerungen spielten dabei eine wichtige Rolle „z.B. in der Materialentwicklung oder in der konstruktiven und bauprozessbezogenen Optimierung des Bauens“ (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 146). Der Kristallpalast von Joseph Paxton (1851) und der Tour Eiffel (1878) verkörpern auf beeindruckende Weise den Auftakt dieser neuen Ära der Architekturgeschichte.

Glas, Stahl und Beton wurden die Materialien, die am besten die formalen Ansprüche der Architekten gleichzeitig mit den wirtschaftlichen Forderungen der Industrie erfüllen konnten. Ganz im Sinne des Bauhauses kam es zu fruchtbaren Kooperationen zwischen Architekten und Industrie. Fast alle Meister der Moderne beschäftigten sich mit Vorfertigung Systeme: Le Corbusier entwickelte 1917 das Haus Domino, Gropius beschäftigte sich über seine ganze Karriere mit Studien für Fertighäuser; Jean Prouvé, Richard Buckminster Fuller und später Fritz Haller arbeiteten an modulare Stahlbausysteme in unterschiedlichen Maßstäben, vom Bücherregal bis hin zur Halle.

Die Wissenschaftlichkeit, die Liebe zur Maschine und Technik fanden jedoch hauptsächlich in der Ästhetik Ausdruck und abgesehen von einzelnen Fällen, schafften es nicht bis zur Entwurfsmethode einzudringen. Rationalismus und Funktionalismus brachten eine neue formale Sprache hervor, die vom Wohnungsgrundriss bis zum städtebaulichen Plan alles umwälzte, und beschränkte sich allerdings auf die Umgestaltung der sichtbaren Oberfläche, ohne die Arbeitsweise der Architekten anzutasten.

*„Das 19. Jahrhundert hat mit seinen Ingenieurbauten eine technische Architektur begründet. Mit der sogenannten modernen Architektur der 20er Jahre versuchte man mehr im Sinne von Kunst tätig zu sein, Technik mit ästhetischen Doktrinen (...) zu verbinden. Diese Architektur (...) verstand auch die Technik mehr ästhetisch, als neue Freiheit, mit neuen Mitteln und neuen Materialien alte Ansprüche zu erfüllen.“* (Aicher, 1995, S. 102)

*„Die Architekten des ‚Neues Bauens‘ waren mit ihrem Wunsch, wissenschaftliche Erkenntnisse und technisch-ingenieure Methoden für das Bauen fruchtbar zu machen, gescheitert, weil sie nur die Ästhetik der ‚Ingenieurbaukunst‘ übernahmen, sich aber für die Arbeitsweise der Ingenieure nicht interessierten. Aus der Beaux-*

*Artes Tradition kommend verstanden sie sich nach wie vor als Künstler, die lediglich die ästhetischen Möglichkeiten der neuen Materialien untersuchten und mit diesen eine neue Formensprache begründeten. (...) Die konkreten Bedingungen des jeweiligen Ortes und der spezifischen Bauaufgabe wurden meist ignoriert.“ (Oswalt P. , 1990; Ungers, 2006)*

So verbreitete sich bereits ab Anfang des 20. Jahrhundert der von Johnson und Hitchcock im 1932 getaufte International Style, der seine Internationalität auch dem massiven Einsatz der technischen Gebäudeausrüstung zu verdanken hat: Nachdem die Haustechnik in der Lage ist, überall die optimalen Komfortbedingungen herzustellen, kann auf der ganzen Welt die gleiche Architektursprache gesprochen werden<sup>1</sup>.

Die heute so ausgeprägte Dichotomie eines jeden Entwurfs zwischen Form und Technik entstand konkret gleichzeitig mit der modernen Architektur: das Gebäude wird in erster Instanz vom Architekten gestaltet, und daraufhin von einer kleinen Gruppe von Spezialisten (Haustechniker, Lichtplaner, Bauphysiker, Brandschutztechniker) so ausgerüstet, dass es den Komfort-Kriterien und Qualitätsvorgaben entspricht.

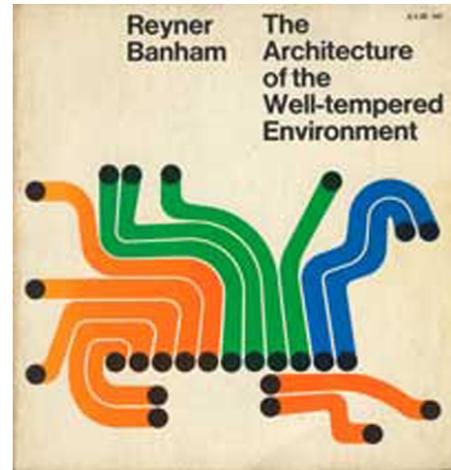
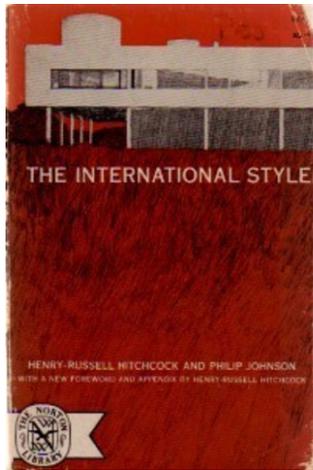
Schon 1969 hat Reyner Banham in „The Architecture of the Well-tempered Environment“ auf zwei Paradoxe des International Style hingewiesen:

- als Folge einer Ästhetik der strukturellen und funktionellen Ehrlichkeit und Klarheit werden die abgehängten Deckensysteme entwickelt, um die akustische, klimatische und lichttechnische Versorgung der Räume zu kaschieren.
- *„In den 60er Jahren waren die Architekten von der Idee des Außenbordmotors begeistert, als Prototyp fortschrittlicher Technik: ‚Mit*

---

<sup>1</sup> *„In der frühen baugeschichtlichen Entwicklung haben sich in den unterschiedlichen Klimazonen der Erde Bauformen und Konstruktionen entwickelt, die im engen Zusammenhang mit den ortsspezifischen klimatischen Gegebenheiten stehen. Im Gegensatz dazu ist die Architektur des »International Style« vielfach dadurch geprägt, dass umfangreiche technische Systeme die gewünschte Innenraumbedingungen an jedem beliebigen Standort mit entsprechendem energetischen Aufwand gewährleisten.“ (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 82)*

*einem Außenbordmotor lässt sich praktisch jedes schwimmende Objekt in ein steuerbares Schiff verwandeln. Ein kleines, konzentriertes Maschinenpaket verwandelt ein undifferenziertes Gebilde in einen Gegenstand mit Funktion und Zweck.“ (Oswalt P. , Einleitung, 1995, S. 9)*



**Abbildung 4: *The International Style* Ausstellungskatalog und Banhams "The Architecture of the Well-tempered Environment"**

Als Vorbild einer gegenteiligen Auffassung der Technik gilt das Segelboot, das ohne Motor auskommt, „weil es selbst wie eine Maschine konstruiert ist. Der Rumpf hat einen minimalen Strömungswiderstand, das Segel nutzt den Wind optimal aus und kann unterschiedlichen Windverhältnissen angepasst werden. Die Passagiere sind Teil des Systems, mit ihrem Gewicht bringen sie das Boot von der Schräglage ins Gleichgewicht. In gleicher Weise ist das Haus als Klimagerät zu entwickeln, als ein *perpetuum mobile*, das sich durch die Ausnutzung der vorhandenen physikalischen Kräfte und nicht durch einen künstlichen Antrieb am Laufen hält.“ (Oswalt P. , Einleitung, 1995, S. 9)

Die Architektur ab der Moderne wäre ohne Haustechnik nicht machbar gewesen. Im folgendem werden die Entwicklungen beschrieben, die in direktem Zusammenhang mit anlagentechnischen Neuerungen entstanden sind.

## **HÖHE**

Das Hochhaus ist eine Typologie, die den Aufzug als Voraussetzung hat. Das Bauen „so hoch wie möglich“ ist immer eine verlockende Herausforderung gewesen und schon seit dem Mittelalter wurden viele und für die Zeit sehr beeindruckende Türme errichtet. Der Unterschied zum Hochhaus besteht darin, dass während beim

einem Turm höchstens die ersten 5 oder 6 Geschosse benützt wurden, und der Rest eine rein repräsentative oder bestenfalls verteidigende Funktion hatte, ist in einem Hochhaus jedes Stockwerk bewohnbar und die höchsten sogar die wertvollsten, da es dort mehr Licht, eine bessere Luft, weniger Lärm und vor allem die schönste Aussicht gibt.

## **TIEFE**

Die Baukörpertiefe ist zusammen mit der Ausbreitung von Klimaanlage und Kunstbeleuchtung gewachsen. In „The Alphabetical City“ (1980) stellt Steven Holl fest, dass *„die amerikanische Hochhäuser vor dem Aufkommen künstlicher Klimatisierung max. 16m tief waren. Große Baugrundstücke wurden daher mit flächenfüllenden linearen Gebäuden in Mäanderform bzw. Buchstabenform bebaut. Nachdem sich Ende der 20en Jahren die Klimatisierung von Gebäuden in Amerika allgemein durchgesetzt hatte, verzichtete man auf eine natürliche Belüftung und Beleuchtung zugunsten einer höheren Grundstückausnutzung. Kompakte Baukörper mit sehr großen Bautiefen waren die Folge“* (Oswalt P. , Le Corbusiers fraktale Geometrien, 1995, S. 60). Solche Gebäude erreichen in der Regel enorme Betriebskosten, weil dem wegen der Kompaktheit sehr geringen Wärmeverlust ein flächendeckender Einsatz von Kunstlicht und Lüftung gegenüber steht, der wesentlich mehr Primärenergie benötigt.

## **HÜLLE**

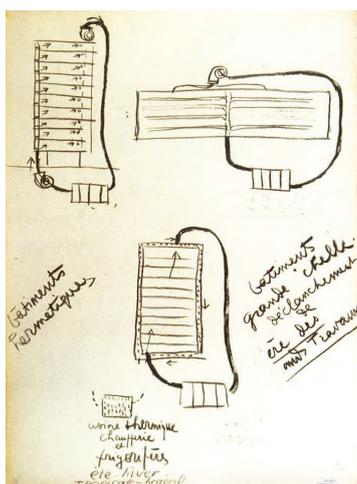
Die vorgehängte Fassade begann allmählich ab den 20en Jahren sich zu verbreiten und nach dem 2. Weltkrieg, vor allem in den USA, explosionsartig. Das innere Skelett aus Stahl bzw. Beton befreit die Fassade von ihrer statischen Funktion und lässt das klassische architektonische Element „Fenster“ verschwinden bzw. verschwimmen in die fenêtre en longuer von Le Corbusier, die vollständig verglaste Fassaden von Gropius oder die curtain walls von Mies Van Der Rohe. *„The window was assimilated into the façade-skin, losing his autonomy as element. The window (...) was sacrificed to achieve abundant light inside or total transparency to the outside. The glass-brick façade of Chareau's Maison de Verre in Paris is an apotheosis of the first desire, while Philip Johnson's Glass House was conceived as a perfect embodiment of the second, and both had an immediate and wide circulation in the architectural press.“* (Di Robilant, 2014, S. 668)

Je weniger offenbare Elemente eine Glass Fassade hat, desto wirtschaftlicher ist sie. Gleichzeitig können die enormen Wärmelasten, die proportional zum Glasanteil

der Fassade gestiegen sind, nicht mehr durch das manuelle Lüften abgeführt werden und machen die Klimaanlage unverzichtbar. Um die Wirkung der Klimaanlage zu optimieren, werden die Gebäudehülle wiederum immer dichter und hermetischer, damit das innere Klima völlig unabhängig von der Umgebung eingestellt und kontrolliert werden kann. Die hermetische Hülle ist seit einigen Jahren eine der Eigenschaften, die praktisch jedes Gebäude, quer durch die unterschiedlichsten Typologien oder Bauweisen, besitzen muss. Das ist der deutlichste Hinweis für die Verwurzelung der Sichtweise, dass Raumklima ein einziges technisches Problem ist.

Egal ob vollverglaste Bürotürme oder dick verpackte Passivhäuser: die Technik ist am effizientesten wenn das System „Gebäude“ von seiner Umgebung hermetisch isoliert ist. Die äußeren Störfaktoren sollen möglichst ausgeschaltet bzw. unterbunden werden, damit die Anlagen die planmäßige Komfortkriterien einstellen können. Dieses Ideal wurde bereits 1929 von Le Corbusier unter dem Begriff *mur neutralisant* formuliert:

*„...neutralisierende Mauern sind aus Glas, aus Stein oder aus beiden Materialien (gemischt) gebaut. Sie bestehen aus zwei Membranen, die einen Zwischenraum von einigen Zentimetern haben. Durch diesen Membranenzwischenraum, der das Haus umgibt, leitet man in Moskau Heißluft, im Dakar Kaltluft. Ergebnis: auf diese Weise erreicht man, dass die Innenwand (die Innenmembran) ständig eine Temperatur von 18° behält. Das Haus ist hermetisch abgedichtet!“* (Le Corbusier, 1964, S. 70)



**Abbildung 5: Le mur neutralisant in einer Skizze von Le Corbusier (1929)**

## ABGEHÄNGTE-DECKE

Die abgehängte Decke sollte die wachsende Menge an Leitungen, Kabeln und Röhre verdecken, die zur flexiblen Nutzung der fließenden, scheinbar endlosen Räumen notwendig waren. Ihre Stärke wuchs für eine sehr lange Zeit ungestört: in den Bürotürmen New Yorks Ende des 20en Jahrhundert war üblich, dass sie ca. 30% der Geschosshöhe in Anspruch nahm. Für das Salk Institute in San Diego führte Luis Kahn das Konzept der abgehängten Decke zu seinem Extrem: er teilte das Gebäude abwechselnd in dienende und bediente Geschosse und schuf damit installationsfreie Räume mit maximaler technischer Ausstattung.

In einer abgehängten Decke können folgende Funktionen untergebracht werden: Akustik, Lüftung, Beleuchtung, Beschallung, Sprinkler, Alarmierung, Überwachung, Leitsystem

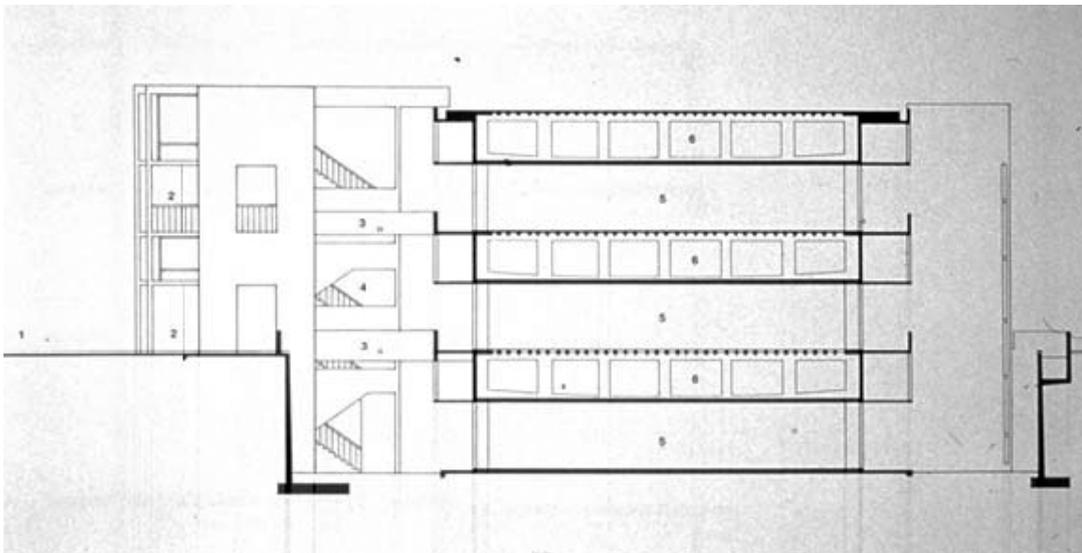


Abbildung 6: Schnitt vom Salk Institute, Arch. L.Kahn (<http://www.maerkli-peter.arch.ethz.ch>, 6.9.2015)

### 4.1.1 Das Passivhaus

*"Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (ISO 7730) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden." (Feist, 2005)*

Das Passivhaus kann als letztes Ergebnis der Architekturauffassung der Moderne gesehen werden. Das Passivhaus-Konzept hat das bereits von Le Corbusier theoretisch behandelte Zusammenwirken von hermetischer Hülle und Lüftungssystem weiterentwickelt und an die Bedingungen vom kalten Klima angepasst.

Die Idee des Passivhauses resultierte aus den Ergebnissen einiger Forschungsprojekte aus den 1980er Jahren über Solar-Häuser, welche zeigten, dass im Hinblick auf das Energiesparen das „Dämmen“ eine bessere Strategie als das „Gewinnen“ darstellte<sup>2</sup>. Obwohl die extremen Dämmstärken praktisch zum Kennzeichen eines Passivhauses geworden sind, ist ein Passivhaus nicht einfach ein „Superinsulated House“. Für lange Zeit wurden „passive Solar Homes“ und „Superinsulated Houses“ von „ihren jeweiligen Verfechtern als konkurrierende Konzepte verstanden.“ (<http://passipedia.passiv.de>, 5.12.15) Mittlerweile sind diese Gegensätze überwunden und die Passivhäuser werden bewusst mit Einbeziehung der solaren Gewinne geplant.

*„Die energetisch kluge Wahl des Bauortes, der Bauform, die innere Zonierung, das Ausarbeiten von Pufferzonen, das bewusste Leben mit unterschiedlichen Raumtemperaturen verlor mit der Geburt des in gewisser Weise vom Kontext isolierten Passivhaus die Relevanz. Die Ausrichtung nach der Sonne ist in Teilen geblieben“ (Tersluisen, 2012, S. 21)*

Das erste Passivhaus entstand 1991 in Darmstadt-Kranichstein als Projekt eines wissenschaftlichen Teams unter der Leitung des Bauphysikers Prof. Wolfgang Feist. Rückblickend kann man festhalten, dass dieses Haus für grundlegende Änderungen im Bausektor und für heftige Auseinandersetzungen in der Architekturdebatte gesorgt hat (siehe Tersluisen ab S.23).

---

<sup>2</sup> Die Studie „Messungen an Solarhäusern“ von Ueli Schäfer aus dem Jahr 1985 „geht in den grundlegenden Aussagen mit anderen Forschungsprojekten konform, die gute Effekte bestätigen, allerdings gleichermaßen die Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung in Proportion zu den Gewinnen als groß ausweisen. Der Konsens: eine effektive Verlustreduktion sei effektiver als die Gewinnsteigerung bzw. führte zur besser verteilten Nutzbarkeit der möglichen Gewinne“ (Tersluisen, 2012, S. 20)

Die mittlerweile zertifizierte praktische Umsetzung des Passivhauses beruht auf vier Komponenten:

- hochdämmende und luftdichte Hülle
- wärmebrückenfreie Konstruktion
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- kompaktes Volumen



**Abbildung 7: Das erste Passivhaus, Darmstadt-Kranichstein, 1991 ([www.passiv.de](http://www.passiv.de), 5.12.15)**

## 4.2 Vernakuläre Architektur

**Vernakulär:** „*historisch am Ort herausgebildet und gewachsen, nicht gezielt (von einem Experten) entwickelt*“ (Wiktionary, 12.2.16)

**Autochthon:** „*an Ort und Stelle entstanden; im Lande selbst geboren*“ (ebenda)

Die vernakuläre Architektur ist das optimierte Ergebnis einer jahrhundertealten Auseinandersetzung mit den klimatischen Gegebenheiten und den lokal verfügbaren Ressourcen. Unter dem Begriff „vernakulär“ werden einfache Bauten bezeichnet, die ohne professionelle Planung und Notgedrungen unter einem sehr sparsamen Umgang mit den zu Verfügung stehenden Mitteln (sei es Arbeitskraft, Geld oder Baumaterialien gewesen) errichtet wurden. Im Gegensatz dazu verfügte man bei herrschaftlichen Gebäuden, welche zusätzlich eine repräsentative Funktion zu erfüllen hatten, über weitreichende finanzielle Mittel, die eine Kompensation der Abweichungen vom klimatisch-bedingten Optimum dank technischen Einrichtungen ermöglichten. (Wieser, 2013, S. 22) So musste zum Beispiel die Hauptfassade zur Straße oder zum Platz orientiert werden, auch wenn dadurch die Wohnräume nicht zur Sonnenseite ausgerichtet waren und folglich länger beheizt werden mussten.

Die erzwungene Wirtschaftlichkeit traditioneller Gebäudetypen hat dazu geführt, dass letztere einen immer noch aktuellen Katalog von Maßnahmen und Lösungen für die passive Raumtemperierung darstellen. Eine Übertragung in neue Bauvorhaben ist nicht direkt möglich, da die heutigen Ansprüche an den Raumkomfort unvergleichbar gestiegen sind. Es gilt vielmehr die Strategien traditioneller Architektur zu untersuchen, um sie als Quelle und Inspiration bei der Entwicklung des Gebäudekonzepts zu verwenden.

Denn „*Tradition ist nicht mehr – aber auch nicht weniger – als die Widerspiegelung dessen, was in Zeit und Raum sich bewährt hat*“ (Caminada G., S.81)

Angèle Tersluisen, Junior Professorin im Fachgebiet Kybernetik an der TU Kaiserslautern, hat in Rahmen ihrer Dissertation an der TU Darmstadt Beispiele anonymen, autochthonen Architektur aus verschiedenen Weltregionen analysiert und festgehalten, „*dass strukturelle Ähnlichkeiten rund um den Globus, innerhalb vergleichbarer klimatischer Konditionen zu verzeichnen sind*“ (Tersluisen, 2012, S. 10). Die drei folgenden Aspekte sind die maßgeblichen klimatischen Faktoren:

1. Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen
2. relative Luftfeuchte
3. Wind bzw. Luftgeschwindigkeit

Solarstrahlung und Niederschlag werden von Tersluisen bewusst nicht berücksichtigt, weil sie auf ein Gebäude nur indirekt über die Temperatur wirken konnten<sup>3</sup>. Im Fall der Solarstrahlung verhält es sich heute anders, da die Sonne durch die enormen Fortschritte der Glasbautechnik eine unmittelbare Wirkung auf die Behaglichkeit des Innenraums hat.

Ausgehend von diesen architekturprägenden Parametern, bestimmt Tersluisen vier Klimazonen, die wiederum in den städtebaulichen, strukturellen, konstruktiven und materiellen Hauptmerkmalen der autochthonen Architektur gut erkennbar sind:

1. niedrige Temperaturen:

Typus: Massiv-, Block-, Fachwerkhaus  
 Eigenschaften: dicht, kompakt, geschützt, besonnt

2. hohe Außenlufttemperatur + niedrige Luftfeuchte:

Typus: Massivlehmbau, Ziegelbau,  
 Eigenschaften: verschattet, adiabat, belüftet

3. hohe Außenlufttemperatur + hohe Luftfeuchte:

Typus: Leichtbau, Holzbau  
 Eigenschaften: luftig, dynamisch

4. hohe Luftgeschwindigkeit:

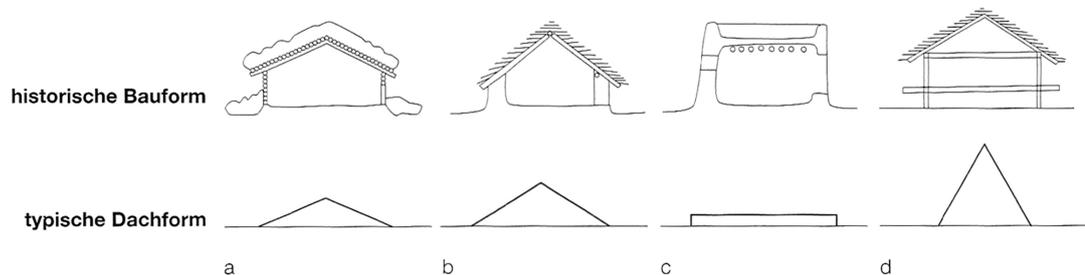
Typus: Schutz durch Vegetation  
 Eigenschaften: aerodynamische Gebäudeform, schützende Dächer, Rückgratbildung, thermische Puffer

Die Ähnlichkeiten zwischen traditionellen Bauten aus voneinander weit entfernten Weltregionen beweisen, wie vernakuläre Architektur als unmittelbare Umsetzung eines erfahrungsbasierten Wissens über die natürlichen Gesetze entstanden ist. Ohne wissenschaftlich fundierte bauphysikalische, aerodynamische oder thermo-

---

<sup>3</sup> Anmerkung der Autorin: Intensität und Häufigkeit des Niederschlags bedingen meines Erachtens sehr wohl eine formale Anpassung der Gebäude, zum Beispiel Dachneigung, Dachüberstand etc.

dynamische Kenntnisse wurden Strukturen entwickelt, die wie eine natürliche Klimaanlage funktionieren oder einem Orkan standhalten können. Daher könnte man durch die bloße Analyse traditioneller Bauten ziemlich genau die klimatischen Bedingungen erkennen, denen diese Gebäude ausgesetzt waren.



**Abbildung 8: Klassische Bautypologien nach Klimazonen: a. kalt; b. gemäßigt; c. trocken-heiß; d. feucht-warm (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 64)**

Architektur ist in erster Linie ein menschliches Artefakt und somit, neben der Anpassung an die lokalen Gegebenheiten, gleichermaßen Ausdruck der lokalen Kultur, in der sie entsteht.

*„Es besteht eine nachweisbare, wenn auch oft alles andere als eindeutige Korrelation zwischen Klimazonen und Konstruktionsprinzipien. Menschen fügen sich mit ihren baulichen Mitteln in die lokalen klimatischen Bedingungen ein; sie versuchen diese aber auch durch geeignete bauliche Maßnahmen zu ihren Gunsten zu manipulieren. Darin besteht der ambivalente Doppelaspekt einer Anpassung an die und Anpassung der natürlichen Bedingungen durch Konstruktion und gebaute Form.“ (Roesler, 2013, S. 18)*

Jede Kultur entwickelte ihre ganz eigene Art der Anpassung: Die Bräuche, die Lebensweise, die Rituale, die Kunst und die Technik haben die Antwort auf die klimatischen Gegebenheiten geformt und dazu geführt, dass ein Dorf im Himalaya Gebirge letztendlich ganz anders aussieht als in den Schweizer Alpen, obwohl beide grundsätzlich einem ähnlichen Klima ausgesetzt sind.

#### **4.2.1 Ein paradigmatisches Beispiel: das Kinzigtäler Haus**

Unter dem typischen mächtigen Walmdach des traditionellen Schwarzwaldhauses haben nicht nur Bauern und Knechtschaft zusammengewohnt, wie für

landwirtschaftlichen Strukturen allgemein üblich war, sondern auch die Nutztiere. Die Futtertenne und der Heuboden wurden unter demselben Dach untergebracht, ebenso das Lager und die Räucherkammer. Ein autarkes, geschlossenes System, das allerdings nicht isoliert, sondern vollkommen in die Landschaft eingebunden war.

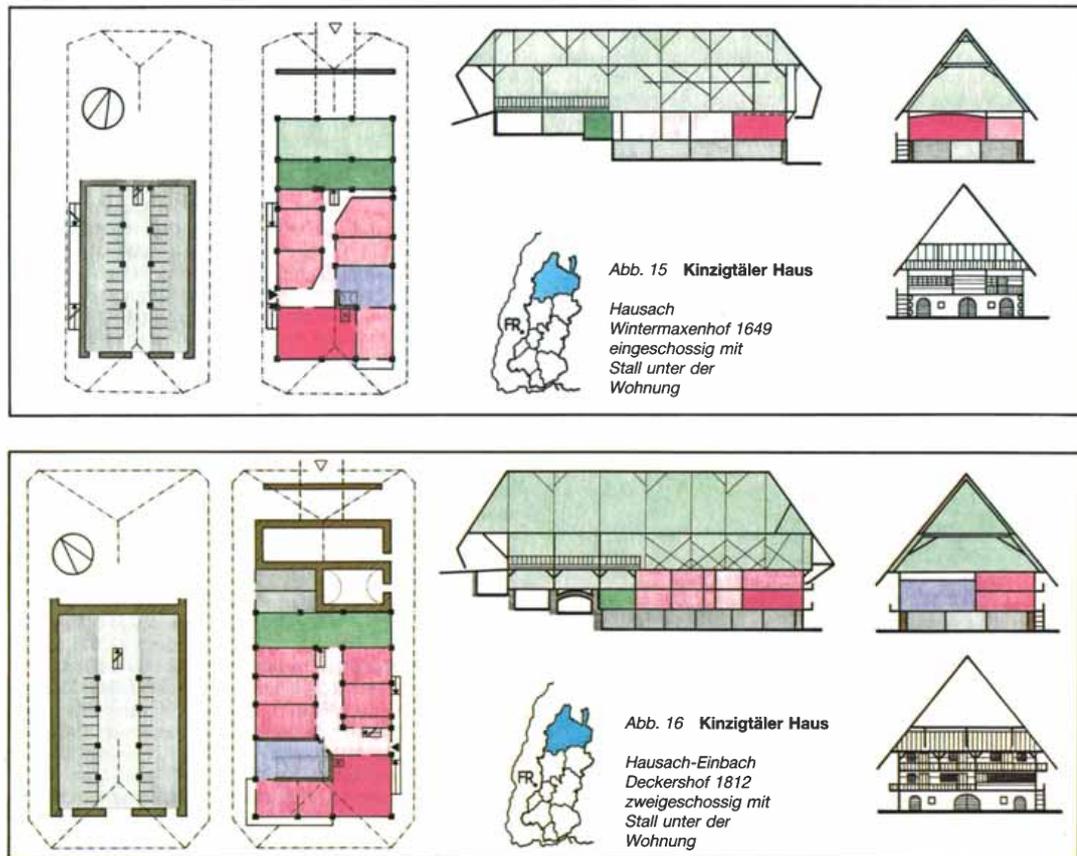
Ein besonders gelungenes Beispiel dieser vernakulären Architektur stellen die Kinzigtäler Häuser dar.



**Abbildung 9: Der Lorenzenhof aus Oberwolfach von 1608 (<http://www.vogtsbauernhof.de>, 18.2.2016)**

Das Kinzigtal liegt im mittleren Schwarzwald, etwa 60 km nordöstlich von Freiburg, auf ca. 300m über Meeresniveau. Die Region ist niederschlagsreich, sowohl in Bezug auf Regen als auch Schnee, und der häufige starke Wind kann sich bis zum orkanartigen Unwetter entwickeln. Die langen Winter, die hohen Jahresniederschlagsmengen und die überwiegend kalten Temperaturen haben die kompakte Form und das mächtige, ausladende Steildach geprägt.

- Stube
- Kammer
- Hausgang
- Küche
- Stall
- Tenne
- Bergeraum



**Abbildung 10: Grundriss und Schnitt typischer Kinzigtäler Häuser (Schnitzer, 1989, S. 18)**

Im Hausinneren entstehen durch die räumliche Anordnung der verschiedenen Funktionen positive Nebeneffekte, die sich im Fluss der Jahreszeiten vorteilhaft auf das ganze System auswirken. Der Wohnbereich ist generell süd- bzw. südostseitig und im mittleren Geschoss angeordnet. Darunter, im massiven Sockel, ist der Viehstall untergebracht, der im Winter die zusätzliche und kostenlose Abwärme der Tiere (Prozesswärme) nutzbar macht. Im Sommer, während die Tiere auf der Alm sind, bietet der leerstehende Stall eine Erweiterung der geothermische Kühle. Oberhalb vom Wohnbereich ist der geräumige Dachraum, der als Lagerfläche für die Heuvorräte dient. Der Heuboden fungiert über das Jahr als dynamische Dämmung: im Winter (gefüllt) schützt er die Wohnebene vor Kälte. Im Frühling

schrumpft die Heuschicht allmählich und der Dachboden wird ein angenehm kühler und trockener Raum.

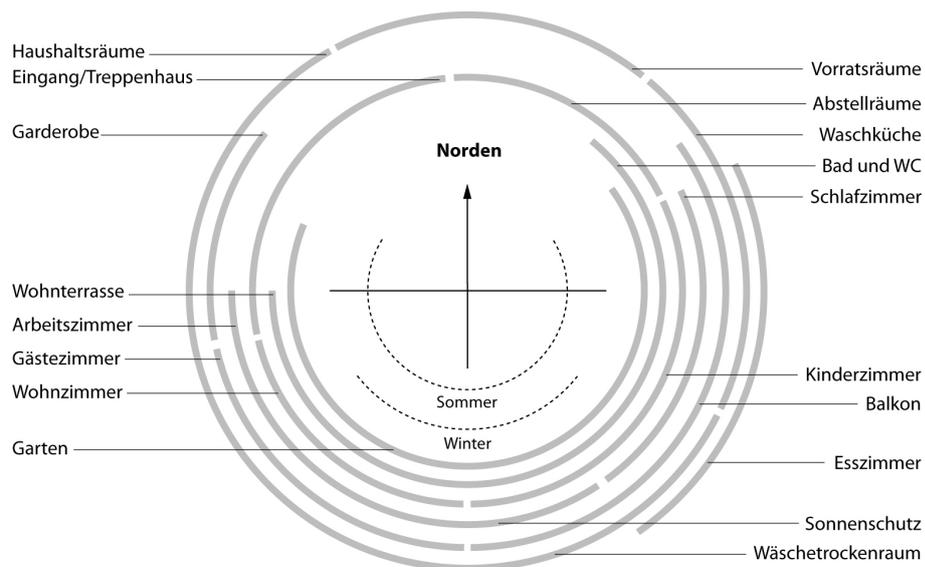
Der Wohnbereich ist talseitig orientiert, wobei Stube und bäuerliche Schlafstube, die einzigen Räumen mit Fenstern, nach Süden schauen und an die Küche angrenzen. Die Küche ist die Wärmequelle des Hauses: dort befinden sich der Herd und die Anfeuerungsstelle für den Stubenofen. Der Rest des Hauses wird nur von der Abwärme aus Küche, Stube und Stall erwärmt. Alle anderen Wohnräume sind nichts mehr als Kammern: klein, niedrig, spärlich belichtet und belüftet durch minimale, unverglaste Öffnungen, die mittels einer hölzernen Schiebelade geschlossen werden. Die Küche hat, wie im ganzen Schwarzwald verbreitet, keinen Kamin sondern einen weiten tonnenförmigen Rauchfang, der den Rauch auf dem Weg ins Freie zuerst durch eine Art Zwischendecke führt, der sogenannten „Rauch-“ oder „Nussbühne“. Dort wurden die Fleischstücke zum Räuchern beziehungsweise die Nüsse zum Trocknen gelagert. Durch die offenporige und luftdurchlässige Holzdecke konnte die trockene und leicht rauchige Luft aus der Küche bis zum Dachraum gelangen, wo sie gleichzeitig die Durchlüftung unterstützte und gegen Ungeziefer wirkte.

Eine Konstante für alle vernakulären Bauten ist die Verwendung der lokalen Ressourcen als Baumaterialien. Die Struktur und der Großteil der Konstruktion der Kinzigtäler Häuser wurde mit Holz aus den umliegenden Wäldern errichtet. Nur der Sockel besteht aus massiven Backsteinwänden: das Mauerwerk bindet die steigende Feuchtigkeit und hält das Holzhaus trocken. Das Dach war ursprünglich mit dem Stroh von den Feldern der eigenen Landwirtschaft eingedeckt. Die traditionellen Strohdächer wurden allerdings im letzten Jahrhundert aus brandschutztechnischen Gründen fast überall von Dachziegeln-Dächern ersetzt – generell mit gravierenden Folgen, weil die neue, dichtere Dachhaut das hygrische Gleichgewicht des Dachraums beeinträchtigte. Nach dem Umbau wurde der Dachstuhl viel häufiger einer starken Kondenswasserbildung ausgesetzt und die Struktur daraufhin von Schimmel, Pilzen und Ungeziefer befallen. Dieses Beispiel ist symptomatisch für das essentielle Problem dieser beeindruckenden autochthonen Architekturen. Solche Gebäude sind wie Organismen: Struktur, Funktion, Nutzung haben sich gegenseitig bedingt und beeinflusst. Eine punktuelle Veränderung einer dieser Aspekte kann das ganze System aus dem Gleichgewicht bringen; die Komplexität der Zusammenhänge erschwert die Abschätzung der Folgen und die Erarbeitung der Lösungsmaßnahme.

### 4.3 Solararchitektur

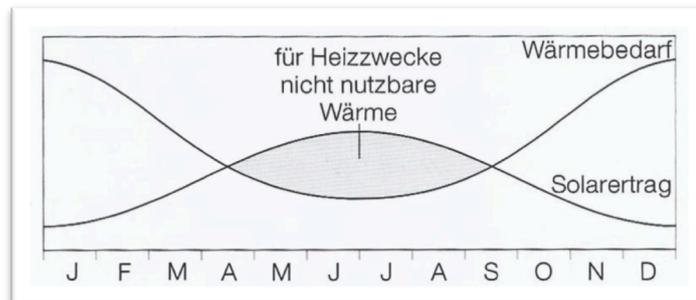
**Glashauseffekt:** „eine auf dem unterschiedlichen spektralen Transmissionsvermögen von Glas (...) für kurzwellige und langwellige Sonnenstrahlung beruhende Erscheinung. Kurzwelliges Sonnenlicht (...) wird von Glas durchgelassen und erwärmt den Boden und die Luft in einem Treibhaus. Die durch die Erwärmung bedingte Temperaturstrahlung (...) kann wegen der hohen Absorption von Glas für die Infrarotstrahlung das Glashaus nicht verlassen.“  
(<http://www.spektrum.de/lexikon/optik/glashauseffekt>, 19.02.2016)

Obwohl die Berücksichtigung der Sonne als Wärme- und Lichtquelle in der Architektur seit jeher elementar ist, wurde der Begriff „Solararchitektur“ insbesondere von einer Reihe experimenteller Gebäude geprägt, die ab den 1980er Jahren mit traditionellen oder innovativen Strategien versuchten, die solaren Gewinne zu maximieren. In der ersten Phase, auch als Reaktion auf die Ölkrise von 1976, ging es hauptsächlich um die Erhöhung der passiven solarthermischen Gewinne zwecks Einsparung von Heizenergie. Die qualitativen und quantitativen Fortschritte der Glas-Produktion ermöglichten eine ergiebige passive Nutzung der Solarstrahlung. Man plante, hauptsächlich für Einfamilienhäuser, nach Süden ausgerichtete Gebäude mit strengen thermisch-zonierten Grundrissen, verschiedenen Arten von Speichersystemen (Geröll-, Wasser- oder Deckenspeichern), großzügigen Wintergärten und verglasten Südfassaden.



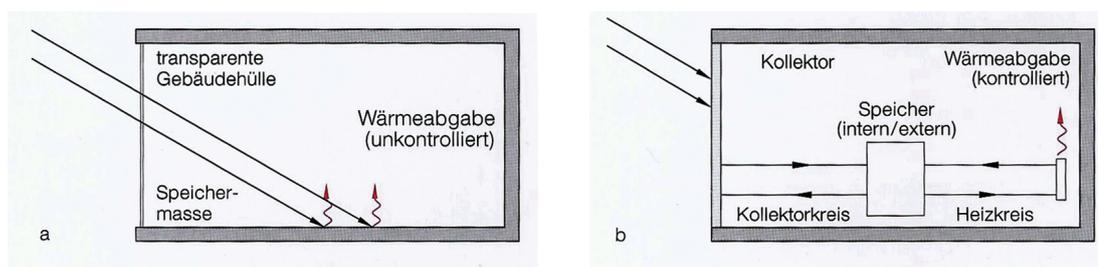
**Abbildung 11: bevorzugte Nutzungsanordnung nach Himmelsrichtung in Wohnungsbau (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 69)**

In den 1990er Jahren folgte eine intensive Forschungsphase für die aktive Nutzung der Solarstrahlung. Die Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme ist ein physisches Phänomen, das spontan – also passiv – stattfindet und nur durch Abhalten der eintreffenden Strahlung vermieden werden kann. Das macht die passive Solarthermie schwer kontrollierbar. Dazu kommen die natürlichen, wetterabhängigen Schwankungen der Strahlungsintensität und der antizyklische Rhythmus von Angebot und Nachfrage der Wärmenutzung in Gebäuden.



**Abbildung 12: Problematik von Angebot und Nachfrage bei solarthermischer Wärmenutzung in Wohnbauten (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 118)**

Die aktive Solarenergienutzung erfolgt prinzipiell über technische Systemen (PV-Module, Kollektoren) die auf, oder im besseren Fall in der Gebäudehülle integriert werden und mit einem Speicher verbunden sind. Das Ziel ist „eine *möglichst weitreichende zeitliche Entkopplung der nutzbaren Energiemenge von der Solarstrahlung*“ zu erreichen (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 118).



**Abbildung 13: Solare Nutzung im Gebäude: a. passiv; b. aktiv (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 118)**

Als Paradebeispiel für die aktive Solarenergienutzung gilt das energieautarke Solarhaus in Freiburg von 1992. Geplant und gebaut als Versuchsobjekt vom Fraunhofer Institut, perfektioniert es die klassischen passiven Maßnahmen zur

Sonnennutzung und ergänzt sie mit zahlreichen „Technologien, die bis heute zum Instrumentarium des energieeffizienten Bauens gehören – und einige mehr, die heute wieder in Vergessenheit geraten sind.“ (Schoof, [www.detail.de](http://www.detail.de), 2011):

- Transparente Wärmedämmung
- Hochleistungs-Sonnenkollektoren mit Reflektoren
- Photovoltaikanlage
- Brennstoffzellen auf Wasserstoffbasis
- mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung.



Abbildung 14: Energieautarkes Solarhaus in Freiburg, 1992 (Schoof, [www.detail.de](http://www.detail.de), 2011)

*„Trotz seiner komplexen Gebäudetechnik bewährte sich das Solarhaus im Betrieb; im ersten Winter musste es aufgrund seiner guten Dämmung, der hohen solaren Gewinne und der Wärmerückgewinnung überhaupt nicht beheizt werden. Ein Modell für den künftigen Einfamilienhausbau war es freilich schon aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht, sondern vielmehr ein Versuchslabor für neuartige gebäudetechnische Komponenten und deren intelligente Vernetzung.“* (Schoof, [www.detail.de](http://www.detail.de), 2011)

Systeme für die aktive Nutzung der Solarenergie sind heute ein unverzichtbarer Bestandteil von Plusenergie-Häusern geworden. Vor allem photovoltaische Anlagen

stellen eine wirtschaftliche und effiziente Alternative dar, um den Strombedarf in der Nutzungsphase ausschließlich mit regenerativen Energiequellen zu decken.

#### **4.3.1 Zwei Einfamilienhäuser in Trin (CH)**

Die zwei im Jahr 1993 errichteten Zwillingshäuser in Trin sind echte Nullheizenergiehäuser. Der Architekt Andrea Rüedi war in diesem Projekt gleichzeitig Bauherr und Energieplaner und verstand „*sein Gestaltungskonzept als kompromisslose Reduktion und Verschmelzung der ästhetischen funktionellen und physikalischen Aspekte.*“ (Hässig & Hardegger, 1996, S. 8)

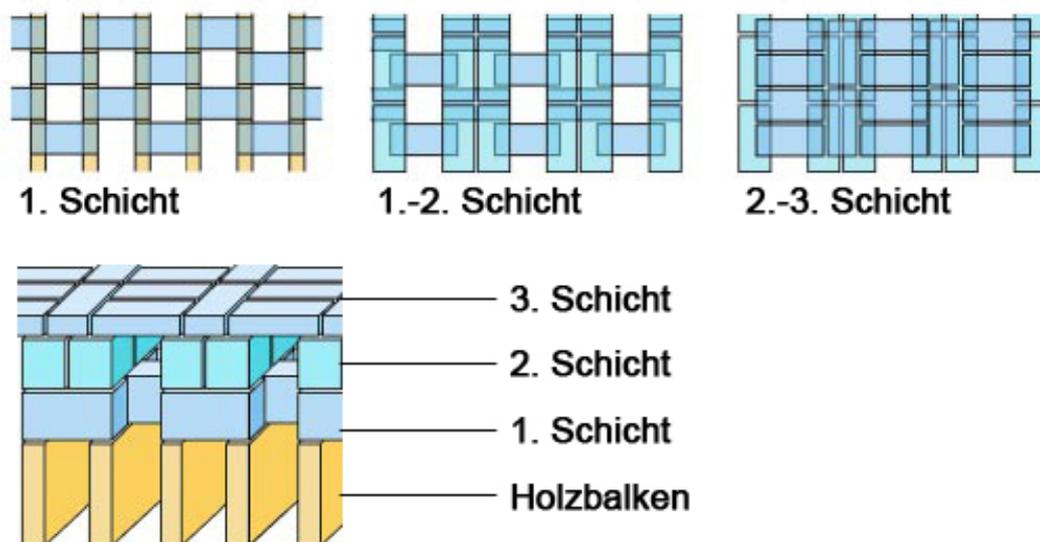
Die nicht beschattete Südhanglage auf einer Höhe von 900m über Meeresniveau, d.h. oberhalb der Nebelgrenze, und uneinsichtig durch den steilen Hang, bietet optimale Bedingungen für ein Direktgewinn-Solarhaus.



**Abbildung 15: Direktgewinnhaus in Trin (CH), Arch. Andrea Gustav Rüedi (Kaiser & Haas, 1998)**

Ausgehend von den tiefen Wintertemperaturen wurden die Häuser als sehr kompakte Volumen mit einem asymmetrischen Satteldach konzipiert, das die Neigung des Geländes aufnimmt. Die gesamte Hülle weist einen besonders niedrigen U-Wert auf, sowohl bei der vollständig verglasten Südfassade (U-Wert 3-fach Verglasung  $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), als auch bei den fast fensterlosen, mit 30cm Zelluloseflocken gedämmten Außenwänden (U-Wert  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ); die Bodenplatte, gedämmt mit einer 24cm dicken Schaumglasschicht und das Dach mit 28cm Zellulosefasern erreichen jeweils einen U-Wert von  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$  bzw.  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Neben der Minimierung der Transmissions- und Lüftungsverluste durch die kompakte Gebäudeform und die dichte, hochgedämmte Gebäudehülle, war eine Maximierung der Speichermasse erforderlich, um die Solargewinne über mehrere Tage nutzbar zu machen.

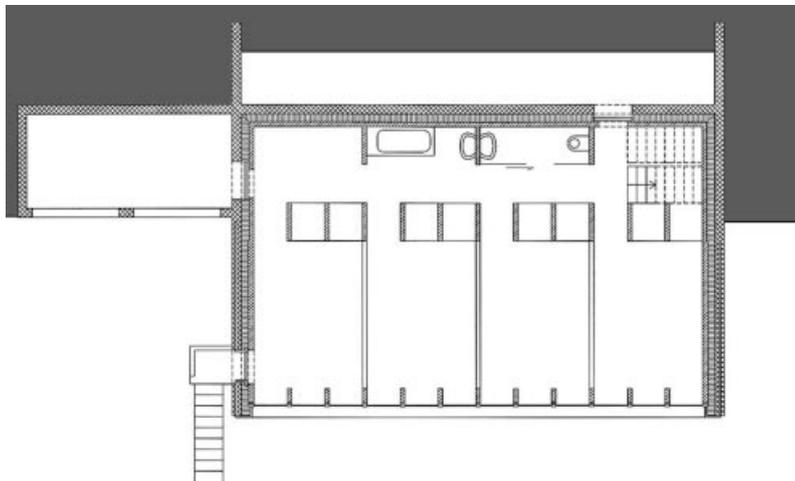


**Abbildung 16: Deckenaufbau (Kaiser & Haas, 1998)**

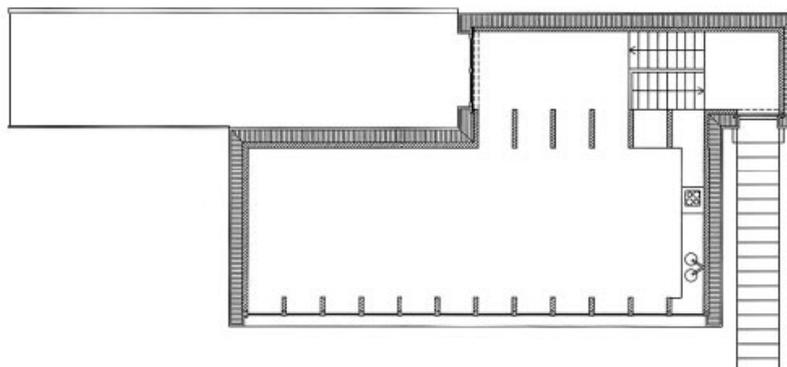
In jedem Haus sind zwischen Decken, Wänden und Fußboden mehr als 220 Tonnen Speichermasse verteilt. Weil nur eine beschränkte Tiefe eines Materials zur Speicherung thermischer Energie aktiviert werden kann (ca. 9 cm bei Beton und Kalksandstein, 4 cm bei Holz), sollte das Verhältnis Oberfläche zu Masse maximiert werden. So kann die von der Sonne erwärmte Luft ihre Wärmeenergie an nicht direkt beschienene Bauteile durch optimale Umspülung wirksam abgeben. In der Decke über EG wurden aus diesem Grund, oberhalb der tragenden Holzbalken, drei Lagen rippenartig versetzte Kalksandsteine eingeschichtet. Dadurch erreicht der

gesamte Bodenaufbau stolze 87 cm - aber auch gleichzeitig eine gegenüber konventionellen Bauweisen 2,5 Mal größere Oberfläche. Da der Betonboden wegen der bevorzugten Lage eine sehr wichtige Funktion als Primärspeicher hat, wurde er dunkel eingefärbt, um den Absorptionsgrad zu verbessern.

Alle Aufenthaltsräume sind an der Glasfassade entlang nach Süden orientiert. Im Norden befinden sich die Nassräume, die Erschließung und der Erdkeller. Auch die horizontale Aufteilung folgt der Logik der thermischen Zonierung: Die Wohnräume im 1.OG sind dank der natürlichen Thermik durchschnittlich 2° wärmer als die im Erdgeschoss angeordneten Schlafräume.



**Abbildung 17: Grundriss EG (Kaiser & Haas, 1998)**



**Abbildung 18: Grundriss 1.OG (Kaiser & Haas, 1998)**

Beide Häuser werden ausschließlich über die Fenster belüftet. Durch den bewussten Verzicht auf eine kontrollierte Lüftungsanlage im Zusammenspiel mit der extrem dichten Gebäudehülle bestand die Notwendigkeit, Schadstoffemissionen zu minimieren. Die verwendeten Materialien sind unbehandelt und diffusionsoffen: rohes Holz, unverputzter Kalksandstein, geschliffener Beton. Lacke, Anstriche und Kunststoffe wurden im Einklang mit den strengen baubiologischen Ansprüchen des Architekten weitestgehend vermieden.

Das einzige haustechnische Gerät ist der Elektroboiler zur Bereitstellung des Warmwassers. Zunächst wurde zu diesem Zweck ein Vakuumkollektor zwischen den Fensterbändern an der Südfassade vorgesehen, der allerdings letztendlich aus Kostengründen nicht installiert wurde.

Ein Messprojekt über zwei Heizperioden bestätigte die Aussagen der Bewohner: Die Behaglichkeit der Direktgewinnhäuser ist sehr gut. Lediglich im Winter, nach mehr als vier bewölkten und kalten Tagen, kann die Raumtemperatur unter 19°C sinken. Zur Überbrückung solcher Perioden wurde eine mobile Elektro-Öl-Heizung angeschafft. *„Aufgrund der hohen Oberflächentemperaturen ist das Komfortgefühl der Bewohner aber auch dann noch höher als in einem konventionellen Gebäude, d.h. die tiefen Temperaturen werden nicht immer wahrgenommen.“* (Kaiser & Haas, 1998) Auch im Sommer verhalten sich die Gebäude klimatisch hervorragend und die interne Temperatur bleibt auch bei 32°C Außentemperatur bei angenehmen 26°C. Damit die Speichermasse sich nicht auflädt und ihre kühlende Wirkung entfalten kann, werden die außenliegenden Raffstore als Beschattung heruntergelassen.

Ob sich die optimalen Komfortbedingungen einstellen, liegt beim Bewohner, der die Steuerung über das „System-Haus“ verantwortet. *„Von der Bewohnern wird die Bereitschaft erwartet im Einklang mit dem Energiekonzept zu leben: Es müssen schwankende Temperaturen im Kauf genommen werden. Beschattung und Lüftung müssen vorausdenkend und der Jahreszeiten angepasst bedient werden.“* (Hässig & Hardegger, 1996, S. 21)

Da die Speicherflächen frei bleiben müssen, ergeben sich einige Einschränkungen der Inneneinrichtung betreffend: Teppiche, Bilder, Möbeln sollen nicht mehr als 20% der Boden- bzw. Wandfläche abdecken und im Winter werden tagsüber keine Gardinen verwendet.

*„Obwohl dies als Freiheitseinschränkung und Komfortverlust gesehen werden kann, ist damit auch ein großer Qualitätsgewinn verbunden. Die Auseinandersetzung mit dem Zusammenspiel vom Wetter, Natur, Haus und dem eigenen Verhalten, der Teilnahme am Betrieb, sowie insbesondere das Erlernen der Möglichkeiten zu dessen Steuerung ist mit einem großen Komfortgewinn verbunden.“ (Hässig & Hardegger, 1996, S. 87)*

#### 4.4 Kybernetische Architektur

*„Unter **Kybernetik** (vom griechischen ‚kybernetes‘, der Steuermann) verstehen wir die Erkennung, Steuerung und selbsttätige Regelung ineinandergreifender, vernetzter Abläufe bei minimalem Energieaufwand. (...) Durch Fluktuation, nicht durch Starrheit, wurde dieses Vorgehen zum Garant des Lebens, gewann die Natur ihre nie erlahmende Stabilität und Stärke.“ (Vester, 1995, S. 14)*

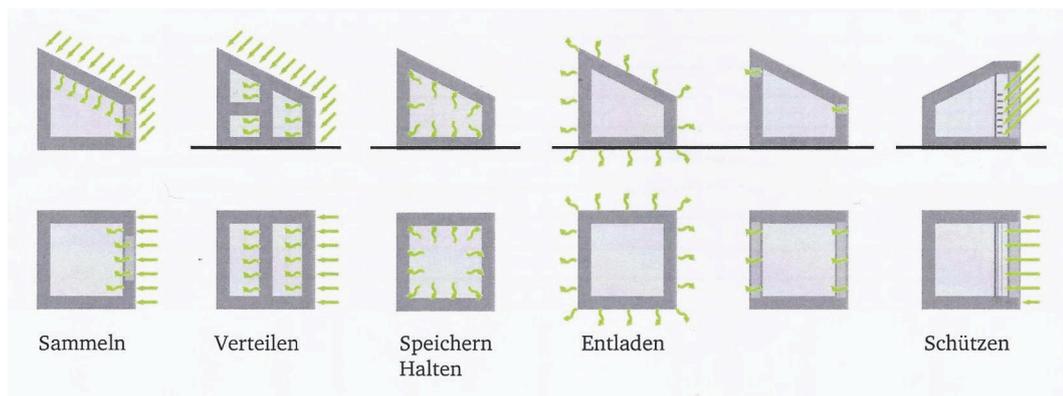
Die Kybernetik, gegründet vom US-amerikanischen Mathematiker Norbert Wiener Mitte des 19. Jahrhunderts, ist die Disziplin, die sich mit der *„Steuerung und Regelung von Maschinen, lebenden Organismen und sozialen Organisationen“* befasst (Wikipedia). Die Vertiefung und Übertragung der kybernetischen Prinzipien auf dem Fachgebiet Architektur ist dem Professor Günter Pfeifer von der TU Darmstadt zuzuschreiben. Als Vorreiterin und selbstgenanntes Vorbild der kybernetischen Architektur gilt die autochthone Architektur, die mit ihren Art und Weise, sich aus dem klimatischen und kulturellen Kontext heraus zu entwickeln und darin harmonisch zu bestehen, bemerkenswerte Beispiele vom kybernetische Gebäude *ante litteram* geliefert hat.

Das kybernetische Planungsprinzip *„umschreibt (...) das System eines Wirkungsgefüges, dessen Elemente durch unmittelbare gegenseitige Einwirkung miteinander verbunden sind. Das wichtigste allerdings ist die perfekte Verknüpfung aller passiven Elemente – solare und geothermische Einträge, Verteilung, Speicherung und Thermik – mit den noch erforderlichen technischen Möglichkeiten. Denn alle diese Teilelemente müssen in einem sorgsam interdependenten Prozess aufeinander abgestimmt werden. Jedes dieser Teilelemente ist an sich selbstständig, aber nicht unabhängig in der Wirkungsweise.“* (Pfeifer, Mensch - Klima - Architektur. Das kybernetische Prinzip.)

Für die kybernetische Architektur sind Gebäude stabilen Systemen, *„die ihre Umwelt aktiv miteinbeziehen und dies in ihrer Struktur und Gestalt zeigen“* (Pfeifer, Kybernetische Gebäudestrukturen, S. 213). Der dynamische Austausch mit der Umwelt soll sowohl auf der kulturellen wie auch auf der energetischen Ebene stattfinden. Die Devise lautet: Gewinnen statt Sparen. Mit dieser Haltung nimmt die kybernetische Architektur einen diametral entgegengesetzten Standpunkt zum Passivhaus-Konzept ein,

In der kybernetischen Lehre muss ein Gebäude folgende grundsätzliche fünf Leistungen erbringen:

1. „das Sammeln des im Überfluss vorhandenen Sonnenlichts, um dieses in direkte Wärme umzuwandeln,
2. die Verteilung der gewonnenen Energie,
3. das Speichern (und Halten) der Energien, wenn diese nicht sofort genutzt werden können, um einen möglichst hohen Ausnutzungsgrad zu erzielen,“ (Pfeifer, *Kybernetische Gebäudestrukturen*, S. 212)
4. „das Entladen von Energien (Auskühlen) oder das Entledigen der überschüssigen Wärmeenergie“ (Pfeifer, *Kybernetische Gebäudestrukturen*, S. 212)
5. das Schützen vor Überhitzung und generell vor negativen Wettereinflüssen.



**Abbildung 19: Grundlegende Wirkungsweisen (Tersluisen, 2012, S. 120)**

„Das System beruht ausschließlich auf Prinzipien und Elementen, die aus architektonischen Prozessen hervorgehen, auf Fügungs-, Gestaltungs-, und Tektonikprinzipien, und diese funktionieren im Idealfall ohne technische Unterstützung.“ (Pfeifer, *Kybernetische Gebäudestrukturen*, S. 212). Das Grundprinzip ist die positive Nutzung der Umweltenergien, in erster Linie die solaren und geothermische Potentiale, aber auch allfällige Prozesswärme oder natürliche Temperatursenken wie z.B. eine Wasserfläche.

Im gemäßigten kontinentalen Klima Nord- und Mitteleuropas ist die größte Herausforderung das Sammeln ausreichender Sonnenenergie in der kalten Periode.

Die kybernetische Architektur löst dieses Problem indem sie bestimmte Bauteile, (bevorzugt Fassade oder Dach), bis hin zum ganzen Gebäude wie Sonnenkollektoren ausbildet. Die Maximierung der Solaren Gewinne geht Hand in Hand mit der Planung ausreichender Speichermassen, einer wirksamen Beschattung und einer effektiven und in besten Fall automatischen Entkopplung von Kollektor und Nutzraum.

Studien haben bewiesen, dass bereits ein Kastenfenster, das einfachste aller Kollektorelemente, beim gleichen U-Wert eine bessere Energiebilanz als ein Passivhaus-Fenster erreicht<sup>4</sup>. Die Effektivität von wärmeenergiegewinnenden, energetisch-dynamischen Bauteilen und Raumstrukturen wurde bereits in der Praxis als auch wissenschaftlich belegt. Das prinzipielle Hindernis zu ihrem verbreiteten Einsatz liegt in der „Unbeherrschbarkeit“, vor allem im Vergleich zu den verlustreduzierenden Wärmeschutzstandards, die dank statischer Berechnungsmethoden und einer unterstützenden Gesetzeslage einfacher zu planen, nachzuweisen und umzusetzen sind.

#### **4.4.1 Wohnen im Kollektor: Das Patchworkhaus in Müllheim (DE)**

Das Patchworkhaus wurde 2005 in einer von freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern geprägten Siedlung in der grünen Peripherie von Müllheim gebaut. Die Planung stammt vom Büro Pfeifer, Roser, Kuhn Architekten. Das Areal ist an ein Biomasse-Fernwärmenetz angeschlossen, das dem Gebäude die notwendige Energie für Warmwasser und Zusatzheizung liefert. Die lockere Bebauung, die Orientierung des Hauses und seine Position auf dem Grundstück gewährleisten eine fast uneingeschränkte Besonnung über das ganze Jahr hinweg.

---

<sup>4</sup> „Das Passivhaus Institut zertifizierte im Jahr 2002 ein Holz-Kastenfenster aus zwei Fenstern mit  $U_g = 1,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und bestätigt: „Wegen der tiefen Zargen aus Holz und durch die Verwendung von 2fach Wärmeschutzverglasungen ergibt sich ein  $U_w$ -Wert von  $0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , der im Vergleich zu anderen Passivhausfenstern sehr gut ausfällt“ (Tersluisen, 2012, S.85)



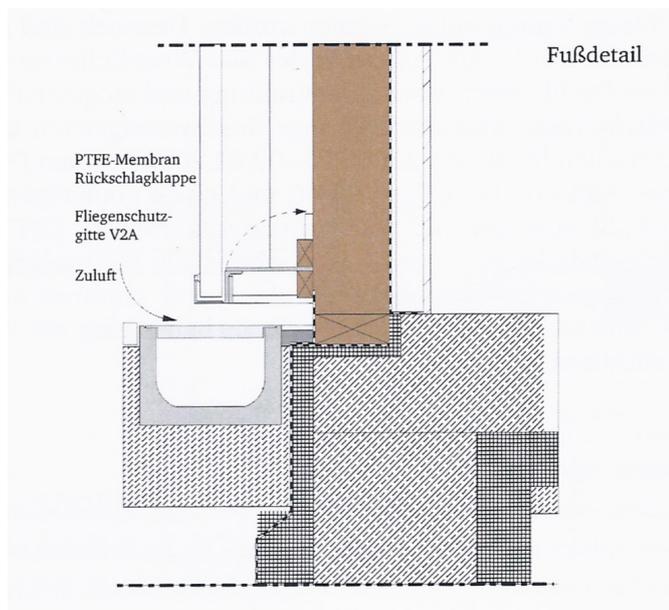
**Abbildung 20: Patchworkhaus Müllheim, 2003 (Pfeifer, Tersluisen, & Nasrollahi, 2012, S. 37)**

Das Gebäude ist eine unkonventionelle Ausformulierung des Doppelhauses. Die beiden Bewohnerfamilien teilen sich einen über drei Ebenen offenen Gemeinschaftsraum, der gleichzeitig als Luftkollektor, Stiegenhaus und Aufenthaltsraum funktioniert. Darüber hinaus hat jede Partei eine eigene Küche und ein Wohnzimmer im Erdgeschoss, zwei Schlafzimmer mit Bad und Toilette im 1. Obergeschoss sowie ein zusätzliches Zimmer im 2. Obergeschoss. Damit keiner benachteiligt wird, wurden die Wohnbereiche nicht aufeinander gestapelt, sondern auf jeder Ebene um 90° gedreht. Diese Anordnung der Räume gewährleistet, „*dass jeder Familienteil an jeder Himmelsrichtung teilhaben kann und die jeweilige Nutzung der Räume der Himmelsrichtung entsprechend variieren könnte*“ (Tersluisen, 2012, S. 111)



**Abbildung 21: Grundrisse EG, 1.OG und 2.OG (www.kul-architekten.de)**

Im ganzen Haus wurden keine klassischen Dämmstoffe verbaut. Die äußere Hülle besteht aus zwei Materialien: Die gegenüberliegenden Giebelseiten sind aus massiven Leichtbetonsteinen, während eine durchgehende Schicht aus Polycarbonat-Mehrkammerstegplatte das Gebäude von der Süd-West Fassade, über das Dach bis zum Nord-Ost Fassade umschließt. Innenwände und -decken wurden aus Beton gebaut und generell roh bzw. ohne Trittschalldämmung belassen, damit sie als Speichermasse dienen können. Die transluzente Fassade bildet, zusammen mit den in 16cm Abstand dahinterliegenden Traufwänden und Dachschrägen aus massiven Brettstapelelementen, zwei großflächigen Kollektorflächen aus. Diese sind unmittelbar und permanent über den inneren Luftraum verbunden, der so zu einem Energiegarten und -verteilteraum wird. Wenn die Sonne scheint, strömt die erwärmte Luft im Kollektor nach oben. Der im Luftspalt entstandene Unterdruck lässt die Folienklappe am Fußpunkt des Kollektors aufgehen und frische Luft nachströmen. Bei fehlender Einstrahlung findet kein Auftrieb statt und die Folienklappen bleiben geschlossen: die ruhende Luftschicht wirkt wie eine Dämmung.



**Abbildung 22: Fußdetail Fassade (Terluisen, 2012, S. 128)**

*„Die Steuerung von Erwärmung und Kühlung erfolgt primär über Lüftungsöffnungen in der Dachfläche. Sind die Klappen geöffnet, soll die erwärmte Luft abströmen und kühlere nachziehen. Der Kollektor wird entladen. Bleiben die Klappen geschlossen, soll sich die über (...) die Hülle gewonnene Wärme im Dachspitz ansammeln. Hier*

sorgt ein Gebläse für den Transport der warmen Luft in das Erdgeschoss – der Kamin funktioniert sozusagen andersrum – die warme Luft wird nach unten gedrückt und vom Erdgeschoss über Auftrieb verteilt.“ (Tersluisen, 2012, S. 111)

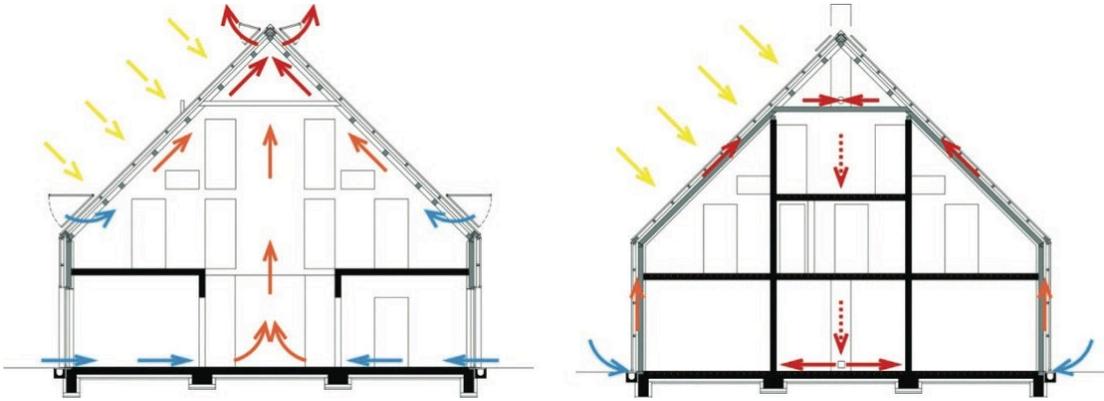


Abbildung 23: Schema Luftführung im Sommer und Winter, (www. Baunetzwissen.de, 4.3.2016)

Ein Monitoring über zwei Jahre hat die Simulationsergebnisse über das positive energetische Verhalten in der Übergangszeit durchaus bestätigt. Die Messdaten aus den Extremzeiten zeigten hingegen Verbesserungsbedarf. Im Winter konnten im ersten Jahr die an sich ausreichende Energiegewinne nicht effektiv verteilt werden, so dass das Erdgeschoss für mehr als 100 Stunden pro Jahr unter 20°C blieb. Das Problem wurde effektiv mit der Installation eines Temperaturfühlers gelöst, der den Ventilator nutzerunabhängig steuert. Viel ausgeprägter ist die Überhitzungsproblematik während der Kühlperiode. Die Innenraumtemperaturen sind sehr stark von der Strahlungsintensität abhängig und verursachen, vor allem im 2.OG, eine große Nutzungseinschränkung: die Messwerte zeigen, dass von Mai bis August die Temperatur im obersten Geschoss fast durchgehend über 26°C lag. Die Ursache dieses „Hitzestaus“ liegt im Wesentlichen:

- in der räumlichen Untrennbarkeit von Kollektor und Dachgeschoss
- in der wetterabhängigen Nutzbarkeit der Lüftungsöffnungen
- in der firstnahen Lage der Entlüftungsklappe, weil sich dadurch die warme Luft im Dachraum ansammelt, bevor sie das Gebäude verlässt.

*„Sowohl die Simulations-, als auch die Messergebnisse beziffern große Potenziale der Energieraum- und Kollektorkonstruktionen, nutzbare Wärmeenergie entsteht bereits bei geringen Strahlungsdichten und unabhängig der Außentemperaturen.“*

(...) (Derartige) *Gebäudestrukturen können bei Einhaltung identischer Wärmedurchgangskoeffizienten den Heizwärmebedarf durch entwerferische und konstruktive Entscheidungen auf unter 50% senken.*“ (Pfeifer, Tersluisen, & Nasrollahi, 2012) Ein Schwerpunkt der Planung liegt eindeutig in der Studie des Somerverhaltens. Die Vorteile der kalten Jahreszeit dürfen sich nicht in Nachteilen während der warmen Saison umwandeln, ansonsten bedingen die großen winterlichen Energiegewinne noch größere sommerliche Überschüsse. Wirksame und unverzichtbare Maßnahmen für eine gute Behaglichkeit in der Kühlperiode sind:

- eine nutzer- und wetterunabhängige Entkoppelung der energiegewinnenden und –nutzenden Raumstrukturen
- hochwirksame außenliegende Verschattungen.

#### 4.5 Lustenau 2226 - Ein Gebäude als Manifest

Das Haus Lustenau 2226 wurde vom Architekturbüro be baumschlager eberle als Selbstauftrag für den eigenen Firmensitz in Lustenau, circa anderthalb Kilometer von der Schweizer Grenze, konzipiert. Nach einer 6-jährigen Planungsphase wurde es im Sommer 2013 fertiggestellt und bezogen. Im Erdgeschoss des skulpturhaften Kubus befinden sich eine Kunstgalerie und die Cafeteria. Die fünf Regelgeschosse sind Büroetagen: zwei davon werden vom Architekturbüro genutzt, die anderen drei werden vermietet. Auch eine Mischnutzung ist möglich, wobei die maximale Wohnfläche mit 10% der Gesamtnutzfläche gedeckelt ist.



Abbildung 24: Lustenau 2226, Außenansicht (<http://www.ziegel.at>, 5.3.2016)

In die Konzeption dieses Gebäudes ist das Wissen einer jahrzehntelangen Auseinandersetzung mit dem Begriff „nachhaltiges Bauen“ eingeflossen. Die Grundaussage findet im Namen des Hauses Ausdruck: „2226“ steht für die Temperaturintervalle zwischen 22 und 26°C, die weltweit anerkannt als „angenehm“ und „behaglich“ empfundene Raumtemperatur gilt. Die selbstgestellte Aufgabe lautete: „*Wie kann ich das höchste Maß an Komfort mit dem niedrigsten Aufwand an Technologie herstellen?*“ (Eberle & Walden, 2013, S. 601) Die kompromisslose, fast

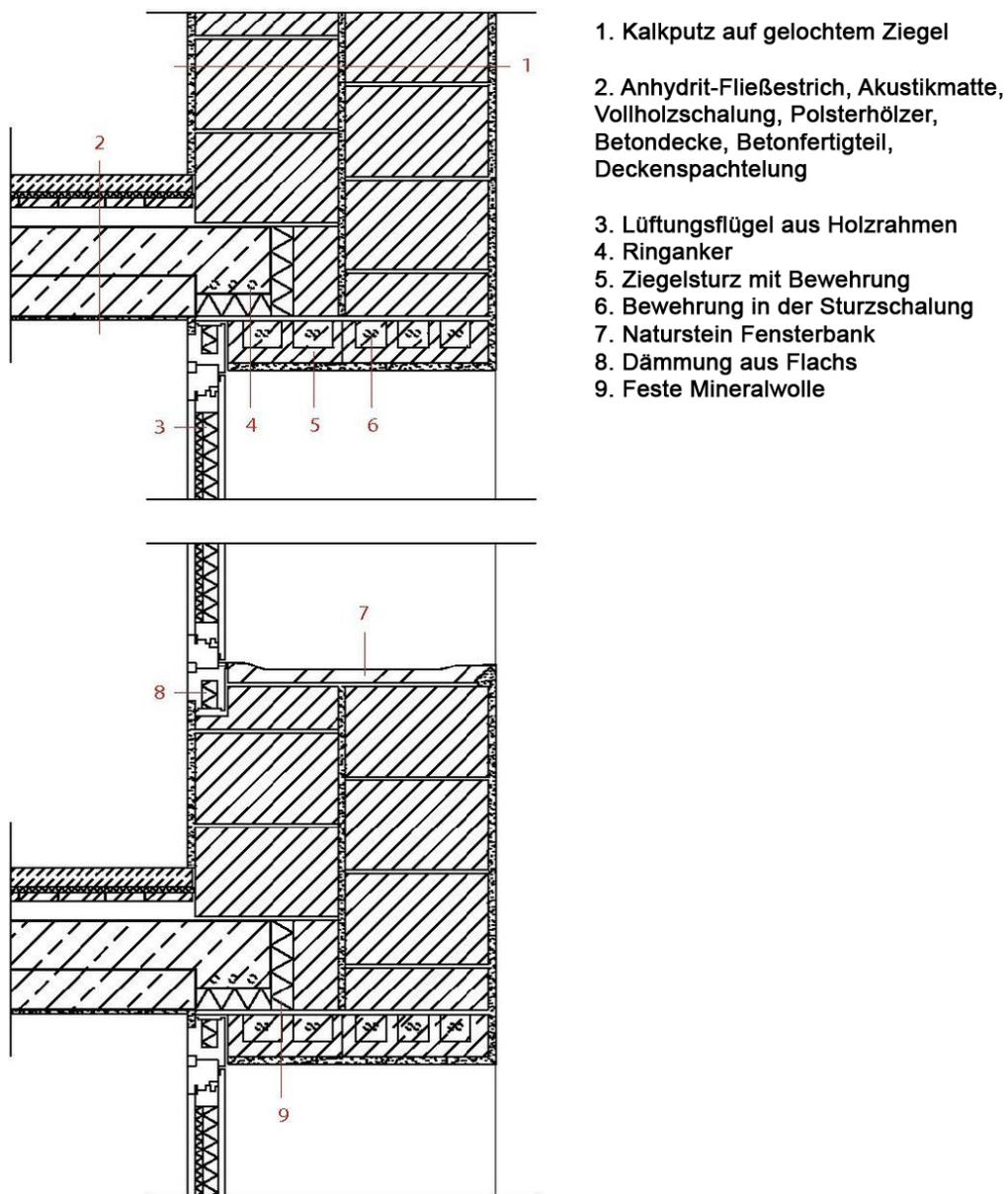
manifestartige Antwort ist ein Gebäude ohne Heizung-, Kühlung- und Lüftungssysteme - eine streng wörtliche Umsetzung des Begriffs Passivhaus. Die gesamte Technik des Hauses steckt in der innovativen, ausgeklügelten Software, die gleichzeitig das Innenraumklima überwacht und die Energieströme steuert.

Die Außenhülle wurde berechnet und optimiert, bis sichergestellt war, dass der Heizwärmebedarf in der kalten Jahreszeit allein über die internen Gewinne gedeckt werden konnte. Die gemeinhin nur für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung berücksichtigten *internen Lasten*, sind im Haus 2226 die einzigen Wärmequellen, die das Gebäude im Komfortbereich halten: die Menschen, die Bürogeräte und die Beleuchtung<sup>5</sup>. Die Außenwände bestehen aus zwei, jeweils 38 cm starken, ineinander verzahnten Ziegelsteinschichten: die externe Schicht, mit einem höheren Lochungsanteil, erfüllt die dämmende Funktion; die innere Schicht trägt die Last der Betonfertigteildecke ab. Trotz ihrer beachtlichen Stärke übernehmen Außen- und Innenwände nur 22% der gesamten Speicherkapazität. Der Rest der effektiven Speichermasse steckt in den Decken und Böden. Die thermische Trägheit ist, zusammen mit den besonders niedrigen U-Werten von Fenstern (0,6 W/m<sup>2</sup>K) und Wänden (0,01 W/m<sup>2</sup>K) ein Schlüsselpunkt des Gebäudekonzepts. Entsprechend den Simulationen soll die innere Temperatur nach ca. einer Woche ohne Benutzung um nur ein Grad sinken.

Das größere thermische Problem von Büros ist in der Regel allerdings die Überhitzung. Um diese zu vermeiden wurden die Fassaden mit lediglich 24% verglasteter Fläche sehr geschlossen gehalten; zudem sind die fast raumhohen aber relativ schmalen Fenster innenbündig in tiefen Nischen eingebaut und somit selbstverschattend.

---

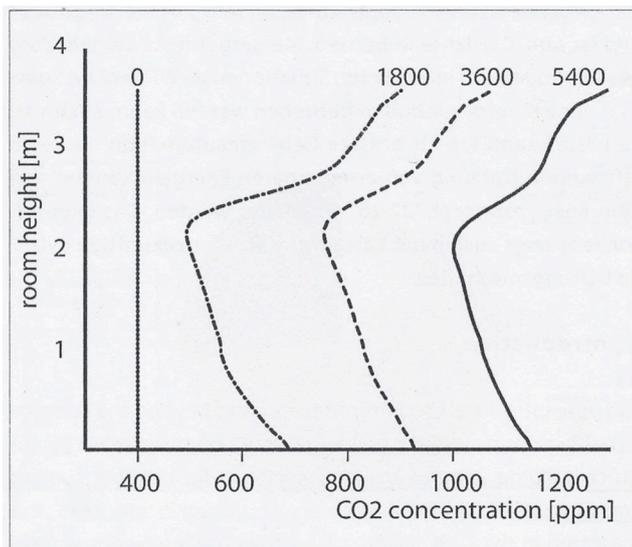
<sup>5</sup> „Als besonders wichtige Ressource des Energiekonzeptes des Hauses 2226 gilt der Mensch selbst. Laut Eberle wird er in der normalen Energiebedarfsrechnung als eine Art Störfaktor betrachtet und immer konstant gesetzt. Nicht selten wird sein Verhalten getadelt und als Grund genannt, wenn die errechneten Zielwerte nicht eingehalten werden. Im Haus 2226 sind die Nutzerinnen und Nutzer der Ausgangspunkt für energetische Überlegungen“ (Pestalozzi, 2015)



**Abbildung 25: Vertikalschnitt durch die Außenwand (db-deutsche bauzeitung, Dezember 2103)**

Die energetischen Transmissionsverluste sind mit einer so guten und dichten Hülle annähernd vernachlässigbar. Diese effektive Maßnahme zur Energieeinsparung darf allerdings nicht auf Kosten der Luftqualität gehen, die eine zentrale Rolle in der Leistungsfähigkeit der Nutzer spielt. Die Lösung hatte das Büro Baumschlager Eberle bereits im e-Science Lab Gebäude an der ETH-Zürich ausprobiert, wo die Lüftung der Hörsäle über CO<sub>2</sub>-Fühler gesteuert wird. Die CO<sub>2</sub> Moleküle verteilen sich nicht homogen in dem zur Verfügung stehenden Volumen, sie schichten sich

von unten nach oben erst mit sinkender und im oberen Drittel wieder mit rasch steigender Konzentration. Die außerordentliche Raumhöhe der Büroetagen von 3,36m (im EG sogar 4,21m) ist kein reiner Luxus sondern als Folge dieser physikalischen Beobachtung ein wichtiger Faktor im Energiekonzept. Dadurch können die Zeitintervalle zwischen den Stoßlüftungen signifikant verlängert und die Wärmeverluste stark eingeschränkt werden.



**Abbildung 26:** Die Kurven zeigen die CO<sub>2</sub>-Schichtung in einem 10 qm großen Raum mit einer 3,6 m Höhe, jeweils nach 30, 60 und 90 Minuten (Junghans, 2015)

Im Haus 2226 ist jeder Raum mit einem Sensor ausgestattet, der die Temperatur, die relative Luftfeuchte und die CO<sub>2</sub> Konzentration misst. Die Temperaturschwankungen werden von der Speichermasse gepuffert; der Anstieg der CO<sub>2</sub> Konzentration wird in erster Linie durch die größere Raumhöhe und fließende Volumen verlangsamt und bei Überschreitung des Sollwertes durch automatisches Öffnen der vertikalen Lüftungsklappen rückläufig gemacht. Das Haus wird ausschließlich über die Fenster natürlich gelüftet. Die Lüftungsklappen können sowohl manuell als auch automatisch über die softwarebasierte Steuerung geöffnet und geschlossen werden.

Das Hochformat der Fenster und Lüftungsflügel ist sowohl gestalterisch als auch bauphysikalisch begründet. Durch die Höhe der Verglasung und den Wegfall des Sturzes wird die Decke homogen belichtet und reflektiert das natürliche Licht gleichmäßig in die bis zu 12m tiefen Räume. Die Dimensionen und die schlanken Proportionen der Lüftungsflügel wurden nach mehreren Simulationen festgelegt, in

Abhängigkeit zu Faktoren wie Geschwindigkeit des Luftwechsels, Belegung, Druck- und Strömungsverhältnisse innerhalb und außerhalb des Gebäudes.

*„Ein teures Haus war „2226“ trotz alledem nicht: Willem Bruijn (Managing Partner bei be baumschlager eberle; Anmerkung der Autorin) beziffert die Baukosten gemäß ÖNORM 1801 auf 950 Euro/m<sup>2</sup> – netto, ohne Mobiliar und Grundstückskosten. Die Mehrkosten gegenüber einem Durchschnittsgebäude, die sie für die enormen Raumhöhen, die zusätzliche Masse und die Langlebigkeit aufwendeten, sparten die Architekten also durch den Verzicht auf technische Ausstattung wieder ein.“*  
(Schoof, www.detail.de, 2014)

In den vielen Artikeln und Beiträgen, die gleich nach der Fertigstellung des Hauses 2226 von Fachzeitschriften veröffentlicht wurden, wird der innenraumklimatische Komfort generell gelobt. Einer der wenigen Kritikpunkte geht von der db-deutsche bauzeitung an die Raumakustik: *„Ausschließlich harte Oberflächen machen zuweilen den Gesprächspartner schwer verständlich.“* (Mäurle, 2013) Eine Verbesserung auch in dieser Hinsicht ist wahrscheinlich mit der Anbringung von Vorhängen eingetreten, die hauptsächlich wegen der sommerlichen Strahlungsasymmetrie nachträglich montiert wurden. (Junghans, 2015, S. 17)

## 4.6 Think global, build social!

„Architektur ist nicht bloß eine Frage der Technik und der Ästhetik, sondern der Rahmen für eine – im besten Fall vernünftige – Lebensweise“ (Bernard Rudofsky, zitiert nach Hönger, 2013, S.12)

Der begeisterte Ausruf *Think global, build social!* stand als Titel für eine Ausstellung, die Andres Lepik 2013 für das Architekturzentrum Wien und das Deutsche Architekturmuseum in Frankfurt kuratierte. Fast alle ausgewählten Gebäude sind als Hilfsprojekte entstanden, geplant und gebaut von westlichen Teams in Kooperation mit den lokalen Nutzern. Jedes Projekt schafft auf beeindruckende und individuelle Weise aus der Not der Rahmenbedingungen eine Tugend zu machen und gleichermaßen hohen ästhetischen und sozialen Ansprüchen Rechnung zu tragen. Paradoxaerweise konnten die vielen finanziellen, materiellen und produktiven Einschränkungen die Kreativität der Planer beflügeln, anstatt sie zu beschneiden. In der westlichen Welt geschieht scheinbar das Gegenteil: die fast unbegrenzte Auswahl an gestalterischen Möglichkeiten führt zu oft zu einer Willkürlichkeit der Formen. Der Vergleich mit den *Think global, build social!* Projektansätzen verdeutlicht wie sich die westliche Architektur von der sozialen Verantwortung entfernt und zu einer hochspezialisierten Disziplin entwickelt hat, die die Perfektion in dem „wie“ verfolgt und dabei die Frage des „warum“<sup>6</sup> nicht mehr stellt.

Die soziale Komponente und der Gebrauchswert der Architektur spielten bei den „Helden“ der Moderne und des Neuen Bauens eine zentrale Rolle. Das deklarierte Ziel der Architekten aus den 1920er und 30er Jahren war die Verbesserung der Lebensbedingungen, insbesondere die der niedrigeren Einkommensschichten. In einer positiven Interpretation der damaligen gesellschaftlichen Ordnung, verstanden die Architekten ihr Beruf wie ein „dienst am volke“ (Mayer, 1929), wobei in dieser Auffassung eine typische Umkehrung der realen sozialen Hierarchie stattfand. Die Architekten, als Repräsentanten der intellektuellen Elite, entwickelten im Rahmen

---

<sup>6</sup> siehe De Carlo, „Il pubblico dell' architettura“, in: *Parametro* 5 (1970), zitiert nach „Die Öffentlichkeit der Architektur. Die Studentenrevolte und die Frustration an den Architekturschulen“, in *ARCH+* 211/212 (2013)

mehrerer staatlicher Förderprogramme neue Siedlungsformen, die tatsächlich eine konkrete Antwort auf die damalige Wohnungsnot gaben, allerdings mehr nach der Logik und den Kriterien der Auftraggeber als der Nutzer. Giancarlo De Carlo sieht in einem Artikel für „Parametro“ aus dem Jahr 1970 in dieser (traditionellen) Kooperation der Architekten mit der Macht (sei es die Regierung oder das Kapital) die Wurzel für den Glaubwürdigkeitsverlust und die Entfremdung der Architektur von den Leuten, die „die Architektur gebrauchen und ertragen“. (De Carlo, 2013, S. 89).

Schon seit den 1950er Jahren versuchten die Mitglieder des Team X (darunter Alice und Peter Smithson, Aldo van Eyck und De Carlo selbst) durch ihre Feldforschungen, theoretischen Texte und ihr praktisches Werk den Bogen zwischen Ethik und Ästhetik zu spannen. In der gleichen Zeit, insbesondere dank der Arbeiten des Ägypters Hassan Fathy, begann die Wiederentdeckung des vernakulären Bauens und die Kritik an den universalistischen Anspruch der Moderne. Diesen vielen verschiedenen Ansätzen wurde offizielle Anerkennung zuteil, als 1964 das MoMA die Ausstellung *Architecture without Architects* von Bernhard Rudofsky präsentierte. *„Seine Ausstellung zeigte die Schönheit, aber auch die ökologische und soziale Vorbildhaftigkeit einer Architektur, die aus lokalen Materialien und Traditionen erwuchs und war als Gegenposition zu einer in dieser Zeit immer weiter in Formalismen erstarrten Moderne lesbar.“* (Lepik, 2013, S. 8) Das geschah interessanterweise am selben Ort, an dem zweiunddreißig Jahren zuvor der International Style als globale Architektursprache präsentiert wurde.

Im Gegensatz zur programmatisch gesellschaftlichen Verantwortung der Moderne und zur mobilisierenden Kritik der 60er und 70er Jahren gegen die technisch-industrielle Zivilisation, sind es heute sehr pragmatische Überlegungen, die dem sozialen Anspruch und der Anwendung von traditionellen Bauweisen und Materialien zugrunde liegen. Die finanzielle Knappheit und die Not der Situation werden als konkrete, ernste aber momentane Rahmenbedingungen interpretiert, die es mit Hilfe der Architektur zu überwinden gilt. Die Errichtung einer Schule, eines Gemeinde- oder eines Frauenzentrums ergänzt einerseits eine fehlende soziale Infrastruktur, kann aber andererseits parallel dazu nachhaltige und dynamische Prozesse anregen, Arbeitsplätze schaffen, handwerkliche Fähigkeiten entwickeln, und die Leute auf Basis der Partizipation und der Aneignung der neuen Projekte stärker an ihre Gemeinschaft binden.

In erster Linie ist es die Knappheit der finanziellen Mittel, die zu folgenden Maßnahmen führt:

- ausschließlicher Einsatz lokaler Ressourcen, sowohl bei Baustoffen als auch für die Arbeitskraft auf der Baustelle
- Verzicht auf technische Anlagen
- partizipative Einbindung der Bewohner und künftigen Nutzer bei der Errichtung.

Es findet dabei ein Phänomen statt, das besonders in Bezug auf Lehm- und Ziegelmasonry auffällig ist. Der kulturelle Kolonialismus war so prägend, dass für die meisten Menschen aus den sogenannten Entwicklungsländern das erstrebenswerte Ideal immer noch ein Haus „aus Zement oder Ziegel mit Wellblechdach“ ist (Roswag, 2012, S. 223) - und das trotz der allgemein bekannten Probleme wie Überhitzung und Schimmelbildung, die durch den Einsatz dieser Materialien verursacht werden. Erst durch das Interesse und die Anerkennung der Architekten aus den industrialisierten Ländern werden die autochthonen Bauweisen und Materialien von der lokalen Bevölkerung wieder bewusst als kulturelle Tradition wahrgenommen und geschätzt.

Die Projekte, die sich unter dem Motto *Think global, build local!* subsumieren lassen, sind unter sozialen, technischen und finanziellen Bedingungen entstanden, die in industrialisierten Ländern in der Regel nicht existieren. Sie wecken allerdings, sowohl in Europa als auch in den USA, ein derartiges Interesse und eine Aufmerksamkeit, die über die Faszination für das Exotische und die Neugier für das Unbekannte hinaus geht. Diese Projekte sprechen wieder Aspekte der architektonischen Praxis an, die in der westlichen Architekturauffassung verloren gegangen sind – aber offensichtlich vermisst werden. Es geht primär um ein Bewusstsein für die gesellschaftliche Verantwortung der Architektur. Es geht aber auch um eine Umstellung der Rolle des Architekten: er muss „zum *Inspirator, Motivator und Initiator sozialer Prozesse werden. Er muss aus sich heraustreten und zum Agitator seiner selbst (nicht einer Ideologie) werden, um eine Öffentlichkeit für sein Projekt herzustellen, Finanziers zu gewinnen und Mitstreiter zu überzeugen.*“ (Kuhnert, Ngo, & Hansmann, Bauen und gebrauchen. Für eine neue Öffentlichkeit der Architektur., 2013, S. 3)

#### 4.6.1 Die Schule in Gando (Burkina Faso)

Die Projekte von *Think global, build social!* streben „die konkrete Veränderungen von räumlich definierten Situationen durch architektonische Mitteln und Planung“ an (Lepik, 2013, S. 8). Im Fall von Gando, dem Heimatdorf von Francis Kéré, hat die Realität das Ziel übertroffen. Durch die kontinuierliche Einbeziehung der Bewohner, angefangen mit der Mitbestimmung in der Planungsphase bis zu den Konstruktionsarbeiten auf der Baustelle, wurden Prozesse auf unterschiedlichen Ebenen angeregt, die eine nachhaltige Entwicklung im Dorf und in der gesamten Region bewirkt haben.

Gando ist ein Dorf mit etwa 3000 Einwohnern in der Sahelzone, einer sehr trockenen und heißen Region in Burkina Faso; das Land befindet sich, laut „UN-Index für Menschliche Entwicklung“ aus dem Jahr 2011, unter den 7 am wenigsten entwickelten Ländern der Welt.

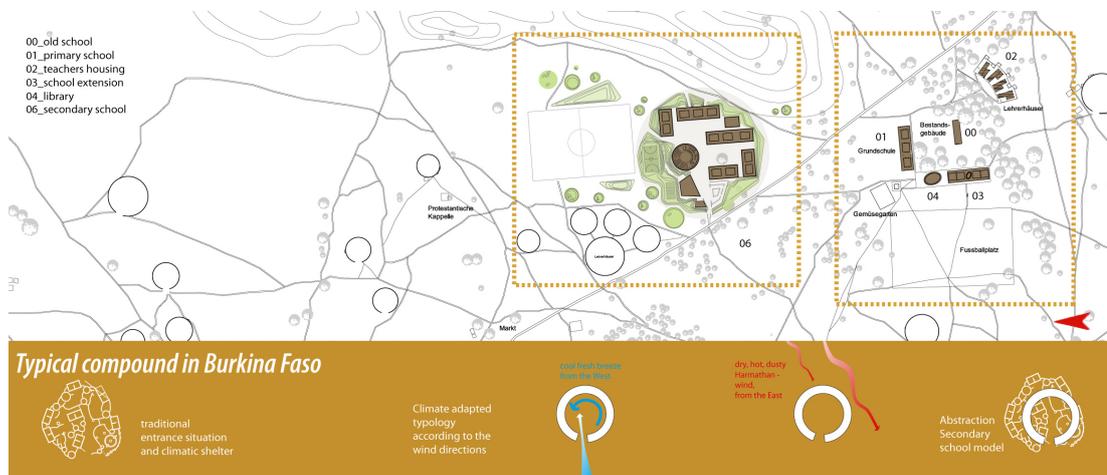


Abbildung 27: Das Dorf von Gando (<https://upload.wikimedia.org>, 17.3.2016)

Alles begann mit der einsturzgefährdeten Dorfschule und Kérés Entscheidung, die neue Schule selbst zu planen und als Diplomthema für den Abschluss an der TU Berlin zu präsentieren. Um das Projekt zu finanzieren wurde 1998 der gemeinnützige Verein „Schulbausteine für Gando“ gegründet und bereits 2001 ging die neue Grundschule für 120 Kinder in Betrieb. In den folgenden Jahren wurde die Schule stetig ausgebaut und kann mittlerweile mehr als 1500 Schülern besucht werden. Neben der Grundschule, die im Jahr 2006 mit drei zusätzlichen Klassen,

einer Bibliothek und einer Küche erweitert wurde, sind sechs Lehrerwohnhäuser entstanden; 2010 kamen eine weiterführende Schule mit 12 Klassen, ein Verwaltungsgebäude, eine Aula und mehreren Sportplätze dazu.

Das Bildungszentrum in Gando gilt heute als eine der besten Schulen des Landes.

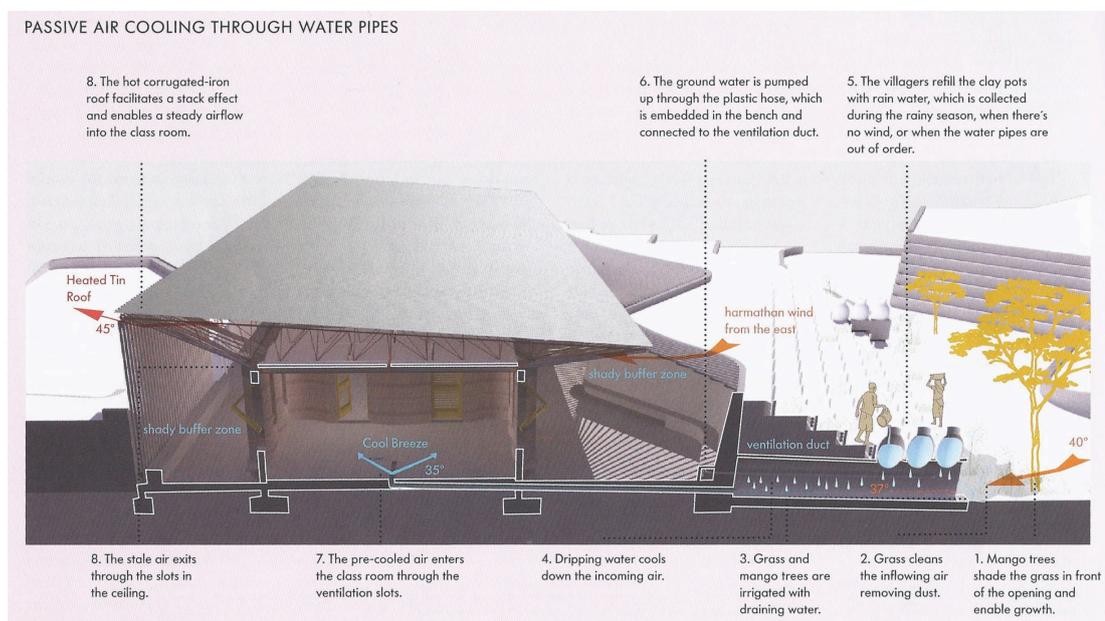


**Abbildung 28: Lageplan Schulzentrum in Gando (<https://www.lafargeholcim-foundation.org/>)**

Alle „Schulbausteine“ wurden mit der aktiven Beteiligung der Dorfbewohner errichtet und weisen die gleichen Grundmerkmale auf: lokale Baumaterialien, traditionelle Bauweise, keine Haustechnik. Neben diesen wiederkehrenden Elementen erkennt man in jeder Bauphase wie bestimmte Komponenten von den Planern aber auch von den immer erfahreneren Arbeitskräften weiterentwickelt wurden. Beispielsweise wurden die flachen Ziegeldecken der Grundschule in den Erweiterungen durch leichte Gewölbe ersetzt, um die Betonträger zu entlasten und schlanker dimensionieren zu können.

In der weiterführenden Schule wurden gleich zwei wichtige Verbesserungen zu den bewährten Lösungen umgesetzt: ein natürliches Kühlungssystem und großformatige Lehmbauweise. Die heißen Temperaturen erschweren die Konzentration und beeinträchtigen die Aufnahmefähigkeit der Schüler sowie die Aufmerksamkeit der Lehrer. Der Einbau mechanischer Klimatechnik ist wegen der enormen Anschaffungs- und Betriebskosten keine praktikable Option für eine Dorfschule. Als Lösung wurde eine innovative passive Klimatisierung entwickelt, die den Wind, das physische Phänomen der Verdunstungskühlung und die natürliche Thermik der Klassenräume ausnützt. Als erstes wird die Außenluft beim Durchqueren einer kleinen Plantage von Mangobäumen, die an der Hauptwindseite des Gebäudes

wachsen, leicht erfrischt und vom Wüstenstaub gereinigt. Dann strömt sie durch Erdrohre, welche die geothermisch-bedingte Abkühlung mit Befeuchtung durch Wasser aus Regenwasserbehälter verstärken. Schließlich gelangt die filtrierte und gekühlte Außenluft durch Bodenöffnungen in die Klassen. Damit sich die Luft gut durchmischt und kein Kaltluft-See entsteht, hat man die Ziegeldecken streifenweise ausgespart und den Klassenraum in direkten Kontakt mit dem erhitzten Dachboden unterhalb des Wellblechdaches gesetzt. Der große Temperaturunterschied treibt die natürliche Thermik an, so dass die kältere Luft regelrecht aus den Bodenöffnungen in die Klassen hineingesaugt wird und ein leichter Luftzug entsteht, der die gefühlte Temperatur weiter absenkt. Mit diesem System erreicht man Innenraumtemperaturen, die durchschnittlich 5°C unter der Außenlufttemperatur liegen.



**Abbildung 29: schematische Darstellung des passiven Kühlungssystem (Kéré, Über Architektur der Notwendigkeit, 2013, S. 10)**

Die Außenwände der weiterführenden Schule sind nicht aus Ziegeln gemauert. Kéré begründet diese Entscheidung mit haptischen und praktischen Motiven: „Wir wollten den flexiblen Baustoff Lehm, der ja so geschmeidig ist, seinen natürlichen Eigenschaften entsprechend einsetzen und nicht wie Ziegel behandeln (...) Somit sparen wir den enormen Aufwand, die Steine zu pressen und zu mauern“ (Kéré, Das Material als Grundlage, 2013, S. 596)

Anders als bei den Vorgängerprojekten wurde hier für das erste Mal mit raumhohen

Wandmodulen gearbeitet. Die selbstaussteifenden Elemente bestehen aus einer Mischung aus Lehm mit einem sehr geringen Zementanteil. Sie wurden vor Ort über einem Steinfundament in die Schalung gegossen und erhielten nach der Austrocknung einen Betonabschluss als Ringträger

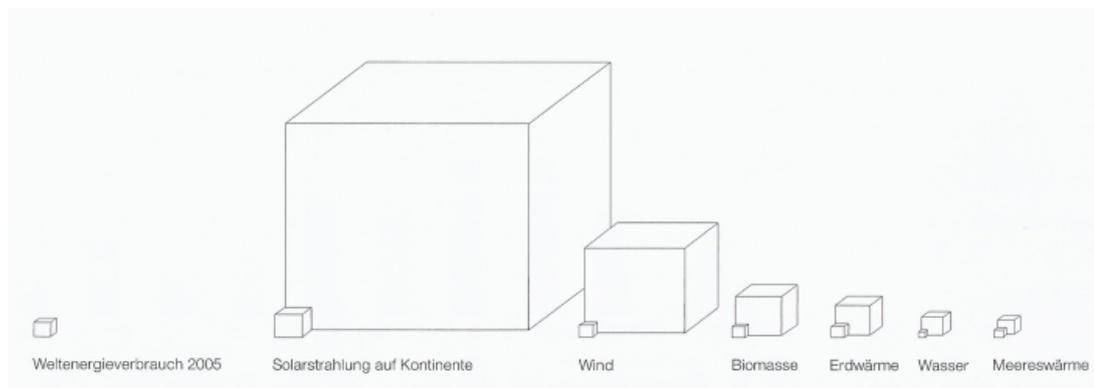


**Abbildung 30: die Baustelle der weiterführende Schule in Gando (www.fuergando.de, 13.3.2016)**

## 5 DISKUSSION UND PLANUNGSEMPFEHLUNGEN

Aus der Analyse der vorgestellten *best practice* Beispiele kann man Planungsempfehlungen für den mitteleuropäischen Raum formulieren, um die haustechnischen Komponenten zu minimieren ohne die Behaglichkeit zu beeinträchtigen.

In den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas muss durchschnittlich sechs Monate im Jahr für eine Erwärmung der Aufenthaltsräume gesorgt werden. Das sollte prinzipiell durch die Einbindung von vorhandenen Energieflüssen geschehen, sowohl aus der Natur (Sonne, Erde, Wasser) als auch aus menschlichen Prozessen (Produktion, Tierhaltung...). Unter der Voraussetzung einer guten Städtebau-Planung, die eine ausreichende Besonnung der Gebäude garantiert, ist die passive Nutzung der solaren Energie besonders effektiv. Neubauten sollen dafür die bewährten Instrumente der Solar-Architektur (Ausrichtung, thermische Gebäudezonierung, *sun spaces*, speichernde Materialien...) berücksichtigen und diese mit den konstruktiven Lösungen aus der Passivhaus-Entwicklung kombinieren. Die Integration der energiegewinnenden und -sparenden Maßnahmen löst die Probleme der Solararchitektur aus dem letzten Jahrhundert (siehe S.17) und lässt die Vorstellung von autarken Gebäuden immer realistischer erscheinen.



**Abbildung 31: theoretisches jährliches Potential (große Würfel im Hintergrund) und technisches Potential (kleine Würfel im Vordergrund) im Vergleich mit dem Weltenergieverbrauch 2005 (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 46)**

Der nutzungsbedingte Stromanteil soll lokal aus regenerativen Quellen gewonnen werden. „Aufgrund ihrer geringeren Energiedichte und ihrer räumlichen Verteilung eignen sich erneuerbare Energieträger wie Sonne, Wind oder Biomasse gut für eine dezentrale Strom- oder Wärmeerzeugung. (...) Auf diese Weise (können)

*Leitungsverluste weitgehend vermieden werden“ (Bointner, Ipser, & Stieldorf, 2012, S. 4)*

Der Einsatz von feuchteregulierenden, natürlichen Materialien kann einen wichtigen Beitrag leisten, um die erforderlichen haustechnischen Systeme zu reduzieren. Diese Materialien bewirken dank ihrer höheren hygri-schen Aufnahmefähigkeit einen ähnlichen Effekt wie die thermische Speichermasse und verringern sowohl die Raumlufffeuchte- als auch die Temperaturschwankungen. Weiters emittieren sie keine oder kaum Schadstoffe und tragen somit zur Reduzierung des Lüftungsbedarfs bei. Die Luftwechselrate hängt folglich nur von der CO<sub>2</sub> Konzentration ab und lässt sich in Konformität mit der Energiesparverordnung problemlos über die Fensterlüftung bewältigen. (Roswag, 2012)

Zuletzt soll die Gebäudeautomation erwähnt werden. Streng genommen geht es dabei um eine weitere Form des technischen Ausbaus, die aber schlankere und effizientere Haustechniksysteme ermöglicht. Die automatische Steuerung bestimmter Komponenten erleichtert die effektive Umsetzung von Low-Tech-Lösungen, die bis dato wegen ihrer Nutzerabhängigkeit nicht massentauglich waren – wie z.B. Nachtkühlung, Entlüftung von Kollektorräumen, freie Fensterlüftung in Büros... Eine Automationssoftware kann einiges an Haustechnik-Hardware ersetzen und dadurch, wie zum Beispiel im Haus 2226, viel Platz für den Nutzer zurückholen.

## 5.1 Tabellarische Übersicht

Die vorgestellten *best practice* Beispiele wenden alle unterschiedliche Strategien an, um die gewünschten Komfort Bedingungen zu erreichen. Angesichts der Komplexität der Interaktionen ist es hilfreich, jedes Konzept in mehrere Grundmaßnahmen aufzugliedern und diese gesondert zu betrachten und analysieren. Für einen besseren Überblick werden die verschiedenen Maßnahmen in der folgende Tabelle aufgelistet und vier übergreifenden Kategorien zugeordnet:

### 1. Form

Unter Form sind alle Aspekte gruppiert, welche die Geometrie und die Proportionen des Baukörpers betreffen, sowie seine Orientierung, seine externe (topographische) Anordnung und interne Zonierung und die gestalterischen Merkmalen der Fassade.

### 2. Material und Bauweise

In der Gruppe Material und Bauweise finden sich technische Eigenschaften der Außenhülle (Dichtheit, Wärmedurchgangskoeffizient) und einige wiederkehrende Aspekte wie die massive Bauweise (Speichermasse) und der Einsatz von feuchteregulierenden Materialien.

### 3. Energie

Unter Energie wird aufgelistet welche Art der natürlichen Energiequellen (Sonne, Erde, Wind), beziehungsweise in welcher Weise (zur Lüftung oder Kühlung) genutzt wird; auch die Einbindung der Prozesswärme ist hier eingeordnet.

### 4. Technik

Unter Technik sind die Gebäudeautomation und selbstregulierende Elemente wie z.B. „intelligente Fassaden“ gelistet.

	FORM						MATERIAL UND BAUWEISE					EINBINDUNG VORHANDENE ENERGIEFLÜSSE				TECHNIK			
	Morphologische Anpassung an Standortklima	Orientierung/Ausrichtung	Thermische Gebäudezonierung	Energieräume / Pufferzonen	Verhältnis transparente/opake Außenhülle	Außenliegender Sonnenschutz	Speichermasse	Dichtheit der Außenhülle	Niedriger U-Wert der Außenhülle	Verzicht auf herkömmliche Dämmung	Feuchteregulierende Materialien	Nutzung Solarthermie	Nutzung Geothermie	Prozesswärme	Freie Lüftung	Nachtkühlung	Verdunstungskühlung	Gebäude Automation	selbstregulierende Gebäudehülle
<b>Vernakuläre Architektur - Kinzigtäler Häuser</b>																			
Kompaktheit des Baukörpers	o																		
Wohnräume nach Süden ausgerichtet		o																	
Thermische Gebäudezonierung (Grundriss/Schnitt)			o																
Strohdach/feuchteregulierende Materialien										o									
Holzfassade und -trennwände										o									
Massives Erdgeschoss/Speichermasse							o												
Prozesswärme (Küche, Tierhaltung)													o						
Nutzung Geothermie												o							
<b>Solare Architektur - Zwillingshäuser in Trin</b>																			
Kompaktheit des Baukörpers	o																		
Thermische Gebäudezonierung (Grundriss/Schnitt)			o																
Wohnräume nach Süden ausgerichtet (30° von Süden)		o											o						
Energieräume/Nebeneräume als Pufferzonen				o									o						
Gemischte Massivbauweise (Holz, Ziegel, Beton)							o			o									
Verhältnis transparente/opake Außenhülle					o														
Natürliche (manuelle) Fensterlüftung														o					
Niedriger U-Wert der Außenhülle								o											
Dichtheit der Außenhülle								o											
Außenliegender beweglicher Sonnenschutz					o														
Außenliegende, nach Süden gerichtete Fensterfront												o							
Nachtkühlung														o	o				
<b>Kybernetische Architektur - Patchworkhaus</b>																			
Kompaktheit des Baukörpers	o																		
Massive Bauweise (Brettschichtholz, Beton)							o												
Verglasungen mit hohem g-Wert und niedrigem U-Wert									o										
Verglasungen zu den energetisch effektiven Richtungen <sup>1</sup>		o										o							
Kollektorkonstruktionen (als Bauteil bzw. Raum)				o								o						o	o
thermisches Entkoppeln der Kollektoren/Energieräume																			
Entlüftungsvorrichtungen														o	o				
Selbstregulierende Gebäudehülle																			o
Verzicht auf herkömmliche Wärmedämmung									o										
Nachtkühlung														o	o				
<b>Lustenau 2226</b>																			
Gebäude Automation																			o
Kompaktheit	o																		
Dichtheit der Außenhülle								o											
niedriger U-Wert <sup>2</sup>								o		o									
Gemischte Massivbauweise (Ziegel, Beton)							o												
Verzicht auf herkömmliche Wärmedämmung									o										
Überwachung von CO <sub>2</sub> , Temperatur und rel.Luftfeuchte																			o
Nachtkühlung																o			
Natürliche (automatisierte) Fensterlüftung														o	o				o
Prozesswärme (Geräte, Beleuchtung)													o						o
Kalkputz										o									
Verhältnis transparente/opake Außenhülle				o															
<b>Think global, build social! - Schule in Gando</b>																			
Orientierung		o																	
Ausladendes hinterlüftetes Dach	o				o														
Massive Lehmbauweise							o			o									
Nutzung Geothermie												o							
Wind - Schutzmassnahme: Eingrabung	o																		
Wind - zum Durchlüften/luftumspüler Baukörper	o													o					
Verdunstungskühlung																o			
Luftdurchlässige Fensterläden					o														
Nachtkühlung														o					

<sup>1</sup> Süden, dann Osten und Westen

<sup>2</sup> Fassade 0,08-0,1 W/m<sup>2</sup>K; Fenster 0,6W/m<sup>2</sup>K

## **5.2 Beschreibung der einzelnen Maßnahmen**

Durch den Vergleich wird ersichtlich, dass einige Maßnahmen bei mehreren oder sogar allen Strategien vorkommen. Das gilt für:

- morphologische Anpassung an das Standortklima
- Speichermasse
- Nachtlüftung
- freie Lüftung.

Die Berücksichtigung dieser vier Maßnahmen hat sich unabhängig vom Gebäudekonzept bewährt. Man kann daher festhalten, dass diese vier Maßnahmen als wichtigste Entwurfskriterien zur deutlichen Reduktion der TGA und somit im Sinne einer nachhaltigen Architektur zu verstehen sind.

### **5.2.1 Morphologische Anpassung an das Standortklima**

Eine klimakonforme Gestaltung der Baukörper sollte nicht nur zur Reduktion der haustechnischen Anlagen sondern generell zur Eingrenzung des energetischen Verbrauchs als Voraussetzung gelten.

In von der kalten Jahreszeit geprägten Regionen ist eine kompakte Form generell von Vorteil: durch die Minimierung der Außenhülle wird eine Reduktion der Transmissionswärmeverluste erreicht. In einer 2009 veröffentlichten Studie von der Hochschule Luzern wurde mit Simulationen belegt, dass Wohnbauten in einem gemäßigten kontinentalen Klima mit einer normgemäßen Außenhülle den kleinsten energetischen Heiz- und Kühlbedarf erreichen je kompakter sie sind. (Hönger, Brunner, & al., 2013)

Das ist in den Beispielen aus Lustenau und Trin gut erkennbar. Da beide ohne Heizung gebaut wurden ist die extreme Kompaktheit sogar noch wichtiger. Die unterschiedlichen Nutzungen sind hingegen in der grundverschiedenen Ausrichtung, Ausdehnung und Anordnung der Fensterflächen lesbar: beim Bürohaus sitzen die schmalen Fenster in tiefen Nischen, um durch Eigenverschattung der Überhitzung entgegen zu wirken; in den Einfamilienhäusern müssen die Solargewinne maximiert werden, daher liegen die großflächigen, südseitige Fensterfronten außenbündig in der Fassade.

Auch das Patchworkhaus besteht aus einem sehr kompakten Volumen - wobei diese Maßnahme für energiegewinnende Außenhüllen nicht immer zielführend ist, da die Maximierung der Fassadenfläche gleichzeitig einen höheren Wärmeertrag mit sich bringt. Die optimale *charakteristischen Länge* (Verhältnis Volumen/Oberfläche) sollte bei solchen Gebäuden mit Hilfe von Simulationen in der Planungsphase festgelegt werden.

In Gando, wo das Klima sehr heiß, trocken und von kurzen Perioden starker Regengüsse geprägt ist, wurde die Ausdehnung der Volumen so konsequent vollzogen, dass jeder Raum für sich allein steht und nur durch das schwebende Dach und den durchgehenden niedrigen Sockel in die Gebäudeeinheit eingegliedert wird. Die allseitig weit auskragende Dachfläche bildet in der Trockenzeit einen schattigen und in der Regensaison einen trockenen Außenbereich. Eine analoge Schutz- und raumbildende Funktion haben auch die Dächer der Kinzigtäler Häuser. Aufgrund der Schneemengen und der häufig vorkommenden Windböen sind die Dachflächen dort allerdings deutlich steiler.

### **5.2.2 Speichermasse**

Bei allen analysierten Beispielen leistet der Einsatz von Speichermasse einen wichtigen Beitrag im Gebäudekonzept. Speichermassen sind in Zusammenhang mit der Nutzung der Solarstrahlung ein bewährtes und einfaches Element um die Gegenläufigkeit von Energieangebot und -bedarf auszugleichen. Weiters können Speichermassen die Größe der Temperaturschwankung eingrenzen und die Entstehung des sogenannten „Barackenklimas“ vermeiden.

Zur Ermittlung der erforderlichen Speichermasse sind vor allem zwei Faktoren wichtig:

1. die Eindringtiefe und die entsprechende Stärke der zur Energiespeicherung thermisch aktivierbaren Schicht;
2. der Ausgleich zwischen dem Energiedurchlass der Verglasung und der zur Verfügung stehenden Wärmespeicherkapazität, da sich die Räume an sonnigen Tagen ansonsten überhitzen können. Eine außenliegende Verschattung kann die Menge der einfallenden Solarstrahlung regulieren.

Eine massive Bauweise bedeutet notwendigerweise die Erhöhung der eingebauten Grauen Energie. Obwohl dieser Mehraufwand größtenteils durch den niedrigeren Betriebsenergiebedarf kompensiert wird, ist eine undifferenzierte massive Bauweise

nicht immer zielführend. Im Wohnungsbau reichen massive Böden, Decken und Kernwände generell aus, um ein ausgeglichenes Raumklima zu gewährleisten; die Trenn- und Außenwände können in Leichtbauweise ausgeführt werden (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 76). Beim Bürohaus in Lustenau mussten allerdings auch die Innenflächen der Ziegelfassade als Speichermasse wirksam sein, um die für ein Büro typischen hohen Wärmelasten zu puffern.

Eine unerwünschte Nebenerscheinung eines hohen Anteils an verfügbarer Speichermasse kann die Verschlechterung der Raumakustik sein, wie es auch im Haus 2226 der Fall ist (siehe S. 41). Das hängt mit den physikalischen Eigenschaften zusammen, die speicherfähige Materialien charakterisieren. Die besten konstruktiven Speicher sind massive, nicht poröse Baustoffe wie Vollziegel, Kalkputz oder Stahlbeton; ihre Härte und Kompaktheit wirkt sich besonders in Bezug auf die Nachhallzeiten negativ aus.

### **5.2.3 Nachtlüftung**

Für eine optimale Wirksamkeit der Speichermasse sind ein unmittelbarer Kontakt zum Raum und eine gute Luftumspülung erforderlich. Die Aufnahme der Wärmeenergie kann direkt aus der Umwandlung der Sonnenstrahlung oder indirekt aus der Luft über Konvektion erfolgen. Wenn die Raumtemperatur sinkt wird die gespeicherte thermische Energie in Form von Strahlungswärme emittiert: die Speichermasse kann sich entladen und ist damit wieder aufnahmefähig. Damit dieser sogenannte regenerative Prozess der Speichermasse auch in der warmen Jahreszeit stattfindet, ist eine Umspülung mit der kalten Nachtluft notwendig, da ansonsten die Speicherfähigkeit durch die Restwärme eingeschränkt wird.

Bei einer Nachtlüftung besteht immer die Herausforderung, die Lüftungsvorrichtungen so zu planen, dass sie sowohl wetter- als im besten Fall auch nutzerunabhängig funktionieren. In städtischen Umgebungen muss zusätzlich noch der Lärmpegel berücksichtigt und gegebenenfalls schallschützende Elemente vorgesehen werden.

### **5.2.4 Natürliche Lüftung**

Alle ausgewählten Beispiele werden ausschließlich natürlich belüftet.

In Gando, wo angesichts des extrem trockenen Klimas der Einsatz einer mechanischen Lüftung durchaus sinnvoll vorkommen könnte, war die natürliche Lüftung eine Notwendigkeit, da die Anschaffungs- und Betriebskosten für eine Klimaanlage nicht finanzierbar gewesen wären. Im mitteleuropäischen Raum sind

die Außentemperaturen hingegen während mehr als 70% des Jahres für eine freie Lüftung geeignet (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 100). Eine freie Lüftung ist daher grundsätzlich immer erstrebenswert. Trotzdem kann auch hier die Entscheidung für eine natürliche Lüftung eine planerische Herausforderung werden, aufgrund der strengen normativen Behaglichkeitskriterien, der örtlichen Rahmenbedingungen und nicht zuletzt wegen der verbreiteten wirtschaftlichen Betrachtung eines Gebäudes, die zeitlich begrenzt und auf die Herstellungskosten fokussiert ist.

Luftbewegung findet immer statt, wenn Druck- bzw. Temperaturunterschiede auftreten. Demnach sind Wind und Thermik die natürlichen Kräfte, die eine freie Lüftung unterstützen können.

Die einfachste Form der freien Lüftung ist das Öffnen eines Fensters. In einem ansonsten geschlossenen Raum erfolgt der Luftaustausch über aneinander vorbeifließende Luftströmungen: die kalte Luft kommt unten hinein, die warme entweicht oben nach Außen. Eine Verbesserung des Luftwechsels ergibt sich bereits wenn zusätzlich eine Tür zu einem angrenzenden Raum geöffnet wird. Eine signifikante Steigerung der Luftwechselrate wird durch die Querlüftung erreicht. Während im Winter normalerweise wenige Minuten mit offenem Fenster genügen, um das Luftvolumen auszutauschen, ist die Querlüftung besonders in der Übergangszeiten wichtig, wenn kleine Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen nur einen geringen Luftwechsel ermöglichen. Ein weiterer wesentlicher Punkt der freien Fensterlüftung ist die psychologische Komponente: für die Nutzer stellt diese elementare Möglichkeit der aktiven Regulierung der eigenen Umgebung einen enorm wichtigen Aspekt der Aufenthaltsqualität dar.

Im Haus 2226 in Lustenau sind die Lüftungsklappen sowohl manuell als auch mechanisch gesteuert. Das automatische Schließen vermeidet unnötige Wärmeverluste im Winter während im Sommer vor allem die automatisierte Öffnung zur Nachtlüftung wichtig ist. Beim Patchworkhaus hingegen ist die nutzerabhängige Steuerung der Abluftelemente einer der Gründe für das Überhitzungsproblem. Bei Kollektorkonstruktionen ist eine automatisierte Bewegung der Lüftungsklappen in den meisten Fällen sinnvoll und generell sehr empfehlenswert.

Ein Gebäude verursacht immer die Entstehung von Luftdruck und -sog, wobei die Form, die Orientierung und die Höhe eines Baukörpers die Nutzbarkeit der Windkraft für die natürliche Lüftung maßgeblich beeinflussen. Besonders *„bei hohen Gebäuden lassen sich über eine Doppelfassade mit entsprechenden Öffnungs-*

*elementen die Windkräfte so steuern, dass über die innere Fassade eine freie Lüftung ermöglicht wird.“* (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 101) . Die gezielte Ausformung von Bauteilen, wie beispielsweise bei den sogenannten Windtürmen (*Badgir*) in der arabischen Baukultur, kann die Sogwirkung des Windes unterstützen und damit für eine effektive Lüftung von großvolumigen Räumen sorgen.

Die Schule in Gando kann als gutes Beispiel für den kombinierten Einsatz von Wind und Thermik gelten. Die schwebende Dachkonstruktion aus Wellblech und die Elementtrennung zwischen der Wetterschutzlage und der Raumdecke beschleunigt den Wind ohne übertriebenen Luftzug in den Klassen zu verursachen. Zusätzlich trägt die Erhitzung des Wellblechs zum thermischen Auftrieb bei und gewährleistet auch an windarmen Tagen eine gute Funktion der Quelllüftung. Klassische architektonische Elemente zur Unterstützung der natürlichen Thermik sind verglaste Atrien und solar Kamine.

Ein möglichst höher Anteil an natürlicher Lüftung ist hinsichtlich der Nachhaltigkeit immer erstrebenswert. *„Aufgrund der hohen Betriebszeit von Lüftungssystemen bestehen hier weitreichende Einsparpotentiale im Energiebedarf und in den Betriebskosten, wenn auf eine maschinelle Luftführung verzichtet werden kann.“* (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 99)

Es soll allerdings auch darauf hingewiesen werden, dass es Rahmenbedingungen gibt, in denen die Lebensqualität durch den sinnvollen Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage wesentlich verbessert werden kann :

- hohe Lärmbelastung in der Umgebung
- schlechte Außenluftqualität (Industriegebiete, stark frequentierte Straßen)
- gesundheitliche Gründe (Allergien)

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

*„Architektur macht eine Rückeroberung, sie integriert die High-Technologie in den Entwurf, um Low-Tech-Bauten entwickeln zu können. Ergebnis ist eine Architektur, die langfristig nachhaltig ist und die wir uns auch weltweit leisten könnten.“ (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 17)*

### 6.1 Automation statt Leitungen: die Digitalisierung der Haustechnik

Low-Tech Lösungen lassen sich gut mit der Gebäudeautomation implementieren und werden dadurch zuverlässiger. Das Scheitern von einem breiteren Einsatz für viele an sich effektive Low-Tech Strategien war oft durch die Nutzerabhängigkeit bedingt. Mit der Gebäudeautomation hat der Nutzer die Wahl: er kann das Gebäude bedienen, muss aber nicht.

Auch unter der Perspektive der Platzersparnis bringt die Gebäudeautomation eindeutige Vorteile. Die Leitungen können zu Elektrokabeln und Glasfasern schrumpfen, sie müssen nur Daten und keine Fluide mehr transportieren. Man darf sich aber nicht täuschen lassen: es wird zwar kein Wasser mehr im Gebäude herumgeschickt (Eberle & Walden, S. 601), die Haustechnik ist aber dennoch da, nur kaum sichtbar.

Ein zentrales und wichtiges Thema in der Gebäudeautomation ist die Relation mit dem Nutzer. Undurchschaubare Automation und komplizierte HT-Systeme sind ein sperriges Hindernis im bewussten und richtigen Umgang mit einem Gebäude, weil ihre Funktionsweise für den durchschnittlichen Nutzer nicht nachvollziehbar ist. Automation soll nicht nur in der Bedienung, sondern auch in der Funktion intuitiv verständlich sein. Zwischen einer intuitiven, einfachen Bedienung und schleierhaften, nicht nachvollziehbaren Reaktionen ist allerdings eine un stabile Gratwanderung, die von individuellen Nutzereigenschaften wie Alter, technischer Versiertheit, Aufmerksamkeit und letztlich Interesse abhängt.

Im Energie Atlas wird vor einem übertriebenen Einsatz der Gebäudeautomation gewarnt: *„Weitgehende und oft unnötige Automation birgt erhebliche Risiken und bedenkliche Folgen: Störanfälligkeit der technischen Systeme und ihrer Komponenten, Erhöhung der Baukosten, Vermeidung der Ursachenwahrnehmung eigenen Fehlverhaltens, weiter steigende Abhängigkeit der Menschen von immer neuen technischen Systemen sowie wachsende Abhängigkeit von Herstellern und Wartungsfirmen“ (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 29)*

## 6.2 High-Tech Planung für Low-Tech Gebäude

*„So, Planer, Architekten und Ingenieure, ergreift die Initiative. Geht ans Werk und vor allen Dingen, arbeitet zusammen und haltet nicht voneinander hinterm Berge, und versucht nicht, auf Kosten der anderen zu gewinnen“*

(R. Buckminster Fuller, zitiert nach Krausse, 2008, S. 119)

Die berufliche Trennung zwischen den architektonischen und gebäudetechnischen Kompetenzen ist der Hauptgrund für die exzessive Entwicklung der TGA. Die Festlegung der raumklimatischen und energetischen Eigenschaften eines Gebäudes erfolgt bereits bei den ersten architektonischen Entscheidungen bezüglich Form, Orientierung, Typologie, Fassade. In der heute üblichen Arbeitsaufteilung werden diese Entscheidungen im Alleingang vom Architekten getroffen. Später geht der Entwurf an den Ingenieur, der die technischen Anlagen dimensioniert und anpasst. Durch diese Arbeitsweise können die Akteure nur reagieren: es sind Justierungen möglich, aber ein gemeinsames Entwickeln und gegenseitigen Inspirieren bleiben prozessbedingt unterbunden. Diese Planung als individueller, linearer Prozess ist nicht mehr in der Lage, all den komplexen und zahlreichen Anforderungen Rechnung zu tragen, die ein Bauvorhaben heute erfüllen muss. Damit die Haustechnik nicht die im Nachhinein eingebaute Hilfsmaschine bleibt, die ein Gebäude funktionsfähig macht, müssen Architekten und Fachplanern bereits ab der Entwurfsphase in ein interdisziplinäres Team eingebunden werden und sich bei der Gebäudeentwicklung gegenseitig unterstützen. Wie O.M.Ungers in seiner Antrittsvorlesung an der TU Berlin beobachtete, ist Architektur die einzige „*bindende Kunst*“ (Ungers, 2006, S. 16). Die integrale Planung bietet die Möglichkeit, diese Ganzheitlichkeit durch eine kollegiale, parallele und integrative Arbeitsweise wieder zu erlangen.

Simulationen sind ein relativ neues Werkzeug, welche die Umsetzung der integralen Planung erleichtern können. Simulationen sind ein mächtiges Instrument, um die Vielseitigkeit eines Gebäudesystems zu kontrollieren. Beispielsweise sind sie in der Lage, das Gebäudeverhalten während der Betriebsphase in Bezug auf unterschiedliche Nutzerszenarien und über den gesamten Lebenszyklus abzubilden. Dank der Simulationen ist es möglich, bei einem mit statischen Methoden nicht erfassbaren Komplexitätsgrad, die gegenseitigen Auswirkungen der verschiedenen Elemente zu untersuchen. Die Planer können dadurch die Hebelwirkungen der einzelnen Maßnahmen frühzeitig erkennen, deutlich erfassen und entsprechend reagieren.

Um diese Auswertungen bereits während der Entwurfsphase vollziehen zu können, müssen längere Planungszeiten und gegebenenfalls höhere Planungskosten im Kauf genommen werden. Diese frühzeitige Optimierung bewirkt aber in der Regel so große Einsparungen, dass die anfänglich höheren Investitionen in allen folgenden Planungs- und vor allem Nutzungsphasen um ein Vielfaches zurückbezahlt werden.

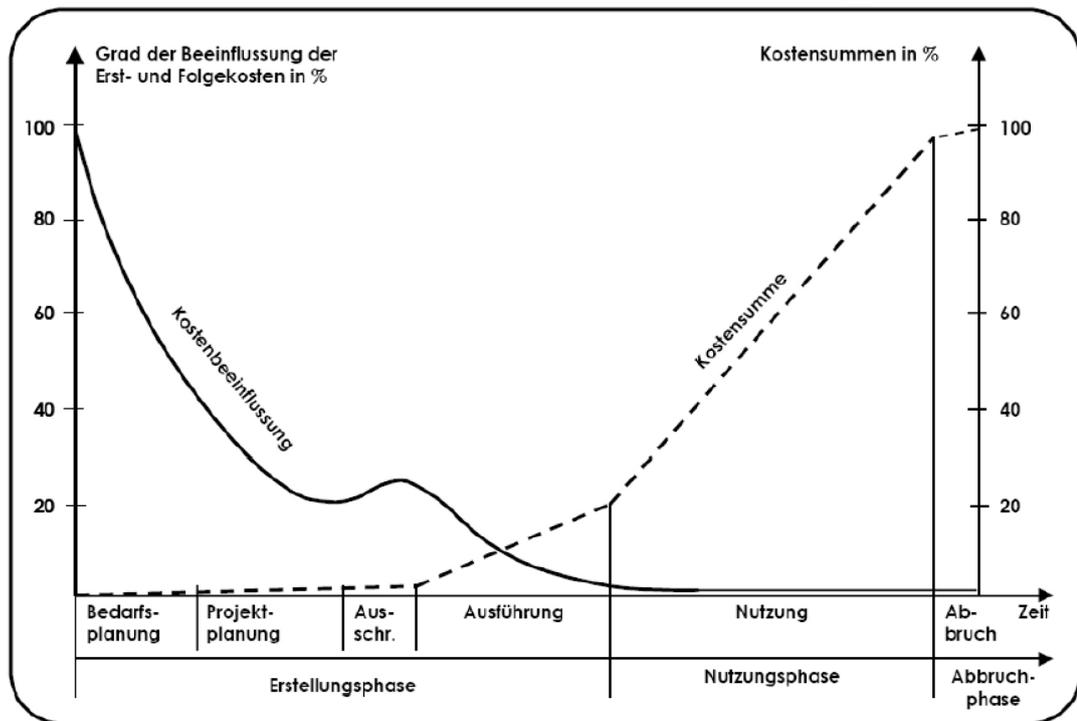


Abbildung 32: Kosteneinflussbarkeit in Bezug auf die Lebensphase (Herzog, 2005)

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

Aicher, Otl (1995). Intelligentes Bauen. In P. Oswald, & S. Rexroth (Hrsg.), *Wohltemperierte Architektur: neue Techniken des energiesparenden Bauens*. (S. 100-103). Heidelberg: C.F.Müller.

Bointner, Raphael; Ipser, Christina; Stieldorf, Karin (2012). *Planungsleitfaden Plusenergie. Energieeffizienz und gebäudeintegrierte regenerative Energieträger-technologien in Vorentwurf und Entwurf*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

De Carlo, Giancarlo (2013). Die Öffentlichkeit der Architektur. In *ARCH+* (211/212), S. 87-95.

Di Robilant, Manfredo (2014). Were Windows Eyes?. In R. Koolhaas, & J. Westcott (Hrsg.), *Elements* (Bd. Window, S. 666-681). Venedig: Marsilio.

Drexler, Hans; Seidel, Adeline (Hrsg.) (2012). *Building the Future - Maßstäbe des nachhaltigen Bauens*. Berlin: Jovis.

Eberle, Dietmar; Walden, Gert (2013). Ein selbstbestimmtes Haus. In *Detail* (6), S. 600-603.

Fathy, Hassan (Februar 1987). Natürliche Energie und vernakuläre Architektur. In *ARCH+* (88), S. 34-49.

Feist, Wolfgang (16. 09 2005). Definition Passivhaus.  
[http://passiv.de/former\\_conferences/Passivhaus\\_D/Passivhaus\\_Definition.html](http://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Passivhaus_Definition.html)

Hönger, Christian; Brunner, Roman; Menti, Urs-Peter; Wieser, Christoph (2013). *Das Klima als Entwurfaktor. Architektur und Energie*. (T. Unruh, Hrsg.) Luzern, CH: Quart Verlag.

Hässig, Werner; Hardegger, Peter (1996). *Messprojekt Direktgewinnhaus Trin*. Zürich: Forschungsstelle Solararchitektur ETHZ.

Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (2007). *Energie Atlas*. (Institut für Architektur-Dokumentation, Hrsg.) München: Edition Detail.

- Junghans, Lars (2015). Nachhaltigkeit und Resilienz des Gebäude 2226 in Lustenau. Was können wir für die Zukunft lernen?. In *Aus der Praxis der Gebäudenutzung* (S. 15-18). Wien: IBO.
- Kaiser, Yvonne; & Haas, A. (1998). Solargebäude der Zukunft, Einfamilienhaus Trin. *Glasforum* (6), S. 27-28.
- Kéré, Francis (2013). Über Architektur der Notwendigkeit. In *ARCH+ Features* (211/212).
- Kéré, Francis (2013). Das Material als Grundlage. In *Detail* (6), S. 594-599.
- Krause, Joachim (Hrsg.) (2008). *Richard Buckminster Fuller. Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde - und andere Schriften*. Hamburg: Philo Fine Arts/EVA Europäische Verlagsanstalt.
- Kuhnert, Nikolaus (Februar 1987). Moderne und Tradition. In *ARCH+* (88), S. 30.
- Kuhnert, Nikolaus; Ngo, Ahn-Linh; Hansmann, Sabine (2013). Bauen und gebrauchen. Für eine neue Öffentlichkeit der Architektur. In *ARCH+* (211/212), S. 2-3.
- Le Corbusier (1964). *1929. Feststellungen zu Architektur und Städtebau*. Wiesbaden.
- Lepik, Andres (2013). Think global, build social!. In *ARCH+* (211/212), S. 2-10.
- Mäurle, Barbara (Dezember 2013). Rückbesinnung auf das Elementare. In *db deutsche bauzeitung*.
- Mayer, Hannes (1929). bauhaus und gesellschaft. In *bauhaus, Zeitschrift für Gestaltung* (1), S. 2.
- Oswalt, Philipp (1995). Einleitung. In P. Oswalt, & S. Rexroth (Hrsg.), *Wohltemperierte Architektur: neue Techniken des energiesparenden Bauens* (2. Auflage Ausg.). Heidelberg: C.F.Müller.
- Oswalt, Philipp (1995). Le Corbusiers fraktale Geometrien. In P. Oswalt, & S. Rexroth (Hrsg.), *Wohltemperierte Architektur: neue Techniken eine energiesparenden Bauens*. Heidelberg: C.F.Müller.
- Oswalt, Philipp (1990). Licht, Luft, Sonne. In *ARCH+* (113), S. 30.

Oswalt, Philipp; Rexroth, Susanne (Hrsg.) (1995). *Wohltemperierte Architektur: neue Techniken des energiesparenden Bauens*. (2. Auflage). Heidelberg: C.F.Müller.

Pestalozzi, Manuel (2015). Passivität wörtlich genommen. In *TEC21* (47), S. 32-34.

Pfeifer, Günter (2012). Kybernetische Gebäudestrukturen. In H. Drexler, & A. Seidel (Hrsg.), *Building the Future - Maßstäbe des nachhaltigen Bauens* (S. 203-219). Berlin: Jovis.

Pfeifer, Günter. *Mensch - Klima - Architektur. Das kybernetische Prinzip*.

Am 4. 8.2015 von <http://www.guenterpfeifer.de/content/philosophie.html>

Pfeifer, Günter; Tersluisen, Angèle; Nasrollahi, Kamyar (2012). *Untersuchungen zum energetischen Verhalten naturnah klimatisierter Gebäude, untersucht an den Beispielen Energieraum / Speichermasse und Luftkollektor / Speichermasse*. Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

Roesler, Sascha (2013). Klima und Kultur. In C. Hönger, R. Brunner, U.-P. Menti, C. Wieser, & T. Unruh (Hrsg.), *Das Klima als Entwurfsmittel. Architektur und Energie*. (S. 18-21). Luzern, CH: Quart.

Roswag, Elke (2012). Lehm und Naturbaustoffe. In H. Drexler, & A. Seidel (Hrsg.), *Building the Future - Maßstäbe des nachhaltigen Bauens* (S. 221-235). Berlin: Jovis.

Schnitzer, Ulrich (1989). *Schwarzwaldhäuser von gestern für die Landwirtschaft von morgen* (Bd. 2). Stuttgart, DE: Konrad Theiss.

Schoof, Jakob (24. 04 2011). Von Wintergärten und Baumhäusern. [www.detail.de](http://www.detail.de). Abgerufen am 12. 08 2015 von <http://www.detail.de/artikel/von-wintergaerten-und-baumhaeusern-167/>

Schoof, Jakob (03. 02 2014). Haus ohne Heizung. [www.detail.de](http://www.detail.de). Abgerufen am 09. 08 2015 von <http://www.detail.de/artikel/haus-ohne-heizung-buerogebaeude-von-baumschlager-eberle-in-lustenau-11703/>

Tersluisen, Angèle (2012). *Konzept zur Planung und Bewertung wärmeenergiegewinnender, energetisch-dynamischer Bauteil- und Raumstrukturen im Wohnungsbau* (2.Auflage). Freiburg: Syntagma.

Thierfelder, Anja (Hrsg.) (2003). *Transsolar Klima-Engineering*. Basel: Birkhäuser.

*Transsolar KlimaEngineering*. Abgerufen am 18. 23.016 von [www.transsolar.com](http://www.transsolar.com)

Ungers, Oswald Mathias (2006). Antrittsvorlesung, 1964. Was ist Architektur?. In *archplus* (179), 12-19.

Valda, Andreas (1995). Im Winter ohne Heizung: in Trin stehen die beiden Nullheizenergie-Häuser des Architekten Andrea Rüedi. In *Hochparterre* (4), S. 34-36.

Vester, Frederic (1995). Kybernetisch Denken. In P. Oswald, & S. Rexroth (Hrsg.), *Wohltemperierte Architektur: neue Techniken des energiesparendes Bauens*. (2. Auflage Ausg., S. 14-17). Heidelberg: C.F.Müller.

Wieser, Christoph (2013). Einfach komplex. In C. Hönger, R. Brunner, U.-P. Menti, C. Wieser, & T. Unruh (Hrsg.), *Das Klima als Entwurfaktor. Architektur und Energie*. (S. 22-31). Luzern, CH: Quart.

## 8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Verhältnis Investkosten – Nutzungskosten (Quelle GEFMA).....	6
Abbildung 2: einige Körperstudien aus dem <i>Gebäudezoo</i> von "Das Klima als Entwurfsmotor" (Hönger, Brunner, & al., 2013, S. 79).....	8
Abbildung 3: Die alte und die neue Stadt, aus der Charta von Athen (1929), (Hegger et al., 2007) .....	10
Abbildung 4: <i>The International Style</i> Ausstellungskatalog und Banhams " <i>The Architecture of the Well-tempered Environment</i> " .....	13
Abbildung 5: <i>Le mur neutralisant</i> in einer Skizze von Le Corbusier (1929) .....	15
Abbildung 6: Schnitt vom Salk Institute, Arch. L.Kahn ( <a href="http://www.maerkli-peter.arch.ethz.ch">http://www.maerkli-peter.arch.ethz.ch</a> , 6.9.2015) .....	16
Abbildung 7: Das erste Passivhaus, Darmstadt-Kranichstein, 1991 ( <a href="http://www.passiv.de">www.passiv.de</a> , 5.12.15) .....	18
Abbildung 8: Klassische Bautypologien nach Klimazonen: a. kalt; b. gemäßigt; c. trocken-heiß; d. feucht-warm (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 64).....	21
Abbildung 9: Der Lorenzenhof aus Oberwolfach von 1608 ( <a href="http://www.vogtsbauernhof.de">http://www.vogtsbauernhof.de</a> , 18.2.2016)	22
Abbildung 10: Grundriss und Schnitt typischer Kinzigtäler Häuser (Schnitzer, 1989, S. 18).....	23
Abbildung 11: bevorzugte Nutzungsanordnung nach Himmelsrichtung in Wohnungsbau (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 69).....	25
Abbildung 12: Problematik von Angebot und Nachfrage bei solarthermischer Wärmenutzung in Wohnbauten (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 118) .....	26
Abbildung 13: Solare Nutzung im Gebäude: a. passiv; b. aktiv (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 118).....	26
Abbildung 14: Energieautarkes Solarhaus in Freiburg, 1992 (Schoof, <a href="http://www.detail.de">www.detail.de</a> , 2011) .....	27
Abbildung 15: Direktgewinnhaus in Trin (CH), Arch. Andrea Gustav Rüedi (Kaiser & Haas, 1998).....	28
Abbildung 16: Deckenaufbau (Kaiser & Haas, 1998).....	29
Abbildung 17: Grundriss EG (Kaiser & Haas, 1998) .....	30
Abbildung 18: Grundriss 1.OG (Kaiser & Haas, 1998).....	30
Abbildung 19: Grundlegende Wirkungsweisen (Tersluisen, 2012, S. 120) .....	34
Abbildung 20: Patchworkhaus Müllheim, 2003 (Pfeifer, Tersluisen, & Nasrollahi, 2012, S. 37).....	36

Abbildung 21:Grundrisse EG, 1.OG und 2.OG ( <a href="http://www.kul-architekten.de">www.kul-architekten.de</a> ).....	36
Abbildung 22: Fußdetail Fassade (Tersluisen, 2012, S. 128) .....	37
Abbildung 23: Schema Luftführung im Sommer und Winter, ( <a href="http://www.Baunetzwissen.de">www.Baunetzwissen.de</a> , 4.3.2016).....	38
Abbildung 24: Lustenau 2226, Außenansicht ( <a href="http://www.ziegel.at">http://www.ziegel.at</a> , 5.3.2016).....	40
Abbildung 25: Vertikalschnitt durch die Außenwand (db-deutsche bauzeitung, Dezember 2103).....	42
Abbildung 26: Die Kurven zeigen die CO2-Schichtung in einem 10 qm großen Raum mit einer 3,6 m Höhe, jeweils nach 30, 60 und 90 Minuten (Junghans, 2015).....	43
Abbildung 27: Das Dorf von Gando ( <a href="https://upload.wikimedia.org">https://upload.wikimedia.org</a> , 17.3.2016).....	48
Abbildung 28: Lageplan Schulzentrum in Gando ( <a href="https://www.lafargeholcim-foundation.org/">https://www.lafargeholcim-foundation.org/</a> ) .....	49
Abbildung 29: schematische Darstellung des passiven Kühlungssystem (Kéré, Über Architektur der Notwendigkeit, 2013, S. 10).....	50
Abbildung 30: die Baustelle der weiterführende Schule in Gando ( <a href="http://www.fuergando.de">www.fuergando.de</a> , 13.3.2016).....	51
Abbildung 31: theoretisches jährliches Potential (große Würfel im Hintergrund) und technisches Potential (kleine Würfel im Vordergrund)im Vergleich mit dem Weltenergieverbrauch 2005 (Hegger, Fuchs, & al., 2007, S. 46).....	52
Abbildung 32: Kosteneinflussbarkeit in Bezug auf die Lebensphase (Herzog, 2005) .....	63