

Smart Energy  
SS 2006  
Jakob Dürr 237239  
Stefan Greuel 234546



---

## Inhaltsverzeichnis

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Einleitung</b> .....   | Seite 5  |
| <b>2. Prinzip der Thermische Speichermasse</b> .....                 | Seite 7  |
| <b>2.1. Nachtauskühlung</b> .....                                    | Seite 8  |
| <b>3. Bauteilaktivierung</b> .....                                   | Seite 10 |
| <b>3.1. Wärmepumpe</b> .....   | Seite 12 |
| <b>3.2. Raumkonditionierung</b> .....                                | Seite 14 |
| <b>3.3. Natürliche Energiequellen</b> .....                          | Seite 16 |
| <b>3.4. Gebaute Beispiele</b> .....                                  | Seite 18 |
| <b>4. Dämmbeton:</b>   |          |
| <b>Optimierung der bauphysikalischen Materialeigenschaften</b> ..... | Seite 26 |
| <b>4.1. „Leca“ Dämmbeton</b> .....                                   | Seite 27 |
| <b>4.2. „Misapor“-Glasschaumbeton</b> .....                          | Seite 28 |
| <b>4.3. „Liapor“-Isolationsbeton</b> .....                           | Seite 30 |
| <b>5. Quellenangaben</b> .....                                       | Seite 35 |



## 1. Einleitung

*„Die Beheizung oder auch Kühlung von Gebäuden verursacht in Deutschland ca. 40% des gesamten Energieverbrauchs. Im Wesentlichen werden zum Zweck der Beheizung oder Kühlung von Innenräumen auf ca. 20°C wertvolle, meist fossile Energieträger wie Erdöl, Gas oder auch Strom, eingesetzt. Neuere Entwicklungen zeigen, daß sich eine Temperierung von Räumen auf ein komfortables Niveau nicht allein durch herkömmliche Systeme und die Verbrennung von fossilen Energieträgern erreichen läßt. Vielmehr arbeiten innovative Systeme mit sehr kleinen Temperaturdifferenzen zwischen dem Heiz- bzw. Kühlmedium und der zu erzielenden Raumtemperatur. Das Potenzial der Energie und passive Effekte werden effektiver eingesetzt. Auf diese Weise können auch regenerative Energiequellen wie thermische Solartechnik zum Heizen oder die natürliche Kühle des Erdbodens zum Kühlen von Büros besser genutzt werden.“<sup>1</sup>*

Bei der Konzeption und Realisierung eines Gebäudes müssen immer mehr Parameter bereits in der frühen Planungsphase integriert und berücksichtigt werden. Sowohl die steigenden Anforderungen einer ressourcenschonenden Bau- und Denkweise als auch ein intelligenter und nachhaltiger Umgang mit dem Energiepotential der Umgebung erfordern ein konsequentes Ineingreifen von Architekt, TGA-Planer, Statiker und dem Bauherrn.

Bei einer intelligenten Planung der Orientierung und Lage eines Gebäudes wirken sich solare Einträge, Windexpositionen und die umgebende Vegetation positiv auf das interne Gebäudeklima aus.

Verschiedene Ressourcen, die einzelne Standorte mit sich bringen wie z.B. See-Gruben und Grundwasser, Erdeich oder Abwärme von benachbarten Industrieanlagen, können als Energiequellen herangezogen, und der notwendige Energieaufwand ressourcenschonend geleistet werden.

Baustoffe mit einer hohen Dichte können auf Grund ihrer thermischen Speichermasse ein konstantes Raumklima erzeugen.

Beton weist eine hohe Dichte von durchschnittlich 2000-2600 Kg/m<sup>3</sup> auf und eignet sich daher ideal als thermischer Wärmespeicher. Die Trägheit der Baumasse bewirkt eine thermische Phasenverschiebung, die die natürlichen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht kompensieren kann. Diese Eigenschaft kann durch eine Betonkernaktivierung, die mit einer geringen Vorlauftemperatur und über eine große Oberfläche wirkt, zusätzlich verbessert werden und zur konstanten Temperierung des Raumes beitragen. Eine akribische Vorplanung ist beim Bauen mit Beton besonders notwendig. Das Potential des Baustoffes Beton kann sowohl für eine Optimierung des Energiehaushaltes als auch für das Integrieren von technischen Einbauteilen sinnvoll genutzt werden. Ermöglicht wird dies durch die unterschiedliche Konsistenz des Betons beim Einbringen und nach dem Erhärten.

Die gesamte Ausführungsplanung aller Einbauteile wie Beleuchtungskörper, Versorgungsleitungen, Klima- und Heizungstechnik sowie Brandschutzsysteme müssen somit vor dem Betoniervorgang abgeschlossen sein. Ein nachträgliches Einbringen ist nur noch unter sehr großem technischem und finanziellem Aufwand möglich und hat eine deutliche Minderung der Sichtbetonqualität zur Folge.

Eine andere Möglichkeit ist es, die bauphysikalischen Materialeigenschaften des Beton positiv zu beeinflussen. Durch besondere Zuschläge kann die Rohdichte des Beton herab gesetzt und somit ein niedriger Wärmedurchlaßkoeffizient erreicht werden. Dämmbeton eignet sich besonders für ein einschalige, monolithische Bauweise, bei der auf zusätzliche Dämmschichten verzichtet werden kann.

<sup>1</sup>) Auszug aus dem LowEX-Symposium am 4.10.2006: „Heizen und Kühlen mit Niedrig-Exergie“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie



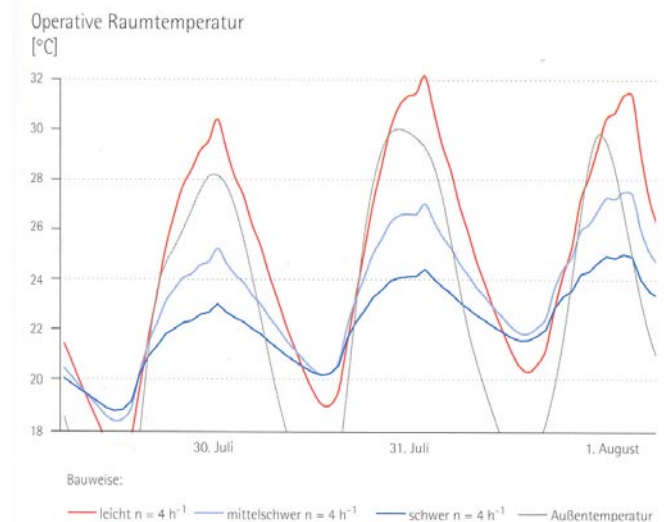
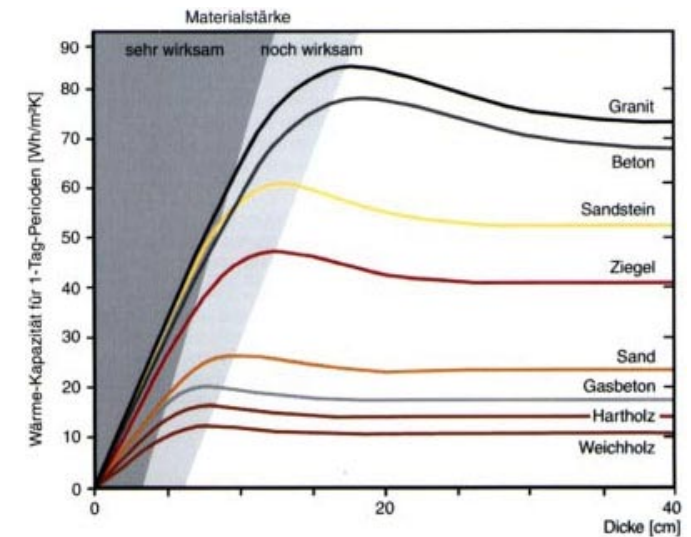
## 2. Prinzip der Thermischen Speichermasse

Bei der Planung moderner Gebäude mit behaglichen Klimaverhältnissen im Sommer wie im Winterfall ist die Wirksamkeit der thermischen Speichermasse ein entscheidender Parameter. Unterschiedlich schwere Materialien weisen proportional zu ihrer Rohdichte unterschiedliche Wärmespeicherkapazitäten auf. Im Gegensatz zum leichten Baustoff Holz (ca. 20 Wh/m<sup>2</sup>K) verfügt Normalbeton (Rohdichte: 2000-2600 kg/m<sup>3</sup>) über eine sehr hohe Wärmespeicherkapazität von ca. 75 Wh/m<sup>2</sup>K und eignet sich somit ideal als Speichermasse (Abb. 1). Entsprechend der Schwereklassenbestimmung der Bauteile entstehen leichte, mittelschwere oder schwere Bauweisen. Um die Speicherfähigkeit des Betons effektiv zu nutzen, muß die Konstruktion mindestens mittelschwer sein. Eine konstante Raumtemperaturen im Sommer wie im Winter wird durch die Trägheit der schweren Baumasse gewährleistet. Bei aufeinanderfolgenden, heißen Sommertagen mit Tageshöchsttemperaturen von bis zu 30° reagiert eine schwere Bauweise sehr träge auf die Temperaturschwankungen, wodurch ein konstantes Raumklima schwer zu erzeugen ist.

An einem Sommertag werden die hohen Temperaturunterschiede der Außenluft von ca. 15°-20° zwischen Tag (30°) und Nacht (13°) durch eine schwere Baumasse um ein Vielfaches im Innenraum reduziert. Somit entstehen nur geringe Temperaturdiffe-

renzen von ca. 5° zwischen Tag (25°) und Nacht (21°) (Abb. 2, blaue Linie). Bei einer leichten Bauweise reagiert die Innenraumtemperatur dagegen sofort auf die Außentemperatur und der Innenraum heizt sich darüberhinaus weiter auf (Abb. 2, rote Linie).

Diese Gegebenheiten müssen vor allem bei der Fassadenplanung berücksichtigt werden: Die solare Einstrahlung über große Fensterflächen kann im Winter zur Aufwärmung des Raumes genutzt werden. Im Sommer dagegen wird der Innenraum dadurch überhitzt und muß gekühlt werden. Dieser Effekt des Überhitzens bei großen Fensterflächen ist umso größer, desto leichter die Bauweise ist. Innenräume schwerer Bauweisen erwärmen sich dagegen auf Grund ihrer trägen Baumasse nur langsam.



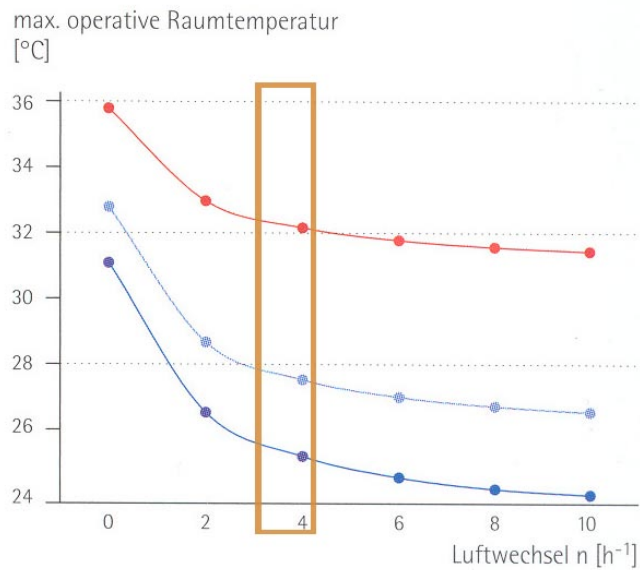
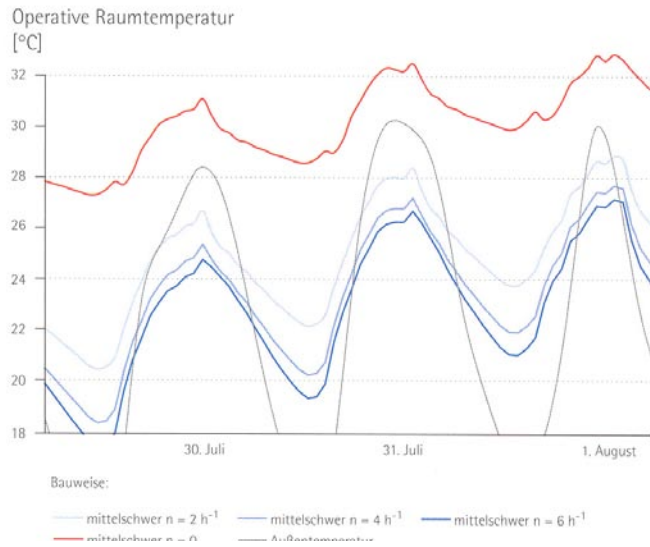


Abb. 3 (oben): Einfluß der Luftwechselrate auf das Raumklima  
Abb. 4 (unten): Einfluß der Luftwechselrate auf das Raumklima bei unterschiedlich schweren Bauweisen

## 2.1. Nachtauskühlung

Schwere, massive Bauteile können die am Tag entstehende Wärme im Innenraum (solare Einstrahlung, Abwärme der Benutzer, Leuchtmittel, Elektrogeräte,...) absorbieren und den Raum somit natürlich, ohne zusätzlichen Energieaufwand, vor dem Überhitzen bewahren. Bei der Nachtauskühlung wird die tiefe Lufttemperatur in der Nacht genutzt, um die freiliegenden Speichermasse des Betons, die wie ein Rückkühlwerk funktioniert, durch Lüftung auszukühlen. Am nächsten Morgen können die ausgekühlten Baumassen die am Tag entstehenden Temperaturen wieder absorbieren. Die Nachtauskühlung bietet somit eine effektive Kühlmöglichkeit ohne weitere Betriebskosten. Auf Grund der klimatischen Schwankungen können jedoch keine Grenztemperaturen garantiert werden. Eine effiziente Nachtauskühlung ist nur ab einer mittel schweren Konstruktion gewährleistet, da die zur Verfügung stehende Speichermasse sonst zu gering ist. Besonders Gebiete, die hohe Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht aufweisen (Aussentemperatur nachts ca. 15°C), eignen sich für eine effiziente Nachtauskühlung. Dabei sollte die Betonmasse in Wänden und Decken möglichst nicht durch abgehängte Decken oder aufgeständerte Bodenkonstruktionen abgedeckt sein, weil sich sonst eine klimatische Pufferzone bilden und somit eine direkte

Abkühlung der Betonmasse nicht stattfinden könnte. Massive Innenwände sorgen ebenfalls für eine Vergrößerung der Baumasse und unterstützen den Kühleffekt. Betonkernaktivierte Bauteile stellen eine energieeinsparende und ökologisch interessante Variante zu Abhängedecken dar. Sie nutzen nicht nur auf effiziente und intelligente Weise die regenerativen Ressourcen sondern minimieren zudem den Energieaufwand während der Benutzung (S. 3. Bauteilaktivierung). Im Gegensatz dazu haben abgehängte Kühl- und Heizdecken mit integrierten Lüftungs- und Klimaanlage einen extrem hohen Energieverbrauch. Akzeptable Raumtemperaturen werden bei der Nachtauskühlung erzielt, wenn der Luftwechsel bei  $n=4 \text{ h}^{-1}$  oder höher liegt (Abb. 3, Abb. 4). Bei einer mittelschweren Konstruktion kann Ende August ohne Nachtauskühlung im Innenraum eine Spitzentemperatur von 33°C erreicht werden (rote Linie). In den Sommermonaten liegt die Innenraumtemperatur dabei stetig über der Außentemperatur. So entsteht tagsüber eine Temperaturamplitude zwischen Innenraum- und Aussentemperatur von 2°C und Nachts bis zu 12°C. Allein wenn die Luftwechselrate in der Nacht bei 4 bis 6 mal stündlich liegt, können Temperaturspitzen garantiert werden, die unter 26°C liegen. Dazu sind ausreichend große Lüftungsöffnungen vorzusehen, die wite



ungeschützt und einbruchssicher sein müssen. In der Praxis ist dies nur dann wirtschaftlich, wenn steuerbare Öffnungen ohnehin notwendig sind, z.B. für die gesteuerte natürliche Entlüftung. Eine thermik- oder windinduzierte Durchströmung des Gebäudes verbessert die Auskühlung. Es ist also ratsam, nicht nur Fenster gegenüber zu legen, um somit eine horizontale Querlüftung zu erreichen. Besonders eine vertikal angelegte Be- und Entlüftung kann für eine ideale natürliche Entlüftung sorgen.

Mit der Nachtlüftung können Wärmelasten von 200 bis 250Wh/m<sup>2</sup> abgeführt werden. Damit erreichen Räume mit moderat-thermischen Lasten im Sommer gute klimatische Verhältnisse.

Ein Beispiel für Fassaden mit Lüftungs-klappen für Nachtauskühlung ist das Bürogebäude der Krankenversorgung der Bundesbahnbeamten in Kassel. Bei diesem Projekt wurde auf abgehängte Decken und Trittschalldämmung verzichtet. Die Konstruktion des Gebäudes besteht aus Stahlbeton, liegt zum Raum hin offen und dient somit in ihrer Gänze als Speichermasse. Vor die Fenster sind mit einem Abstand von 10 cm eine Prallscheiben montiert, die sowohl Wetterschutz als auch Einbruchssicherung sind. Die kühle Nachtluft kann von unten hinter der Prallscheibe durch ein Kippfenster in den Raum gelangen. Die er-

wärmte Luft entweicht unterhalb der Decke ebenfalls durch das Kippfenster. In den Büros reichen die Lüftungsöffnungen von der Brüstung bis zur Decke. Die Flure sind mit Kippflügeln über die ganze Raumhöhe versehen und kühlen so effektiv den Gebäudekern (Abb. 5, Abb. 6).

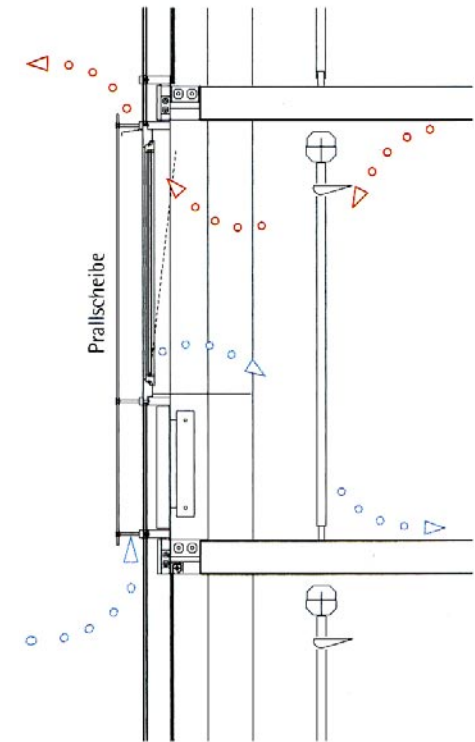


Abb. 5 (oben): Lüftungskonzept Fassade  
Abb. 6 (unten): Fassade Außenansicht

## 3. Bauteilaktivierung

Bei der Bauteil- bzw. Betonkernaktivierung wird die gesamte Decken- bzw. Wandkonstruktion temperiert, wobei Wasser als Heiz- bzw. Kühlmedium eingesetzt wird. Thermoaktive Decken (TAD) und Wände sind heutzutage einfach zu realisieren und können erheblich zur Reduzierung des Energieaufwandes und somit der Kosten beim Heizen bzw. Kühlen des Gebäudes beitragen. Durch die thermische Speichermasse des Betons, kann so ohne großen Kostenaufwand eine thermische Phasenverschiebung erreicht werden. Spitzenlasten der Außenlufttemperatur können so ausgeglichen und ein konstantes Raumklima geschaffen werden (Abb. 7). Über einen im Bauteil einbetonierten Wasserkreislauf kann die Speichermasse des Betons die Raumtemperatur reguliert werden. Bedingt durch die große energieübertragende Fläche der gesamten Bauteile sind nur geringere Differenzen zwischen Raumtemperatur und Heiz- bzw. Kühlwassertemperatur nötig. Dadurch können regenerative Wärme- und Kälteerzeuger mit niedrigen Vorlauftemperaturen effizient eingesetzt werden. Der interne Wasserkreislauf ist über einen Wärmeübertrager an einen externen Kreislauf gekoppelt und bezieht bzw. überträgt an diesen die Wärmeenergie. Eine effektive Reduzierung der üblich installierten Kühl- und Heizsysteme mindert erheblich den Energieverbrauch.

Der Massenstrom und die Vorlauftemperatur werden in der Art eingestellt, dass die

Oberflächentemperatur in der Heizperiode konstant bei 23 Grad Celsius liegt. Ist die Raumtemperatur höher, so wirkt das Bauteil kühlend, liegt sie darunter, so gibt das Bauteil Wärme ab. Die Regelung der Betonkernaktivierung erfolgt somit über den Selbstregelleffekt, wodurch der Aufwand an zusätzlicher Regeltechnik erheblich reduziert wird. (Abb. 8). Die ausgewählte Regelungsstrategie sollte durch eine frühzeitige Gebäudesimulation auf ihre Rentabilität überprüft werden.

Zu Kühlzeiten kann die Vorlauftemperatur bis auf 18° reduziert werden, sofern regenerative Kühlmittel, wie z.B. eine Grund- oder Seewasserkühlung, zur Verfügung stehen. Eine Kühlung durch Klimaanlage ist auf Grund der hohen Betriebskosten unökonomisch und unökologisch. Im Sommer können bei diesen Vorlauftemperaturen sehr gute klimatische Verhältnisse erreicht werden, sofern die Fassade den Strahlungseintrag in den Raum begrenzen kann. Bei Temperaturen unter 18° besteht die Gefahr von Tauwasserausfall an der Bauteiloberfläche. Wegen der thermischen Trägheit des Systems ist eine schnelle Temperaturänderung jedoch nicht möglich. Außerdem ist wegen der Aktivierung der gesamten Baumasse keine Einzelraumregulierung möglich. Dies müßte über ergänzend, zugeschaltete Radiatoren, Kühlpaneele usw. geleistet werden. Betonkernaktivierte Bauteile können eine Kühlleistung von 40-45 W/m² erreichen.

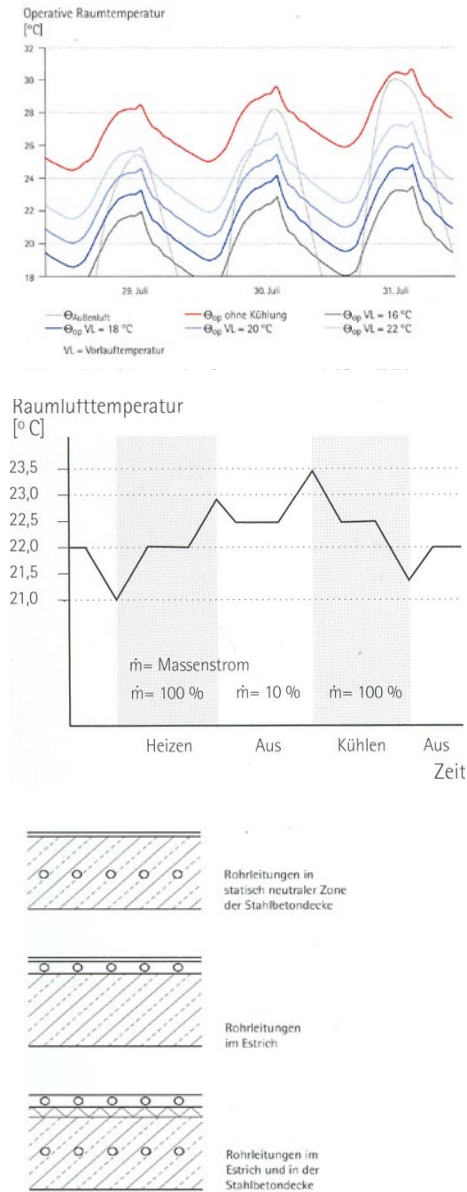


Abb. 7 (oben): Abhängigkeit von operativer Raumtemperatur zur Vorlauftemperatur  
 Abb. 8 (mitte): Selbstregelleffekt bei Bauteilaktivierung  
 Abb. 9 (unten): Deckenkonstruktion

## Bauteilquerschnitt:

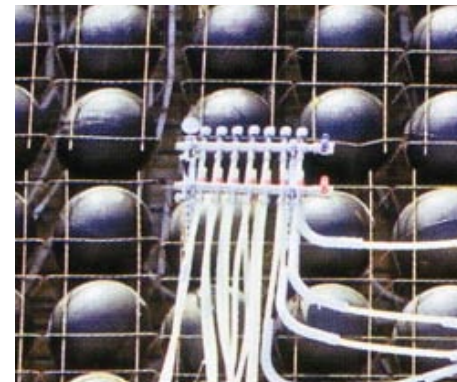
Die Rohrleitungen werden in die statisch neutrale Zone der Deckenkonstruktion oder in den Verbundestrich gelegt (Abb. 9). Die Rohre mit einem Durchmesser von ca. 2cm werden zwischen der oberen und unteren Bewehrung eingebracht. Über Kunststoffkämme werden sie im Bewehrungszwischenraum in alle Richtungen fixiert (Abb. 10). Der Achsabstand zwischen den Kunststoffrohren variiert je nach bauphysikalischer Anforderung zwischen 10cm und 30cm. Dabei wird eine Rohrlänge von 5-10m/m<sup>2</sup> erreicht. Die Montage des Leitungssystems kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Bei geometrisch komplexen Formen werden die Rohre einzeln verlegt (Abb. 14). Im Regelfall werden vorgefertigte Rohrregister von ca. 2m x 6m im Ortbeton oder in vorfabrizierten Betonfertigteilen eingebracht (Abb. 11). An zentralen Punkten werden die Anschlüsse der Rohr-

register an den internen Hauptkreislauf angeschlossen (Abb 12-13). Um Rissbildungen zu vermeiden, sollten mindestens 8-10cm Betonüberdeckung gewährleistet sein. In Sonderfällen wird der Estrich auf einer Trittschalldämmung verlegt und Decke und Estrich mit zwei Rohrleitungssystemen temperiert. Dies gewährleistet einen guten Trittschallschutz und ermöglicht eine bessere Regulierung (Abb. 9).

Besonders ist zu beachten, daß, genau wie beim Prinzip der Nachtauskühlung, weder abgehängte Decken, noch doppelte Böden bei bauteilaktivierten Decken eingebaut werden dürfen, um eine ungestörte Energieabgabe zu sichern.

Im Heizfall würde sich sonst die abgegebene Wärme zwischen Abhangdecke bzw. Aufbauboden und dem zu beheizenden Raum stauen und könnte nicht effektiv auf die Raumluft übertragen werden.

Abb. 10 (unten links): Leitungsrohre mit Abstandshalter  
 Abb. 11 (unten): Rohrregister  
 Abb. 12 (unten): Sammelanschluß  
 Abb. 13 (unten rechts): Anschlußstelle  
 Abb. 14 (oben): Leitungsrohre auf unterer Bewehrung



### 3.1. Wärmepumpe

Dank der niedrigen Vorlauftemperaturen bei der Bauteilaktivierung in Verbindung mit einer Wärmepumpe können natürliche und regenerative Energiequellen wie das Erdreich (S. 3.3. Natürliche Energiequellen) effizient und kostengünstig genutzt werden.

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe (Verhältnis zwischen nutzbarer Wärmeenergie und erforderlichem Strom für den Betrieb des Verdichters) beträgt 2-4, was bedeutet, daß pro aufgewendeter Kilowattstunde Strom 2-4 Kilowattstunden aus der Umgebung gewonnen werden kann.

Das System der Wärmepumpe basiert darauf, sich die Energie der Umgebung zu Nutze zu machen. Die Wärmepumpe absorbiert auf einem niedrigen Energieniveau die Energie der Umgebung und transformiert diese mittels sehr geringen Energieaufwandes auf ein höheres Temperaturniveau. Die so gewonnene Energie wird von diesem Primärkreislauf auf den Sekundärkreislauf, das Heizsystem eines Gebäudes, abgegeben (Abb. 15). Die Wärmepumpe setzt sich aus vier Komponenten zusammen: Verdampfer, Kompressor, Verflüssiger und Expansionsventil. Bei einem Druck von etwa 3 bar verdampft im Verdampfer ein Kältemittel und entzieht dabei seiner Umgebung die Wärme. Im Kompressor wird das Kältemittel nun auf 12 bis 22 bar verdichtet, was zu einem Anstieg der Temperatur des Kältemittels führt.

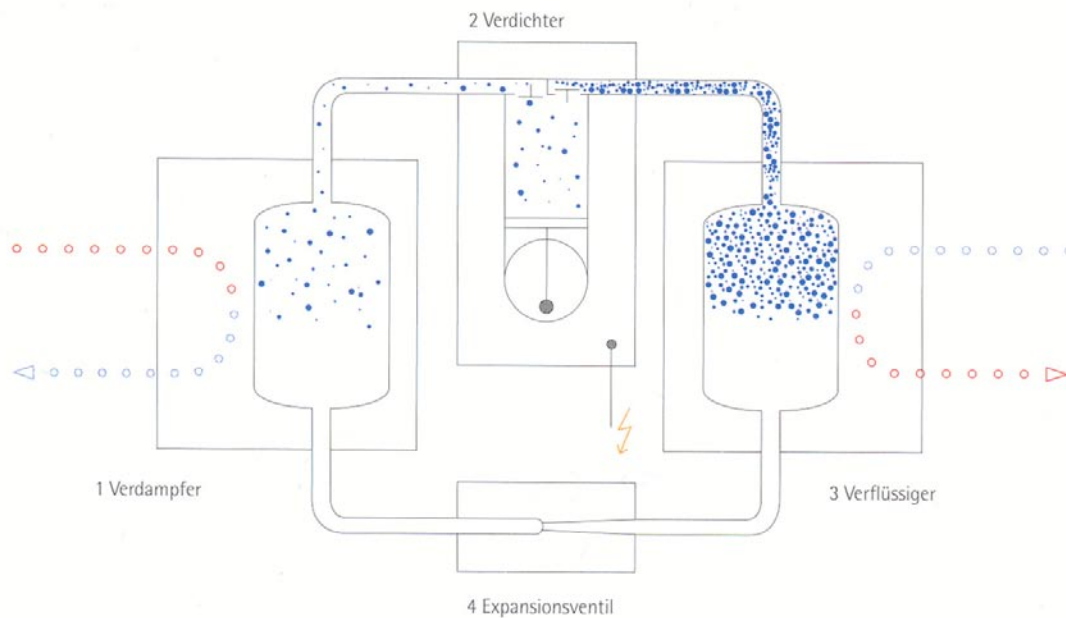


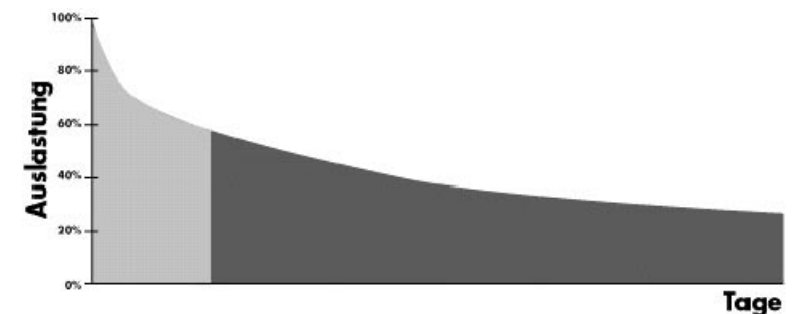
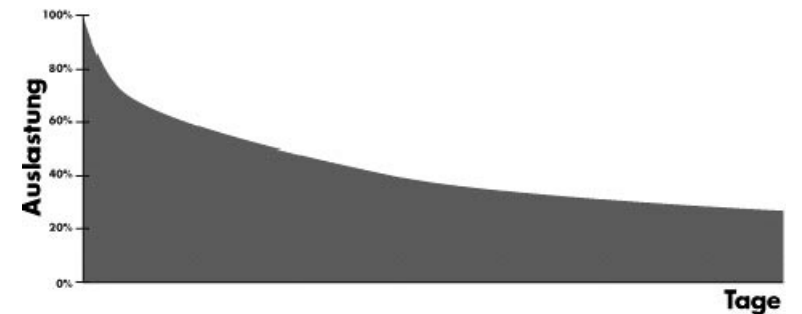
Abb. 15 (unten): Funktionsprinzip Wärmepumpe

Dies ist der einzige Vorgang, der eine externe Energieaufwendung benötigt, die üblicher Weise in Form eines Elektromotors eingebracht wird. Durch den hohen Druck steigt der Kondensationspunkt des Kältemittels und die Temperatur derart an, daß eine Wärmeübertragung auf den Nutzkreislauf, hier den Heizungskreislauf, stattfinden kann. Diesen Prozess kann man z.B. als Vorlauf einer Warmwasserheizung nutzen. Die erforderliche Temperatur liegt zwischen 30-45°C. Das Expansionsventil erzeugt im Verflüssiger einen Druckabfall und bringt das unter großem Druck stehende Kältemittel zum kondensieren. Nach diesem Prozess ist das Kältemittel wieder im Ausgangszustand angelangt und kann wieder die Wärme der Umgebung absorbieren. Für die Effizienz der Wärmepumpe ist eine geringe Differenz zwischen Umgebungswärme und Heizkreislauf förderlich. Deswegen lassen sich Heizungs- und Kühlsysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen (wie die Betonkernaktivierung) besonders gut mit Wärmepumpen betreiben.

Betriebsweise:

Wird für die Heizung ausschließlich eine Wärmepumpe verwendet, spricht man von einem monovalenten Betrieb. Die Wärmepumpe kann 100% des Bedarfs aller Heiztage leisten (Abb. 16). Beim bivalent alternativen Betrieb deckt die Wärmepumpe den Wärmebedarf bei höheren Außentemperaturen und wird bei niedrigen Temperaturen ausgeschaltet. Ein konventioneller Heizkessel übernimmt dann die Wärmeversorgung an Spitzentagen (Abb. 17). Im bivalent parallelen Betrieb wird ein konventioneller Heizkessel bei hohem Wärmebedarf zugeschaltet, die Wärmepumpe läuft parallel weiter mit und erbringt durchschnittlich 85% der Gesamtheizleistung (Abb. 18).

Abb. 16 (oben): Monovalenter Betrieb  
 Abb. 17 (mitte): Bivalent alternativer Betrieb  
 Abb. 18 (unten): Bivalent paralleler Betrieb



### 3.2. Raumkonditionierung

Die Abbildungen 19-21 zeigen unterschiedliche Lüftungsvarianten, die sich in Verbindung mit einer Bauteilaktivierung besonders eignen. Insbesondere bei Bauten mit hohem Anspruch an den Sichtbeton, sowohl an Decken als auch an Wänden, sind Belüftungssysteme, die ohne Abhangdecke auskommen, erforderlich. Lüftungssysteme sorgen einerseits für die Frischluftzufuhr im Innenraum und können andererseits durch vortemperierte Luft das Raumklima regulieren. Da bei der Anwendung einer Bauteilaktivierung die thermische Kontrolle hauptsächlich über die Bau- und nicht über die Luftmasse erfolgt, kann die Lüftungsanlage kleiner dimensioniert werden.

#### a) Dezentrales Lüftungsgerät mit Bauteilaktivierung (Abb. 19):

Bei diesem Konzept ergänzen sich thermotaktive Decken (und Wände) mit dezentralen Lüftungsgeräten. Die Trägheit der Masse und die niedrigen Systemtemperaturen ermöglichen mit geringem Aufwand ein behagliches Raumklima. Jedoch ist auf Grund der Trägheit eine flexible Einzelraumregelung und ein schnelles Anpassen an die individuellen Nutzerwünsche schwierig. Das können die dezentralen Lüftungsgeräte kompensieren. Mit einer integrierten Wärmerückgewinnung kann auch hier den Energieaufwand optimiert werden. Das Konzept ist gut für belastete Standorte (Büros) bei hohen Anforderungen an die Flexibilität bei mittleren Lasten.

#### b) Mechanische Lüftung mit Bauteilaktivierung (Abb. 20):

Hier erfolgt die Beheizung über die Bauteilaktivierung mit niedrigen Systemtemperaturen. Bei erhöhtem Wärmebedarf kann die Lüftung zur Heizung mitgenutzt werden. Das hat zur Folge, daß die Lüftung nicht mehr einer Quelllüftung entspricht ( $<2\text{m/h}$ ). Die Wärmerückgewinnung wirkt sich hier auch positiv auf den Wärmelüftungsbedarf aus. Die Unbehaglichkeit bei der Zuluft-einbringung kann eine Vorkonditionierung minimal halten. Die Tauwasserproblematik kann durch eine Entfeuchtung der mechanischen Zuluft

gelöst werden. Dadurch wird die Leistung der Bauteilaktivierung erhöht. Auch bei diesem Raumkonditionierungskonzept ergibt sich eine Gesamtleistung im mittleren Bereich. Die Trägheit der Bauteilaktivierung kann durch die mechanische Lüftung ausgeglichen werden. Der Einsatz von regenerativen Energieerzeugern ist gut anwendbar.

#### c) Fensterlüftung mit Bauteilaktivierung und Nachheiz radiator (Abb. 21):

Die Grundheizung des Gebäudes erfolgt über Bauteilaktivierung mit niedriger Systemtemperatur. Eine Wärmepumpe kann hier effizient genutzt werden. Zur Nachregulierung und Verbesserung Raumtemperatur und der Behaglichkeit wird die Zuluft, die über Fenster einströmt, durch Nachheizradiatoren vorgewärmt. Gute Behaglichkeit kann hier mit technisch geringem und niedrigem Energieaufwand erzeugt werden. Die Bauteilaktivierung verspricht eine behagliche Raumkühlung, zumal die Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium und Raum gering ist, sodaß regenerative Kältequellen ebenfalls gut eingesetzt werden können. Die durch die Trägheit der Baumasse bewirkte Phasenverschiebung eignet sich gut für die Nachtauskühlung. Wegen der grossen Wärmeübergabeflächen ist das Kühlpotential hoch und über die Fenster-

lüftung effektiv nutzbar. Auch Lastspitzen können so nivelliert werden. Zusätzliche Wärme- bzw. Kältesysteme können somit geringer dimensioniert werden. Wegen der Trägheit der Bauteilaktivierung ist jedoch auch bei diesem Konzept eine Einzelraumregelung nur beschränkt und beispielsweise eine geschossweise Abrechnung nicht realisierbar. Somit eignet sich dieses Konzept lediglich für nicht oder wenig belastete Standorte. Mit regenerativer Kälte und geringem Energie- sowie Kostenaufwand erzielt diese Raumkonditionierungsvariante ein behagliches Raumklima.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Dezentrales Lüftungsgerät |   |
| Heizleistung              | 60-80 W/m <sup>2</sup>  |
| Kühlleistung Luft         | 30 W/m <sup>2</sup>   |
| Kühlleistung Wasser       | 40 W/m <sup>2</sup>   |
| Systemtemperatur Heizung  | 25 °C / 30°C (TAD/ dezentr. Lüftungsgerät)  |
| Systemtemperatur Kühlung  | 18 °C / 16°C (TAD/ dezentr. Lüftungsgerät)  |
| Regelbarkeit              | gut   |
| Vorteile                  | Phasenverschiebung, Ausgleich von Spitzenlasten, regenerative Wärme- und Kälteerzeugung, Einzelraumregelung |
| Nachteile                 | schlechte Raumakustik, keine abgehängten Decken   |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Mechanische Lüftung      |   |
| Heizleistung             | 40 W/m <sup>2</sup>   |
| Kühlleistung Luft        | 8 W/m <sup>2</sup>  |
| Kühlleistung Wasser      | 45 W/m <sup>2</sup>   |
| Systemtemperatur Heizung | 25 °C / 30°C (TAD/ mech. Lüftung)   |
| Systemtemperatur Kühlung | 18 °C   |
| Regelbarkeit             | sehr eingeschränkt  |
| Vorteile                 | Wärmerückgewinnung, behagliche Lüftung im Winter                          |
| Nachteile                | keine Einzelraumregelung, schlechte Raumakustik, keine abgehängten Decken |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Fensterlüftung und Nachheizradiatoren |  |
| Heizleistung                          | 50 W/m <sup>2</sup>  |
| Kühlleistung Luft                     | außenlufttemperaturabhängig  |
| Kühlleistung Wasser                   | 40 W/m <sup>2</sup>  |
| Systemtemperatur Heizung              | 25 °C / 30°C (TAD/ Radiator)   |
| Systemtemperatur Kühlung              | 18 °C  |
| Regelbarkeit                          | eingeschränkt  |
| Vorteile                              | Phasenverschiebung, Ausgleich von Lastspitzen, Strahlungswärmeabgabe   |
| Nachteile                             | schlechte Raumakustik, keine abgehängten Decken, Eintrag von Lärm und Staub, unbehagliche Lüftung im Winter <sup>2</sup> |

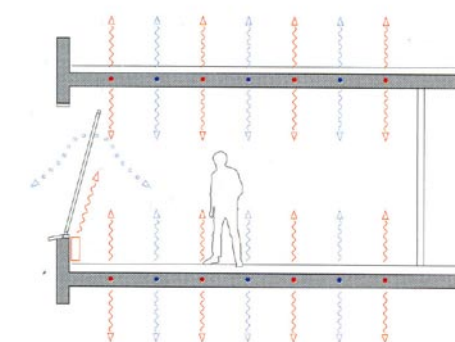
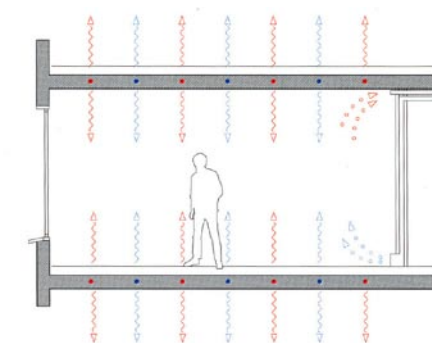
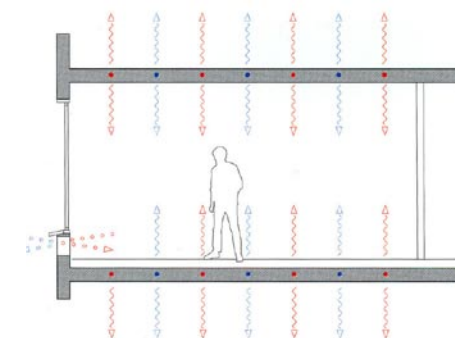


Abb. 19 (oben): Dezentrales Lüftungsgerät  
 Abb. 20 (mitte): Mechanische Lüftung  
 Abb. 21 (unten): Fensterlüftung und Nachheizradiatoren

<sup>2</sup>) Tabelle aus *Hausladen.*; Saldanha.; Liedl.; Sager.: *Clima und Design. München, Saint Tropez, Porto Corallo, 2004, S.74,75*

## 3.3. Natürliche Energiequellen

Konventionelle Wärme- und Kältererzeuger, wie z.B. Kohlekraft-, Blockheizkraftwerke oder Klimaanlage haben einen hohen Strom- und Primärenergieverbrauch. Da zum temperieren von Betonkernaktivierten Bauteilen in Verbindung mit einer Wärmepumpe nur niedrige Vorlauftemperaturen benötigt werden, eignen sich natürliche und regenerative Energiequellen besonders gut, um eine kostengünstige und ökologische Betriebsweise zu gewährleisten. Als ideale natürliche Wärmequellen können das Erdreich, Luft oder Wasser genutzt werden. Die Wärme wird in der Regel auf einen internen Wasserkreislauf übertragen.

Grund-, See- und Flußwasser:

Das wichtigste Kriterium bei der Nutzung von See- und Flußwasser ist, daß dieses ganzjährig ein ausreichend hohes Temperaturniveau aufweist. Da Oberflächenwasser direkter auf die Außenlufttemperatur reagiert, darf die Wassertemperatur auch bei einer Abkühlung nicht unter den Gefrierpunkt absinken, da sonst die Wasserleitungen sowie der Wärmetauscher vereisen. Im Gegensatz dazu weist Grundwasser das ganze Jahr über eine relativ konstante Temperatur von 10°C auf, weswegen Grundwasserpumpen auch im tiefsten Winter eingesetzt werden können. Im Sommer können die niedrigen Temperaturen zur Bauteilkühlung, im Winter in Kombination mit einer Wärmepumpe zur

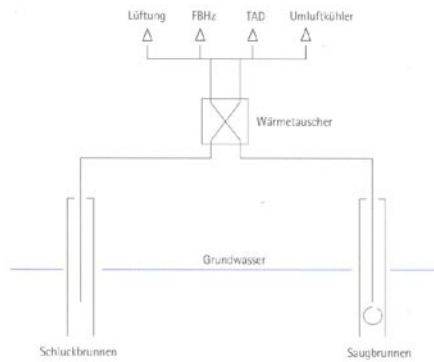
Raumtemperierung genutzt werden. Über einen Förderbrunnen wird das Wasser entnommen, über den Verdampfer geleitet und anschließend in einem Schluckbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt (Abb. 22). Daneben bieten Abwässer aus Industrieanlagen und gewerblichen Einrichtungen (z.B.. Kühlwasser, Kläranlagenabwasser), sowie Grubenwassernutzung (S. 3.4. Gebaute Beispiele: Design School, SANAA) ebenfalls ein konstantes Wärmepotential.

Erdreich:

Bei der Nutzung des Erdreiches als Wärmequelle können entweder Rohrregister, Erdpfähle oder Erdsonden eingesetzt werden. Da das Erdreich, ähnlich wie das Grundwasser, konstante Temperaturen ausweist, kann es ideal im Sommer als kühlende bzw. im Winter als wärmende Energiequelle genutzt werden. Ab einer Tiefe von 6m im Boden stellt sich die Jahresmitteltemperatur ganzjährig ein.

Rohrregister werden in einer Tiefe von etwa 2m flächig im Erdreich verlegt. Ein Wasser-Glykol-Gemisch wird hindurch gepumpt, das die Wärme an den Verdampfer abgibt. Gut geeignet sind feuchte Lehmböden. Die notwendige Fläche beträgt das Zweieinhalb- bis Dreifache der zu beheizenden Fläche.

Wenn aus statischen Gründen Pfahlfundamente erforderlich sind, können diese gleichzeitig als Energiepfähle genutzt wer



| Planungskennwerte für Erdsonden  | Kühlung   | Heizung     |
|--|-----------|-------------|
| Durchschnittliche Leistung   | 30-40 W/m | 40-50 W/m   |
| Leistung mit Grundwasserströmung > 0,5 m/Tag   | 40 W/m    | > 50 W/m    |
| Leistung ohne Grundwasserströmung geringe Wärmeleitfähigkeit des Bodens (trockener Sand) | < 30 W/m  | 25-30 W/m   |
| Leistung ohne Grundwasserströmung gute Wärmeleitfähigkeit des Bodens (feuchter Lehm)     | < 30 W/m  | 30-35 W/m   |
| Durchschnittliche Wärme- und Kältespeicherung  |           | 60-80 kWh/m |
| Maximale Entnahmetemperatur (Sommer)   |           | ca. 20 °C   |
| Minimale Entnahmetemperatur (Winter)   |           | ca. 2 °C    |

Abb. 22 (oben): Funktionsprinzip der Grundwassernutzung  
Abb. 23 (unten): Planungskennwerte für Erdsonden



den (S. 3.4. Gebaute Beispiele: Kunsthaus Bregenz, Zumthor). In diesen Fällen weist der Boden einen hohen Grundwasserspiegel und somit eine gute Wärmeleitung auf. An der Betonkonstruktion können die einzelnen Rohre befestigt oder mit einbetoniert werden.

Senkrecht in die Erde gebohrte Erdsonden (30-150m) eignen sich für kleine Grundstücke oder für den nachträglichen Einbau im Rahmen einer Sanierung. Ab der Tiefe von 15m liegt die Erdreichtemperatur das ganze Jahr über konstant bei 10 bis 14°C. In der Regel wird über eine Bohrung ein Kunststoffrohr in die Erde eingebracht, durch welches das Wasser-Glykol-Gemisch gepumpt wird (Abb. 23).

Luft:

Als Energiequelle für eine Wärmepumpe eignet sich die Außenluft nur bedingt, da der Temperaturverlauf großen Schwankungen unterliegt. Besonders im Winter beim größten Wärmebedarf ist die Außenluft am kältesten.

Besser als bei einer Wärmepumpe mit Bauteilaktivierung kann die Luft über einen Luft-Erdwärmetauscher zur Raumkonditionierung genutzt werden (S. 3.2. Raumkonditionierung). Dabei wird ergänzend zur Bauteilaktivierung die konditionierte Luft über mechanische Lüftungssysteme zur Temperaturregulierung des Innenraums genutzt. Ein Luft- Erdwärmetauscher basiert auf der Idee, das im Erdreich vorhan-

dene Temperaturniveau, welches in einer Tiefe von 3m in unsere Breiten zwischen 6 und 15°C liegt, für eine Vorkonditionierung von Außenluft im Gebäudebereich zu nutzen. Über horizontal im Erdreich verlegte Einzelrohre oder Rohrregister wird die Außenluft zur Vorwärmung oder zur Abkühlung geführt. Beim Heizen kann eine Vorwärmung von bis zu 20K, beim Kühlen eine Temperatursenkung von bis zu 12K bewirkt werden (Abb. 24). Durch diesen Energiegewinn kann im Winter die Vereisung von Wärmerückgewinnungs- und dezentralen Lüftungsgeräten vermieden werden. Positiv wirken sich ein großer Rohrdurchmesser, lange Rohrregister und geringe Luftstromgeschwindigkeiten, wie auch eine große Verlegungstiefe aus.

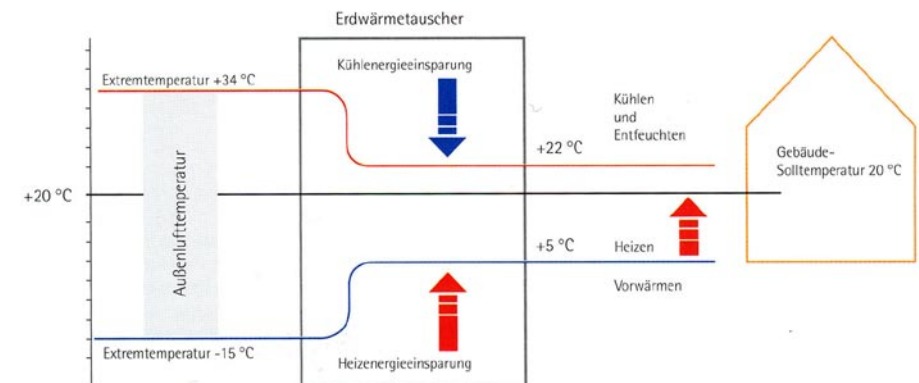


Abb. 24 (unten): Erdwärmetauscher

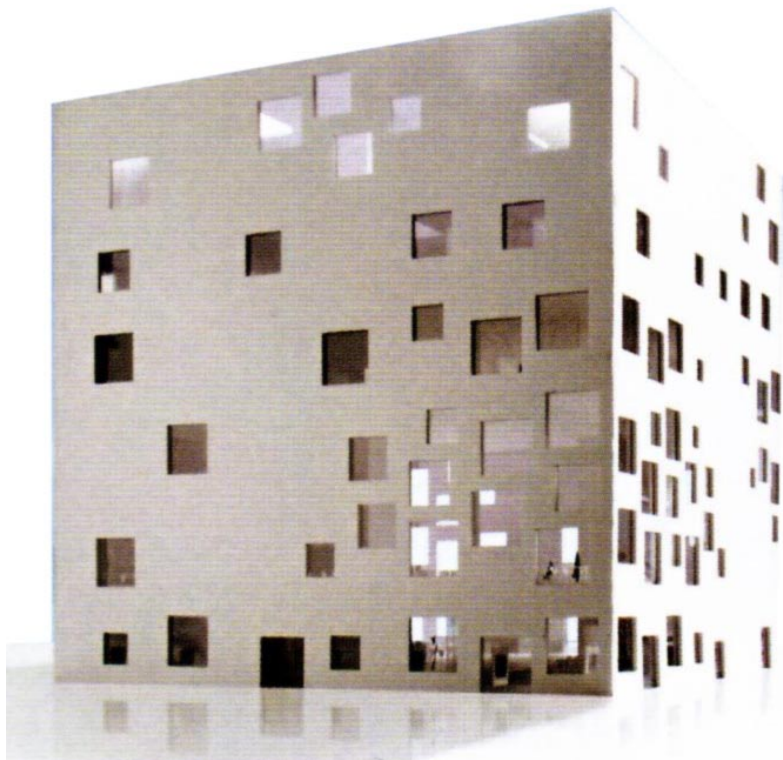


Abb. 25: Modellfoto Design School

### 3.4. Gebaute Beispiele

#### Design School

##### Zollverein Essen, SANAA:

Die Entwicklung des Klima- und Energiekonzeptes der Design School greift maßgebend auf die natürliche lokale Energiequelle, hier das 30° warme Grubenwasser, zurück. Durch die Einbindung des Grubenwassers in die Wärmeversorgung des Gebäudes wird eine kostengünstige und CO<sub>2</sub>-freie Wärmequelle erschlossen, die pro Jahr 31t CO<sub>2</sub> einspart. Die Energieeinsparverordnung wird um 75% unterboten und die Betriebskosten um 7000€ reduziert.

Der monolithische Kubus mit 35m Kantenlänge beinhaltet vier Geschosse mit Raumhöhen zwischen 3,60m und 10,50m (Abb. 25). Die Lastabtragung und Aussteifung erfolgt ausschließlich über die vier Außenwände, drei innere Kerne und zwei Stahlverbundstützen. Die entwurfsbedingten fugenlosen Sichtbetonoberflächen der Außenwände im Innen- wie im Außenbereich ließ eine Trennung der technischen Gebäudeausrüstung vom Tragwerk nicht zu. Die Wände und Decken mussten somit neben der statischen Funktion sämtliche technische Leitungssysteme integrieren können. Die vom Entwurf geforderten möglichst dünnen Wände stellten eine große Herausforderung an das Zusammenwirken von Architekt, Statiker und Bauphysiker dar und brachte innovative Lösungen der Decken- Wandkonstruktionen hervor.

### Wandkonstruktion:

Die Planung der Decken und Wandkonstruktion stand unter der Fragestellung wieviel Haustechnik sich in einen statisch aktiven Querschnitt integrieren lässt.

Um den geforderten Wärmedämmwert zu erreichen, wären alternative und übliche Wandkonstruktionen mit Kerndämmung und selbstverdichtendem Beton oder mit mineralischem Dämmputz zu aufwendig, teuer und entwurfsabweichend gewesen. Deswegen wurde das Konzept einer aktiven Wärmedämmung entwickelt und ausgeführt. Die betonkernaktivierten, einschaligen Wände sind mit 30 Rohrregisterkreisläufen (jeweils mit 60-80m Vor- und Rücklauf) durchzogen (Abb. 26). Die einzelnen einbetonierten Rohre haben einen Durchmesser von 2cm und eine Mindestbetonüberdeckung von 10cm. Um Rißbildungen im Sichtbeton zu vermeiden, wurde eine rißverteilende Bewehrung über

die Rohrregister eingelegt. Das 30° warme Grubenwasser erwärmt im Wärmeübertrager das Wasser des einbetonierten internen Kreislaufs in den Wänden. Dabei dient die Außenwände nicht als Heizung des Gebäudes, sondern übernimmt die Funktion einer Wärmedämmung. Die kostengünstig erwärmte Wand verhindert im Winter einen Wärmeverlust vom Innen- zum kalten Außenraum. Durch dieses Konstruktionsprinzip konnte die Außenwandstärke durch Last- und Kerndämmungseinsparung von 50cm auf 30cm reduziert werden, bei Geschosshöhen von bis zu 10,50m (Abb. 27, 28). Die statische und planerische Herausforderung zeichnet sich durch die exakte Anpassung zwischen Lastabtragung, Fensteröffnungen sowie Bewehrungs- und Leitungsführung im schmalen Bauteilquerschnitt ab (Abb. 29).

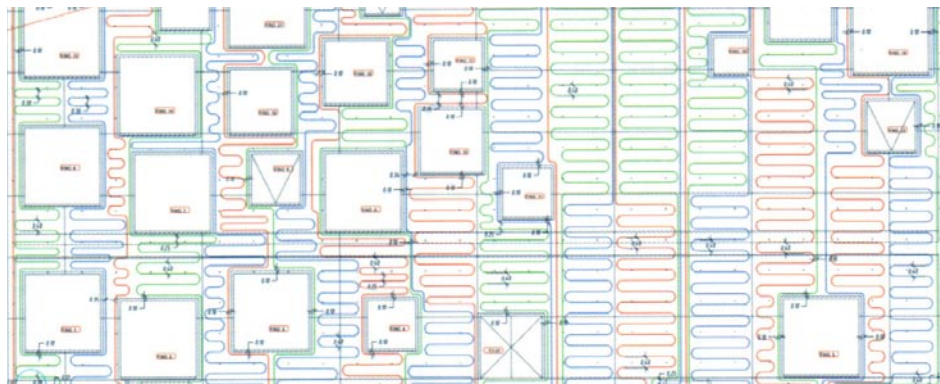


Abb. 26 (links): Leitungsführung, aktive Wärmedämmung  
 Abb. 27 (oben): einschalige Außenwand  
 Abb. 28 (rechts): einschalige Außenwand  
 Abb. 29 (mitte): Technikintegration im Bauteilquerschnitt



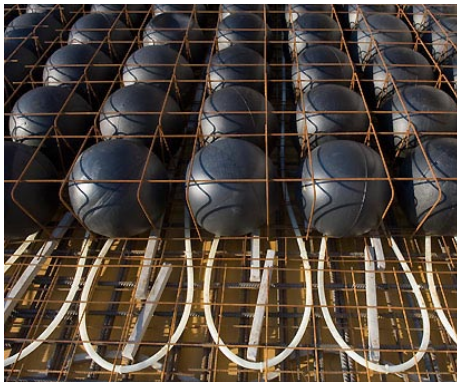
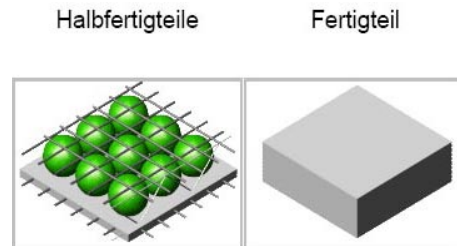


Abb. 30 (oben): BubbleDeck mit Bauteilaktivierung  
 Abb. 31 (mitte): BubbleDeck Grundmodulherstellung  
 Abb. 32 (unten): BubbleDeck Halbfertigteil  
 Abb. 33 (unten mitte): BubbleDeck Halbfertig- und Fertigteil  
 Abb. 34 (unten rechts): BubbleDeck Aufbau



## Deckenkonstruktion

### BubbleDeck:

In der 50cm dicken Stahlbetondecke mit einer Spannweite von bis zu 16m sind ebenfalls Rohrregister einbetoniert. Anders als bei der Wandkonstruktion dient die Wärme des Grubenwassers bei der bauteilaktivierten Decke als Heizsystem. Die Rohrregister des internen Wasserkreislaufs sind über der unteren Bewehrung einbetoniert. Um Risse in der fugenlosen Deckenunterseite zu vermeiden, wurde der Bewehrungsgrad der untern Lage erhöht (Abb. 30, 34).

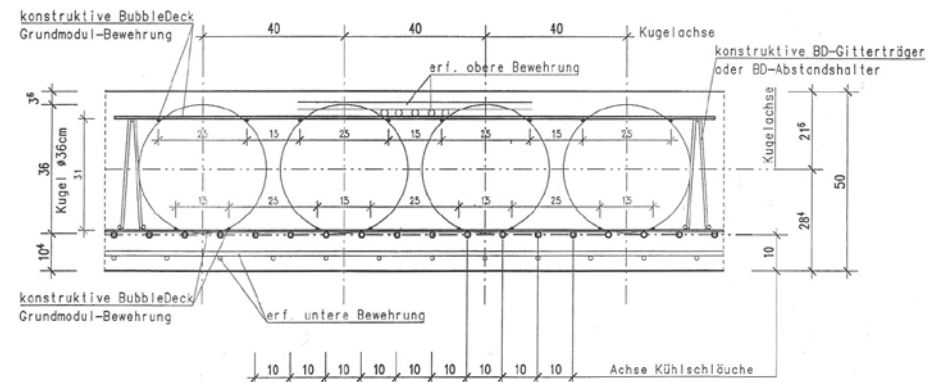
### Konstruktion:

Um die großen Spannweiten zu ermöglichen, wurde die Decke als BubbleDeck konstruiert. Die monolithische Hohlkörperdecke weist die gleichen statischen und optischen Eigenschaften wie eine Massivdecke auf. Kugelförmige, hohle Verdrängungskörper aus Polyethylen werden in die Decke einbetoniert und ermöglichen so Betonaussparungen in den Bereichen, wo der Beton nicht zur Tragfähigkeit beiträgt,

sondern nur Lasten bringt. Durch die Kugelform der Hohlkörper ist ein ungerichteter, zweiachsiger Lastabtrag möglich. Die Verdrängungskugeln sind über vertikale Gitterträger zwischen dem oberen konstruktiven und dem unteren statischen Bewehrungsnetz fixiert und somit gegen ein Aufschwimmen beim Betoniervorgang gesichert (Abb. 30, 34).

Die BubbleDeck-Konstruktion kann entweder vor Ort als Grundmodul (Hohlkörper zwischen Bewehrungsmatten) einbetoniert, oder als werkvorgefertigtes Halbfertig- bzw. Fertigteil eingebaut werden (Abb. 31-33). Bei Halbfertigteilen sind die Hohlkörper zusammen mit den Bewehrungsgittern auf der vorbetonierten Grundplatte befestigt. Auf der Baustelle wird der Ort beton auf das Halbfertigteil aufgebracht, wodurch eine aufwendige Schalungsarbeit eingespart wird. Halb- und Fertigteilenelemente können in Abmessungen von 3m Breite und 14m Länge hergestellt werden.

Die Deckenstärken bei BubbleDeck-Konstruktionen können zwischen 23cm und



60cm betragen, wodurch Spannweiten von bis zu 20m erreicht werden.

Diese Deckenkonstruktion bringt im Vergleich zu massiven Decken viele Vorteile mit sich. Durch den materialsparenden Aufbau werden bis zu 35% weniger Beton und Stahl benötigt (Abb. 35). 1kg Kunststoffkugeln ersetzen 100kg Beton, wodurch die Decke sehr leicht wird und diese großen Spannweiten ermöglicht. Auch bei Deckenaussparungen sind auf Grund des ungerichteten, zweiachsigen Lastabtrags keine Unterzüge nötig. Bei der Verwendung von BubbleDeck-Fertigteilmodulen reduziert sich die Bauzeit durch geringeren Transport-, Montage- und Betonieraufwand. Durch die grossen Spannweiten werden Stützen und somit auch Material eingespart. Bereits enthaltene Bewehrung in den Teilfertigteilen spart ebenfalls Schalung vor Ort ein und sichert zudem die Sichtbetonqualität. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, Haustechnik (Heizung, Kühlung, Rohregister,...) in der Konstruktion einzulegen. Gerade für die Bauteilakti-

vierung ist das eine grundlegende Voraussetzung.

Auftretende Querkräfte und Durchstanzungen im Bereich von Stützen sind die Schwachstelle dieser Deckenkonstruktion, da die Abminderung der Durchstanzlasten im Vergleich zu Massivdecken bei 50% liegt (Abb. 36). Deswegen dürfen die Kunststoffkugeln im Stützenbereich nicht eingelegt werden, und die Decke muß hier unter der Verwendung von querkraftbeanspruchten Einbauteilen vollflächig betoniert werden (Abb. 37, 38).

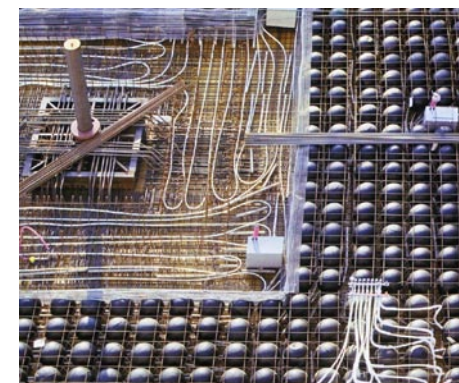
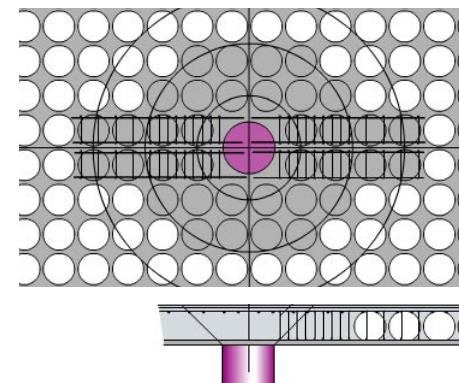


Abb. 35 (unten links): Beton- und Lastesparungen  
 Abb. 36 (oben): Prüfung: Durchstanzung an Stütze  
 Abb. 37, 38 (mitte, unten): Auslassen der Hohlkörper im Stützenbereich

|                   |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Kugeldurchmesser: | 18 cm                               | 22,5 cm                             | 27 cm                               | 31,5 cm                             | 36 cm                               | 40,5 cm                             | 45 cm                               |
| Lastersparnis*:   | 1,9 kN/m <sup>2</sup>               | 2,4 kN/m <sup>2</sup>               | 2,9 kN/m <sup>2</sup>               | 3,3 kN/m <sup>2</sup>               | 3,8 kN/m <sup>2</sup>               | 4,3 kN/m <sup>2</sup>               | 4,8 kN/m <sup>2</sup>               |
| Betonersparnis*:  | 0,07 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,09 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,11 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,13 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,17 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> | 0,19 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> |

\* gegenüber gleichstarker Massivdecke mit Normalbeton



### Kunsthhaus Bregenz, Peter Zumthor

Die Reduktion auf das Wesentliche, indem nur wenige Materialien verwendet wurden, führte beim Entwurf und der Ausarbeitung zur Ausreizung der Einfachheit in jedem Detail. Äußerlich zeigt der 30m hohe Kubus nur seine umhüllende Schuppenkleidfassade aus geätzten Glastafeln (Abb. 39). Im Inneren sind in den Ausstellungssälen lediglich Sichtbeton, der Terrazzofußboden und die abgehängte Glasdecke ersichtlich (Abb. 40, 41). Die gesamte Haus- und Klimatechnik wurde in die massiven Bauteile integriert und bleibt unsichtbar.

Das intelligente und energiefreundliche Klimakonzept kommt ohne störende sichtbare Konvektoren und Lüftungsleitungen aus. Die drei übereinandergestapelten Ausstellungssäle sind als Betonwannen ausgeführt und werden von drei massiven, 72cm dicken Betonwänden getragen. In diesen Bauteilen sind insgesamt 54km wasserführende Rohrregister einbetoniert.

Die gesamte massive Bauteilmasse, die im Innenraum unverkleidet ist, kann somit als thermische Speichermasse genutzt werden. Durch die großen temperierten Wand- und Deckenflächen reichen geringe Temperaturen (ca 26° Wassertemperatur) aus, um ein behagliches Raumklima zu gewährleisten. Dies wäre mit Radiatoren als Heizquelle wegen ihrer punktuellen Wärmestrahlung nicht möglich. Anders als bei üblichen Klimasystemen wird hier nicht die Luft- sondern die Baumasse thermisch kontrolliert.

Die Kühlung des Wassers in den Bauteilen erfolgt über den Wärmetausch mit dem Grundwasser in den über 28m tiefen Fundament-Schlitzwänden (Abb. 42). Der Standort des Kunsthauses nahe des Bodensees eignet sich für diesen Zweck besonders gut, da ein feuchter Untergrund mit besten Kühlkapazitäten vorliegt. Die regulierbare Wassermenge wird aus Puffer-tanks in die Rohrregister gepumpt. Der Energieaufwand im Sommer beschränkt sich somit auf den Betrieb der Umwälzpumpe



Abb. 39 (links): Außenfassade  
Abb. 40, 41 (rechts): Ausstellungsraum mit Staubdecke



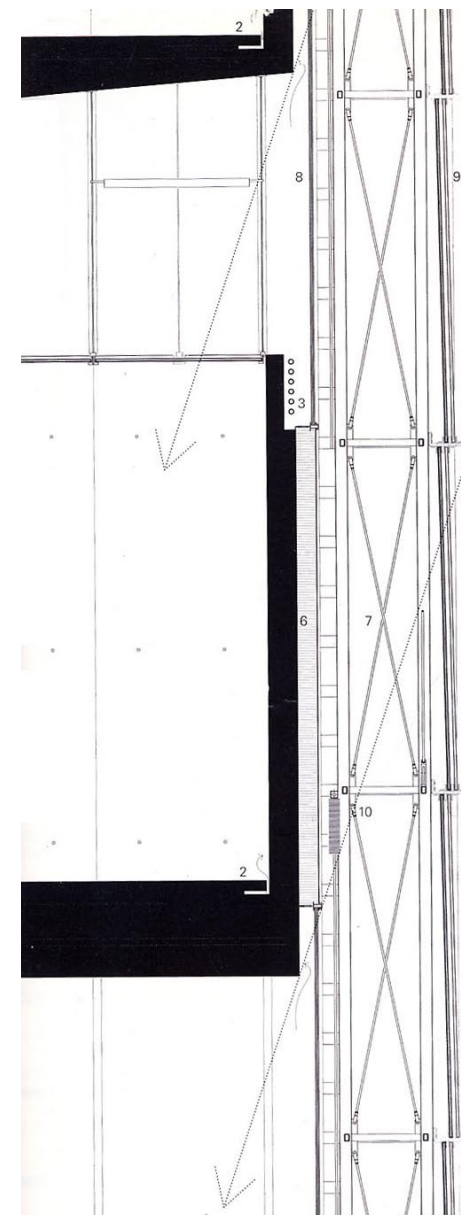
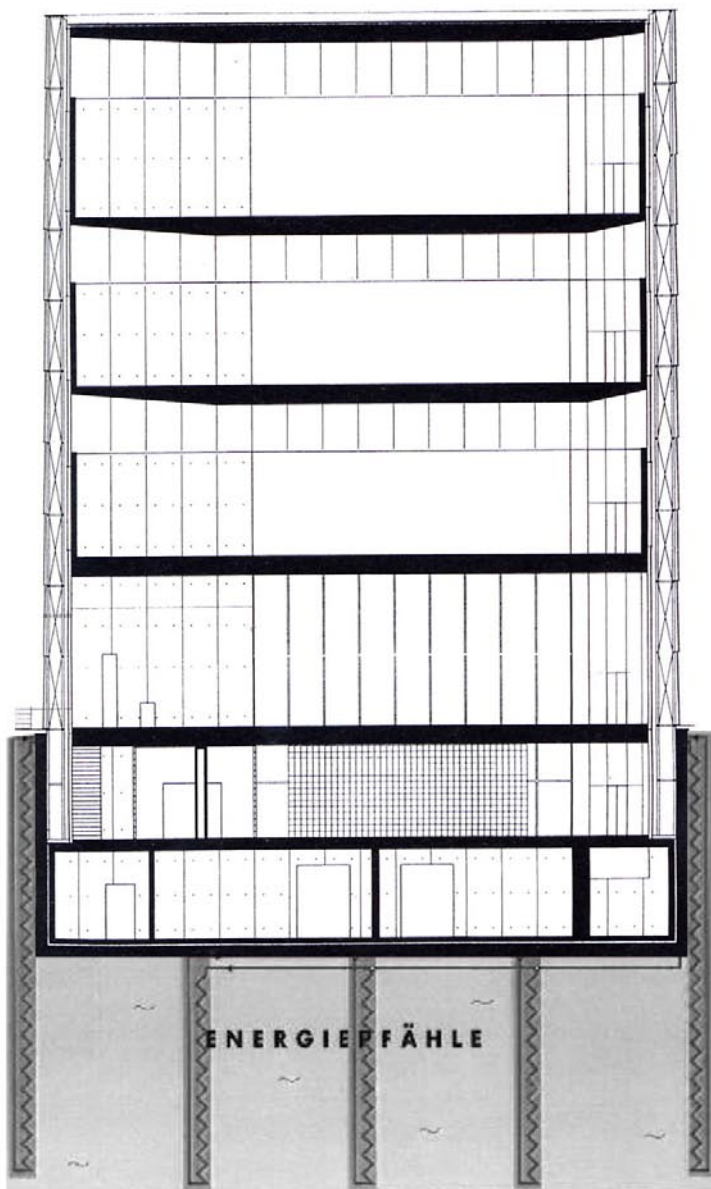
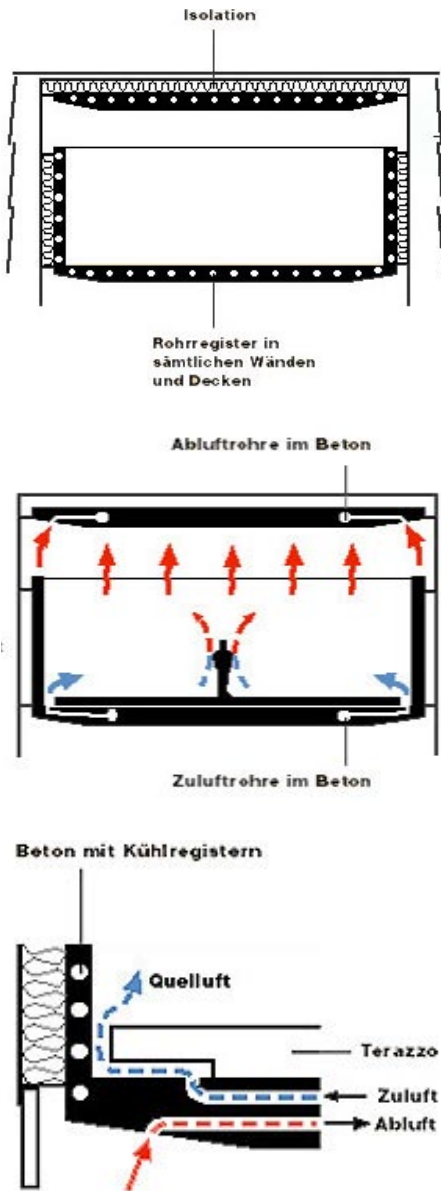


Abb. 42 (links): Schnitt mit Energiepfahlgründung  
 Abb. 43 (rechts): Fassadenschnitt



für den Wasserkreislauf in den Bauteilen und im Erdreich.

Auf ein nächtliches Abstrahlen der absorbierten Wärme der Betonmasse im Sommer ist man auf Grund der Grundwasserkühlung nicht angewiesen. Dadurch konnte das gesamte Gebäude von außen auf den Betonbauteilen gedämmt, und somit vollständig vom Außenklima abgekoppelt werden (Abb. 43, 44). Zum Heizen ist der interne Wasserkreislauf an eine Kondensationsgasheizung als Wärmequelle angeschlossen.

Da die Klimaregulierung über die Baumassee und nicht über die zugeführte Luft geleistet wird, kann die üblich geforderte Luftwechselrate in Museen von  $n=6-8h^{-1}$  auf einen Wert von  $n=1h^{-1}$  reduziert werden. Die Lüftungsanlage und -rohre können somit kleiner ausfallen. Die Frischluft wird durch die in den Decken und Böden einbetonierten Lüftungsrohre (10-15cm Durchmesser) geleitet und gelangt als Quellluft aus einer Fuge zwischen Wand und Boden in den Raum (Abb. 46). Die abgehängte Glas-

decke teilt den Raum in zwei Klimazonen. Die durch den Besucher erwärmte und verbrauchte Luft gelangt durch die Glasdecke in die obere Klimazone. Über die Abluftrohre in der Decke wird die Luft aus dem Raum abgeführt (Abb. 45). Eine Vollklimaanlage wird somit überflüssig, wodurch 1,6Mio€ Investitions- und 2500€ jährliche Betriebskosteneinsparungen möglich waren. Die Beleuchtungs- und Belichtungstechnik ist oberhalb der abgehängten Glasdecke in einem 2m hohen Zwischendeck unter der Betondecke untergebracht (Abb. 47). Neben dem natürlichem Tageslicht gelangt auch gezielt eingesetztes Kunstlicht durch die transluzente „Staubdecke“. Obwohl keine Fenster in den Ausstellungsräumen sind, bleibt die Außenraumatmosphäre und Tageszeit durch die diffuse Glasdecke wahrnehmbar.



Abb. 44 (oben): Betonkernaktivierung, Außendämmung  
 Abb. 45 (mitte): 2 Klimazonen  
 Abb. 46 (unten): Zu- und Abluftleitung im Bauteil  
 Abb. 47 (rechts): technisches Zwischendeck





## KOSTENVERGLEICH SICHTBETON-FASSADEN (Preisbasis: Zürich 2005)

| Var.     | Textbeschreibung  | Werte 1       | Werte 2       | Werte 3       | Werte 4       | Mittelwert    |
|----------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|          |   | CHF/m2        | CHF/m2        | CHF/m2        | CHF/m2        | CHF/m2        |
| <b>1</b> | <b>zweischalige Sichtbetonkonstruktion</b>  |               |               |               |               |               |
|          | zuerst innere Schale betoniert, Dämmung als verlorene Schalung für äussere Schalung, beide Schalen örtlich mit wärmegeämmten CNS-Dornen verbunden |               |               |               |               |               |
|          | Beton, 25 cm (innere Schale)  | 46.25         | 80.00         | 70.00         | 62.50         | 64.70         |
|          | Armierung   | 45.00         | 40.00         | 50.00         | 11.00         | 36.50         |
|          | 1 x Sichtschalung Typ 3   | 77.00         | 50.00         | 75.00         | 65.00         | 66.80         |
|          | 1 x Schalung Typ 1  | 38.50         | 30.00         | 42.00         | 22.00         | 33.10         |
|          | Nachbehandlung Beton  | 10.00         | 5.00          | 15.00         | 12.00         | 10.50         |
|          | Dämmung XPS, 12 cm (an innere Schale geklebt)   | 47.25         | 65.00         | 60.00         | 55.00         | 56.80         |
|          | Wärmegeämmte CNS-Dorne  | 21.00         | 5.00          | 20.00         | 25.00         | 17.80         |
|          | Beton, 20 cm (äussere Schale – nachträglich)  | 37.00         | 70.00         | 50.00         | 85.00         | 60.50         |
|          | Armierung   | 36.00         | 40.00         | 50.00         | 11.00         | 34.30         |
|          | 1 x Sichtschalung Typ 3   | 80.00         | 40.00         | 75.00         | 65.00         | 65.00         |
|          | 1 x Schalung Typ 1  | 0.00          | 30.00         | 42.00         | 22.00         | 23.50         |
|          | Nachbehandlung Beton  | 10.00         | 5.00          | 15.00         | 12.00         | 10.50         |
|          | Schützen Beton während Rohbauphase  | 15.00         | 20.00         | inkl.         | 20.00         | 13.80         |
|          | Retuschieren / Hydrophobierung etc. (innen)   | 30.00         | 25.00         | 10.00         | 30.00         | 23.80         |
|          | <b>Total</b>  | <b>493.00</b> | <b>505.00</b> | <b>574.00</b> | <b>497.50</b> | <b>517.60</b> |
| <b>2</b> | <b>zweischalige Konstruktion, aussen Sichtbeton, innen KS verputzt</b>  |               |               |               |               |               |
|          | Beton, 25 cm (äussere Schale)   | 46.25         | 80.00         | 70.00         | 95.00         | 72.80         |
|          | Armierung   | 45.00         | 40.00         | 50.00         | 11.00         | 36.50         |
|          | 1 x Sichtschalung Typ 3   | 77.00         | 50.00         | 75.00         | 65.00         | 66.80         |
|          | 1 x Schalung Typ 1  | 38.50         | 30.00         | 42.00         | 22.00         | 33.10         |
|          | Nachbehandlung Beton  | 10.00         | 5.00          | 15.00         | 12.00         | 10.50         |
|          | Schützen Beton während Rohbauphase  | 15.00         | 15.00         | 10.00         | 20.00         | 15.00         |
|          | Dämmung XPS, 12 cm, mit Spezialkleber dampfdicht auf Betonwand befestigt  | 47.25         | 70.00         | 75.00         | 62.00         | 63.60         |
|          | Kalksandstein, 12 cm  | 90.00         | 90.00         | 75.00         | 82.00         | 84.30         |
|          | Grundputz   | 32.00         | 20.00         | 33.00         | 15.00         | 25.00         |
|          | Weissputz   | 18.00         | 30.00         | 25.00         | 20.00         | 23.30         |
|          | Organo-Silikat-Farbanstrich (2-fach)  | 28.00         | 5.00          | 15.00         | 15.00         | 15.80         |
|          | <b>Total</b>  | <b>447.00</b> | <b>435.00</b> | <b>485.00</b> | <b>419.00</b> | <b>446.70</b> |
| <b>3</b> | <b>einschalige Konstruktion mit Dämmbeton</b>   |               |               |               |               |               |
|          | Dämmbeton, 60 cm (gefügedichter Leichtbeton, Grobzuschläge Liapor, Feinzuschläge Liaver, Dichte 1100 kg/m3, Druckfestigkeitsklasse LC 8/9)        | 174.00        | 220.00        | 400.00        | 250.00        | 261.00        |
|          | Armierung   | 72.00         | 60.00         | inkl.         | 18.00         | 50.00         |
|          | Sichtschalung Typ 3 (aussern)   | 77.00         | 50.00         | 75.00         | 65.00         | 66.80         |
|          | Sichtschalung Typ 3 (innen)   | 77.00         | 30.00         | 75.00         | 65.00         | 61.80         |
|          | Nachbehandlung Beton  | 10.00         | 20.00         | 15.00         | 24.00         | 17.30         |
|          | Schützen Beton während Rohbauphase  | 15.00         | 20.00         | inkl.         | 20.00         | 13.80         |
|          | Retuschieren / Hydrophobierung etc. (innen)   | 30.00         | 25.00         | 10.00         | 30.00         | 23.80         |
|          | <b>Total</b>  | <b>455.00</b> | <b>425.00</b> | <b>575.00</b> | <b>472.00</b> | <b>494.50</b> |

### Zweischalige Sichtbetonfassade

Wandaufbau: 62cm

Sichtbeton 25cm

XPS-Dämmung 12cm

Sichtbeton 25cm

u-Wert: 0.29 W/m2K

Kosten: ca. 520 CHF/m2



### Sichtbetonfassade mit innerer KS-Schale

Wandaufbau: 49cm

Grund-/Weissputz 2cm

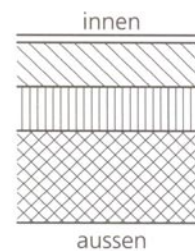
Kalksandstein 12cm

XPS-Dämmung 12cm

Sichtbeton 25cm

u-Wert: 0.29 W/m2K

Kosten: ca. 450 CHF/m2



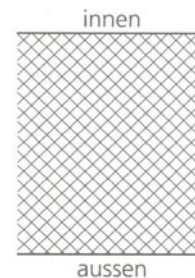
### Dämmbeton-Fassade

Wandaufbau: 60cm

Sichtdämmbeton 60cm

u-Wert: 0.50 W/m2K

Kosten: ca. 490 CHF/m2



## 4. Dämmbeton:

### Optimierung der bauphysikalischen Materialeigenschaften

Bei der Planung eines Projektes sind neben der konzeptionellen Entscheidung der Konstruktionsweise auch die Baukosten ein wesentlicher Gesichtspunkt. Für Dämmbetone existiert jedoch kaum Literatur, die Aufschluß über Richtpreise gibt. Ein entsprechender Preisspiegel ist lediglich aus den Berechnungen vier schweizer Experten<sup>3</sup> entstanden (Abb. 51). Die Tabelle zeigt einen Kostenvergleich zwischen einer zweischaligen Sichtbetonfassade, einer Sichtbetonfassade mit innerer KS-Schale und einer Dämmbetonfassade (Abb 48-50). Die verwendeten Materialien und Wandstärken entsprechen den in der Schweiz gängigen Wandaufbauten. Bei einem durchschnittlichen u-Wert von 0,5 W/m<sup>2</sup>K ist im Gegensatz zu den übrigen Wandaufbauten ein Systemnachweis für das gesamte Gebäude notwendig. Der Kostenvergleich zeigt, daß Dämmbeton konkurrenzfähig ist, insbesondere, wenn die Fassadenabwicklung durch Vor- und Rücksprünge und Auskragungen oder geneigten Flächen bei zweischaligen Fassaden eine extreme Komplexität bewirken. In diesem Fall ist der Dämmbeton sogar eine kostengünstige Alternative.

Abb. 48-50 (links: oben, mitte, unten): alternative Fassadensysteme  
Abb. 51 (rechts): Kostentabelle

<sup>3</sup>) P.Diggelmann, Bauökonom, Chur; D.Gartner, Kostenplaner, Zürich;

26 U.Osterwalder, Bauleiter, Uster; L.Stabile, Bauführer, Bilten

**4.1. „Leca“ Dämmbeton (Siedlung Halen, Atelier 5, Thalmatt, 1967-74)**

Ziel des Dämmbetons ist, eine gute Wärmedämmeigenschaften bei ausreichender Druckfestigkeit zu entwickeln. Der Wärmedurchgangskoeffizient bei Dämmbetonen kann, je nach Mischungsverhältnis, 0,2-1,0 betragen. Der Wert liegt vergleichsweise für Holz bei 0,15 oder für Normalbeton bei 2,1. Die Wärmeleitfähigkeit des Bauteils hängt zu einem erheblichen Teil von der Rohdichte ab. Dämmbeton weist eine haufwerkporige bis gefügedichte Struktur auf und ist ein leichter und gut dämmender, aber nicht so tragfähiger Baustoff.

Der Beton kann vor Ort gegossen werden und läßt somit mehr Freiraum bei der monolithischen Formgebung. Mittels poröser Zuschläge entsteht zwar ein ebenso dichtes Gefüge wie bei Normalbeton, die Dichte nimmt jedoch ab und ermöglicht somit einen guten Wärmedurchgangskoeffizient. So entstanden seit den 50er Jahren in der Schweiz unterschiedliche Formen des Dämmbetons mittels unterschiedlicher Zuschlagstoffe, Leca-, Misapor- und Liaporbeton.

Impetus für die Entwicklung der Dämmbetone ist eine angestrebte monolithische Bauweise, die mit einem einschaligen Aussenwandaufbau auskommt. Leca-Dämmbeton ist eine Entwicklung der 50er Jahre aus der Schweiz (Abb.52-53). Bei der Siedlung Halen in Thalmatt ist zwischen 1967 bis 74 eine Wohnsiedlung entstanden, die ein Experiment mit dieser monolithischen, einschaligen Bauweise darstellt. Die Wärmeleitfähigkeit der Aussenwände liegt bei 1,0 W/mK und entsprach seiner Zeit den Wärmeschutzanforderungen. „Leca“ Beton ist mit dem Zuschlag Blähton versetzt. Auf diese Weise wird die Rohdichte erheblich gesenkt und eine bessere Wärmeleitfähigkeit erzielt. Mit einer Außenwandstärke von 42cm sollte Leca Beton als monolithischer Baustoff die Lücke zwischen Zweischalen-Mauerwerk und Sichtbeton-Wand schließen. Die Innenwände haben eine Stärke von 35 cm und konnten wie auch die Decken aus Normalbeton gegossen werden, weil sie keinen Wärmeschutz leisten mußten. Die Deckenplatten stoßen mit der Stirnseite ganz nach Außen. So ergibt sich in der Vertikale jeweils ein Doppelter Materialwechsel von Leca- zu Normal- zu Leca Beton (Abb 54-55). Farbe und Textur der Betonoberfläche ist größten Teils von der Beschaffenheit der Feinzuschläge und Zement beeinflusst. Der Grobzuschlag Blähton macht sich kaum bemerkbar. Aus diesem Grund ist der Materialwechsel kaum zu erkennen.

Da die Blähtonoberfläche (bzw. der

Zuschlag) jedoch offenporig war, konnte in den Zuschlag Zementleim und Wasser eindringen und somit die Isolierleistung des Baustoffes empfindlich verringern. Für die heutigen Wärmeschutzverordnung reicht die Wärmeleitzahl von 1,0 nicht aus. Wollte man dennoch eine Zweischaligkeit beibehalten, müßte man absurde Wandstärken in Kauf nehmen.

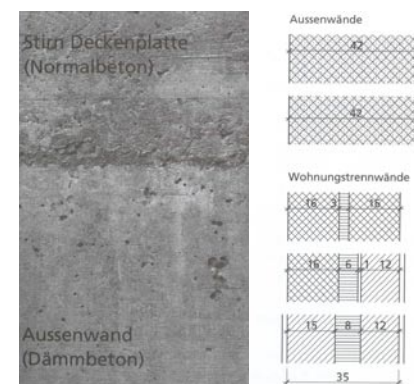


Abb. 52-53 (oben, mitte): Siedlung Halen, Thalmatt, 1967 bis 74  
Abb. 54-55 (unten): Aufbau Innen- und Außenwand



### 4.2. „Misapor“-Glasschaumbeton

(„Haus Meuli“, Fläsch, Schweiz, Valentin Bearth, Andrea Deplazes, 1997)

„Misapor“-Glasschaumbeton ist eine konsequente Weiterentwicklung des „Leca“ Dämmbeton. Für die gute Wärmeleitfähigkeit von 0,12 bis 0,38 W/mK sorgt bei „Misapor“ der Zuschlagstoff Schaumglasschotter (Abb.21). Dieser Zuschlag ist offenporig und sehr porös und somit sehr gut wärmedämmend. „Misapor“ Beton hat eine Rohdichte von 800-1600kg/m<sup>3</sup> und weist mit 8 bis 47 N/mm<sup>2</sup> eine gute Druckfestigkeit auf.

Die Aussenwände haben eine Stärke von 50cm und bilden eine geschlossene, homogene Oberfläche. Anders als bei der Siedlung Thalmat dringen hier die aus Normalbeton gegossenen Decken nicht bis nach Außen. Die Innenwände sind ebenfalls aus konventionellem Beton und nur 15cm stark.

Auf Grund der starken Porosität des Zuschlags entsteht eine nicht frostfreie Oberfläche. Beim Außenbauteilen muß die Oberfläche folglich hydrophobiert werden. Auch der Einsatz von Luftporenbildnern ist ratsam. Mit dieser Methode können im Beton entstehende Kapillarporen im Querschnitt vergrößert werden. Kapillares Saugen, vor allem im Winter, kann so eingeschränkt und eine notwendige Ausdehnung des gefrierenden Wassers gewährleistet werden. Ein weiteres Mittel, das auch bei dem „Haus Meuli“ in Fläsch zum Einsatz kam, ist das Einbringen von Kunststoffasern (Abb.57-58). Einer Rißbildung des Betons an der

Oberfläche kann so effektiv Vorschub geleistet werden. Wegen des geringen Gewichtes des leichten Zuschlagstoffes kam es zu Problemen beim Abbinden. Zusammenfassend ist festzustellen, daß „Misapor“ Beton durch den Zuschlag Schaumglasschotter ein sehr empfindlicher, aber auch für die Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften sehr leistungsfähiger Baustoff ist. Beim Mischen können die Schaumglasschotterteilchen unkontrolliert im Mischer brechen und somit zu einer ungenauen Bestimmung des Feinkornanteils im Beton führen. Der w/z-Wert ist deswegen grossen Schwankungen unterlegen, was die Handhabbarkeit dieses Dämmbetons erschwert.

Auch die Aussenoberflächen müssen nachbearbeitet werden, um einen ausreichenden Witterungsschutz zu gewährleisten.

Abb. 56 (oben): Struktur Schaumglasschotter  
Abb. 57-58 (mitte, unten): „Haus Meuli“, Fläsch, Schweiz, Valentin Bearth, Andrea Deplazes, 1997  
Abb. 59-62 (nächste Seite): Detailplanung und Werkplanung

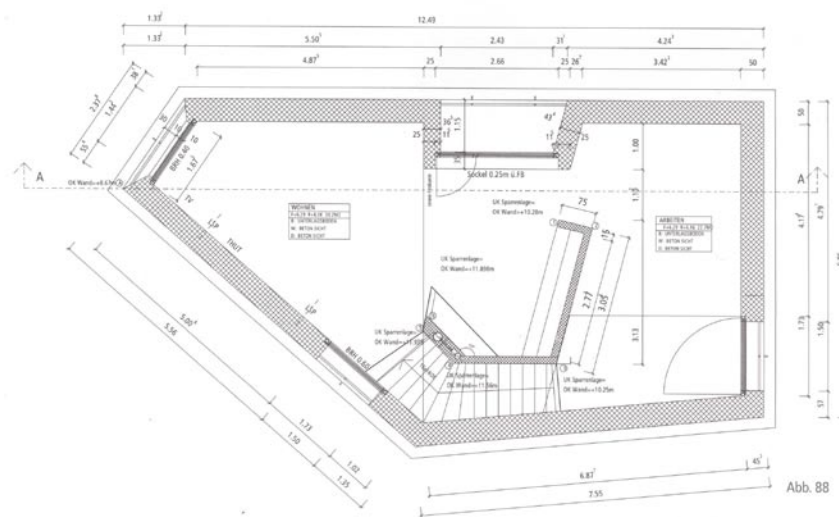
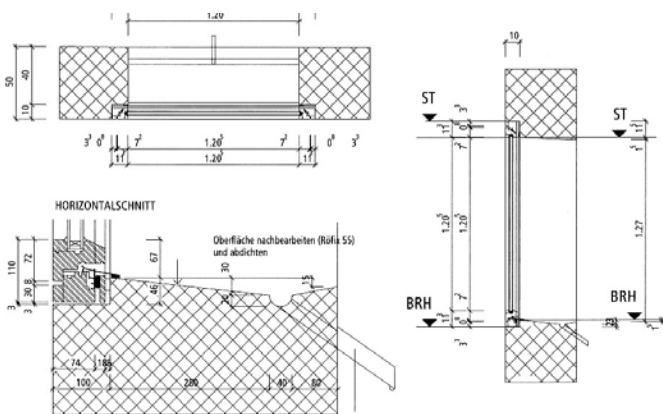
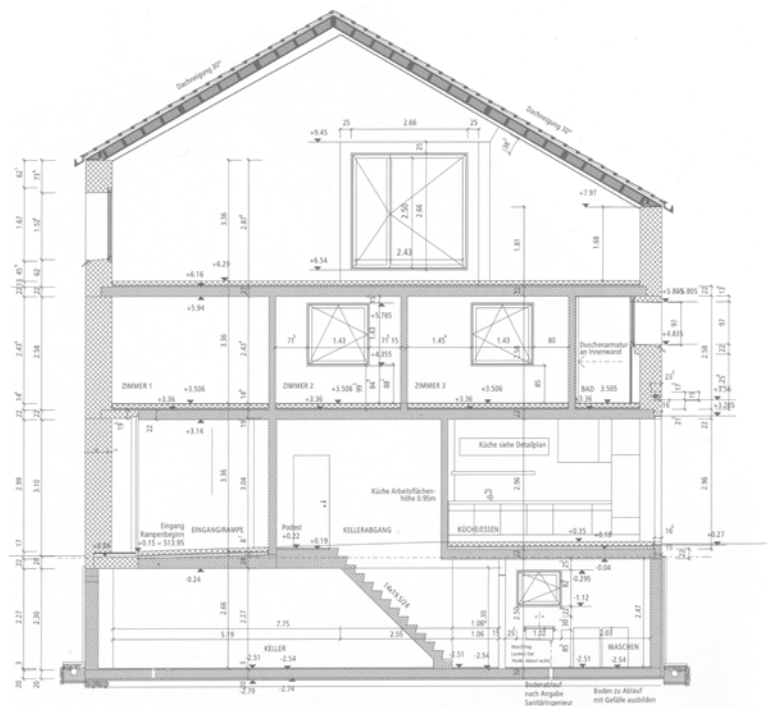


Abb. 88 Dachgeschoss 1:100

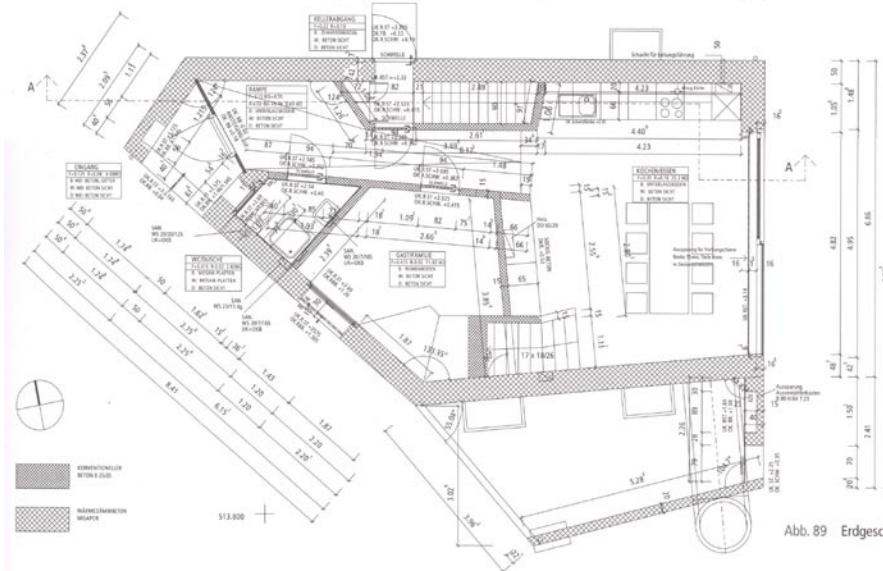
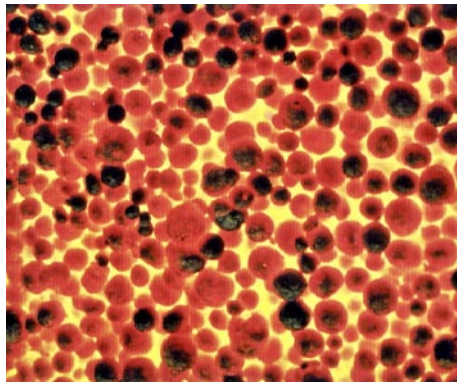


Abb. 89 Erdgeschoss 1:100



**ETH Zürich IBWK**

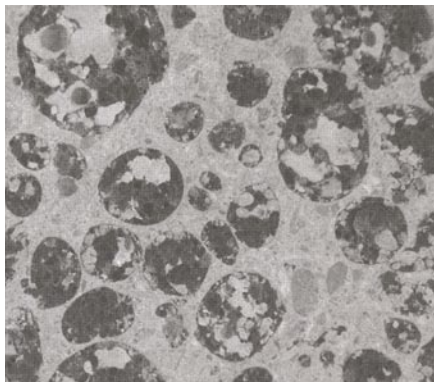
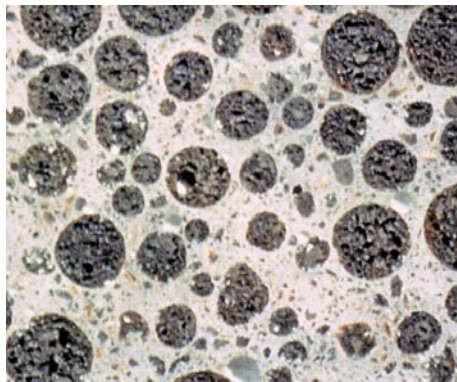
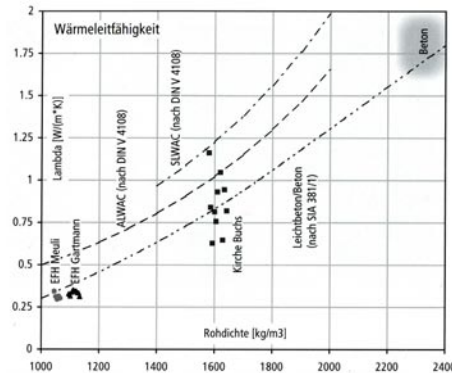
Prüfprotokoll  
 Auftragsnummer: Leichtbeton Datum: 20.01.2005  
 Druckversuch Prüfkörper: Zylinder 160X300

Serie Bezeichnung : Druck Zyl. Gm Prüfer : 5  
 Herstelldatum : 04.11.2004 / 00:00 Probenalter : 77 Tage 16:01  
 Prüftatum : 20.01.2005 / 16:01 Probenalter nominal : Tage

| Probenbezeichnung  | Abmessungen [mm] |       | Masse [kg] | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] | Bruchlast [kN] | Feuchtigkeit [‰] |
|--------------------|------------------|-------|------------|--------------------------------|----------------|------------------|
|                    | d                | h     | g          |                                |                |                  |
| GA2_2              | 99.7             | 167.7 | 1435.0     | 1095.1                         | 53.1           | 11.9             |
| GA3_2              | 99.8             | 162.1 | 1421.0     | 1120.6                         | 107.7          | 13.8             |
| GA4_2              | 99.5             | 161.6 | 1419.2     | 1129.4                         | 102.2          | 13.1             |
| Mittelwert         |                  |       |            | 1115.4                         |                | 12.9             |
| Standardabweichung |                  |       |            | 17.3                           |                | 0.9              |

**ETH Zürich IBWK**

Prüfprotokoll  
 Auftragsnummer: Leichtbeton Datum: 20.01.2005  
 Druckversuch Prüfkörper: Zylinder 160X300



### 4.3. „Liapor“-Isolationsbeton

(„Haus Gartmann“, Chur, Schweiz, Patrick Gartmann, 2003)

Auch „Liapor“ befaßt sich mit der Weiterentwicklung von Dämmbeton. Anders als „Misapor“ besteht hier der Zuschlag aus Blähton und Blähglas statt Sand und Kies. Die Tonkugeln werden im Brennverfahren erzeugt (Abb.63). Bei 1.200 °C im Drehrohröfen blähen sich Kugeln auf 4-16 mm auf. Der gebrannte Blähton hat gegenüber von Schaumglasschotter den entscheidenden Vorteil, daß beim Brennverfahren eine harte, dichte Oberfläche entsteht, das Innere jedoch eine feine Porenstruktur behält (Abb.64). Blähton ist 80% leichter als Kies und hochwärmedämmend. Der Blähtonzuschlag ist des weiteren feuerbeständig, frostsicher, chemie- und säureresistent und verfügt über einen guten Schallschutz. Das Blähglasgranulat, der zweite Zuschlagstoff hat eine Korngröße von 0,25 bis 4mm. Das Granulat besteht aus hochwertigem Recyclingglas und der Durchmesser ist regulierbar. Mit einer Rohdichte von 950 Kg/m<sup>3</sup> erreicht „Liapor“-Isolationsbeton ein Druckfestigkeit von 12/13 N/mm<sup>2</sup> und ein Wärmeleitfähigkeit von 0,32 W/mK. Bei gleicher Druckfestigkeit wie Konstruktionsleichtbeton ist „Liapor“-Isolationsbeton um 50% weniger wärmeleitend als dieser. Durch den kleinen Durchmesser des Zuschlags Blähton und Blähglas entsteht ein sehr dichtes Gefüge, was eine relativ hohe Druckfestigkeit bei gleichzeitig gutem Wärmedämmwert ermöglicht. Zudem kann durch die geschlossene Oberfläche kein

Abb. 63 (oben links) Blähtonkugeln im Brennprozeß  
 Abb. 64 (mitte links) Blähtonkugeln nach Brennvorvorgang  
 Abb. 65 (unten links) Schnitt „Liapor“- Isolationsbeton  
 Abb. 66 (unten rechts) Schnitt „Misapor“ Dämmbeton  
 Abb. 67 (mitte rechts) Wärmeleitfähigkeit Betone  
 Abb. 68 (oben rechts) Druckfestigkeitsversuch „Liapor“- Isolationbeton ETH Zürich

Zementleim in den Blähton eindringen, wie es beim Schaumglasschotter der Fall ist (Abb.65-66). Die guten Wärmedämmeigenschaften gehen also nicht verloren. Durch die Kugelform des Zuschlags besitzt der „Liapor“- Isolationsbetoneine gute Fließfähigkeit.

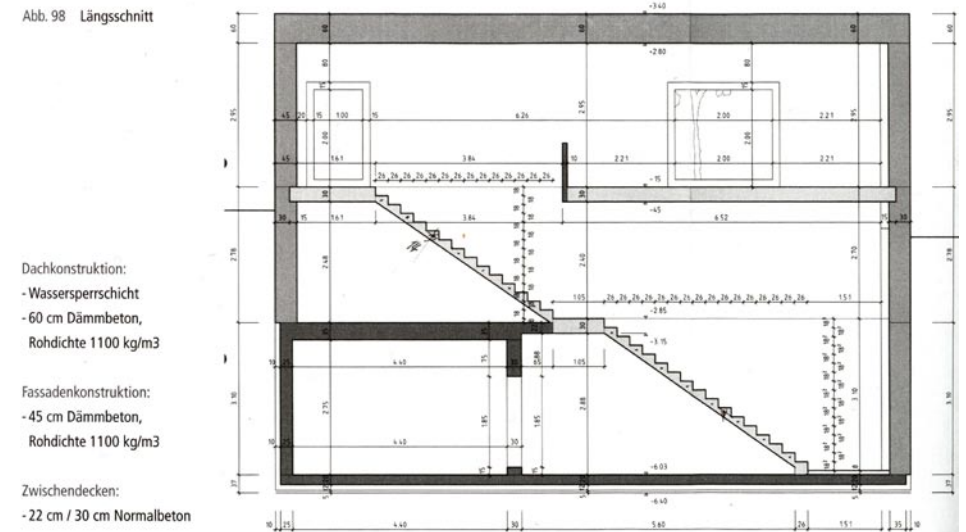
Ein prominentes Beispiel für die Verwendung von „Liapor“-Isolationsbeton ist das „Wohnhaus Gartmann“ in Chur.

Der Entwurf befaßt sich wie die Siedlung Thalmatt und Haus Meuli mit einer einschaligen Aussenwandkonstruktion. Angestrebt ist eine monolithische Konstruktion in Vollbeton ohne vorgehängte Wärmedämmung (Abb.69-70) „...damit entsteht das Dach wie auch die Wände aus dem selben Material, das trägt, klimaregulierend wirkt und Wärme dämmt...dieser homogene, leichte und poröse Materialmix läßt sich in sämtliche Formen gießen und ermöglicht Durchdringungen sowie Faltungen, ohne seinen plastischen Charakter zu verlieren.(...) Plastische Architektur soll trotz Wärmedämmvorschriften wieder möglich werden...“<sup>4</sup> Der Sichtbeton soll sowohl im Aussen- als auch im Innenraum zu spüren sein. Mit dem „Liapor“-Isolationsbeton wird der geforderte Wärmedämmwert von 0,4-0,5 bei einer Mauer- und Deckenstärke von 45-65cm mit einem Dämmwert von durchschnittlich 0,38 W/mK bei Haus Gartmann erreicht. Dadurch, daß keine Abhängecke oder Wandverkleidung im Bauvorhaben vorgesehen war, ist die Planphase beson-

Abb. 69 (oben): Gartenfassade Haus Gartmann, Chur, Schweiz  
Abb. 70 (unten) Längsschnitt mit Betonieretappen



Abb. 98 Längsschnitt



<sup>4</sup>) Zitat Patrick Gartmann: Filipaj, P. *Architektonisches Potential von Dämmbeton* S.64

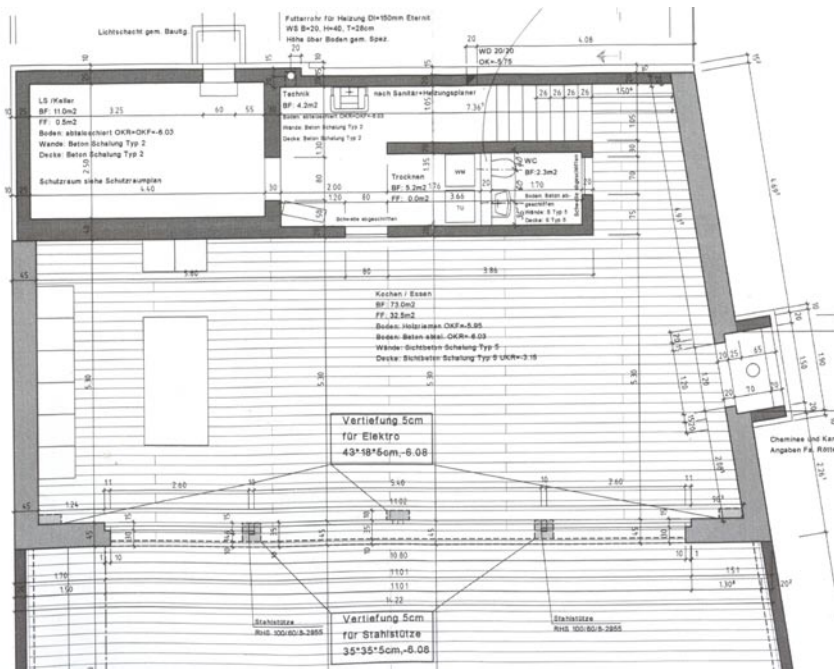


Abb. 71 (oben): Grundriss EG mit Betonieretappen  
Abb. 72 (unten): Obere Hofansicht mit Setzfugen

ders aufwendig gewesen. Alle Details und Anschlüsse mußten im Voraus angedacht und eingeplant werden. Dieser Mehraufwand in der Planung ist dann jedoch in der Ausführung an Zeit und Materialaufwand wieder eingespart worden. „die technische Planung wird vereinfacht, da bereits nach dem Ausschalen des Rohbaus das ausbaufähige Gebäude steht.“<sup>5</sup> Auf Abdeckbleche, Bitumenbahnen, Innenausbauwände, Isolations- und Dämmschichten usw. konnte verzichtet werden. Durch die Einfachheit der Details hat sich ebenfalls die Bauzeit verkürzt. Natürlich ist das Gebäude nicht „in einem Guß“ erstellt worden. Es gab mehrere Betonierabschnitte, die zwischen einigen Tagen bis zu zwei Wochen gedauert haben (Abb. 69-72). Diese zeichnen sich in den Fassaden auch sehr genau als Setzfugen ab. Innendecken und Wände sind aus Normalbeton gegossen. Nur die „äußere Hülle“ besteht aus „Liapor“-Isolationsbeton. Der von Gartmann eingesetzte Dämmbeton wurde im Rahmen einer Forschungsarbeit durch Analysen von Kernborungen an der ETH Zürich überprüft, die dabei erhaltenen Meßwerte bestätigen eine gutes Verhältnis von Wärmedämmung zu Tragfähigkeit (Abb.67, 68). Die beim Beton unvermeidlichen Schwindrisse sind auch bei diesem Dämmbeton sichtbar. Trotz der verhältnismäßig schwachen Armierung liegt die Rißbreite bei 0 bis 2mm. Da keiner dieser Risse die gesamte Wandstärke durchquert, sind sie unkritisch. Zur Reduk-

<sup>5</sup>) Zitat Patrick Gartmann: Filipaj, P. *Architektonisches Potential von Dämmbeton* S.64



tion der Wasseraufnahmefähigkeit des Dämmbetons wurde die Fassade im Winter 2004 mit einer Hydrophobierung versehen. Auf dem Dach ist auf eine Kieseindeckung verzichtet worden. Eine kunststoffvergütete Zementschlämme (dauerelastische und UV-beständige) schützt das Betondach vor Feuchtigkeit.

Trotz der interessanten und experimentellen Art, mit Beton umzugehen, gehen natürlich mit der Verwendung von Dämmbeton auch Schwierigkeiten Nachteile einher. Die Fenster und Türanschlüsse sind nicht immer einfach und, was Wärmebrücken betrifft nur schwierig zufriedenstellend ausführbar (Abb.73, 77). So ist das Panoramafenster in der oberen Etage lediglich mit einer feststehenden Metallumrahmung eingefasst (Abb.75, 77). Dieser Anschluß erinnert eher an eine Baupraxis der 50er Jahre, in der die Scheibe ohne Rahmen in eine Betonnut eingesetzt und verkittet worden

ist. Hier steht eine einfache Ästhetik im Kontrast zu modernen Möglichkeiten. Es ist also kaum zu übersehen, daß dieses scheinbar in jedem Punkt sehr einfache Konzept des „Gartmann Hauses“ nicht in jedem Punkt den technischen und Wärmedämmanforderungen gerecht werden kann. Auch die im unteren Geschoß zur Terrasse hin eingezogenen Stahlstützen geben Aufschluß über mögliche Spannweiten des „Liapor“-Isolationsbetons (Abb.69, 71, 76). Die max. Spannweite scheint bei diesem Projekt bei ca. 4-5m zu liegen. Der vom Konzept erwünschten Großzügigkeit muß also auch hier mittels Sekundärkonstruktion nachgeholfen werden. Nichtsdestotrotz ist dieses Gebäude als gebautes Experiment nicht gering zu schätzen. Der konsequente Umgang mit ganz wenigen und roh belassenen Materialien, Sichtbeton und massiven Nußbaum- und Lärchenholz, gibt sehr gut die Einfachheit des angestrebten

Konzeptes wieder (Abb.73-76). Auch die Energiebilanz, die sich nicht nur aus der Betreuung des Gebäudes sondern auch aus der aufgebrauchten Energie, die zur Herstellung von der Baumaterialien nötig war, herleitet, kann sich mit konventionellen Konstruktionsweisen messen.

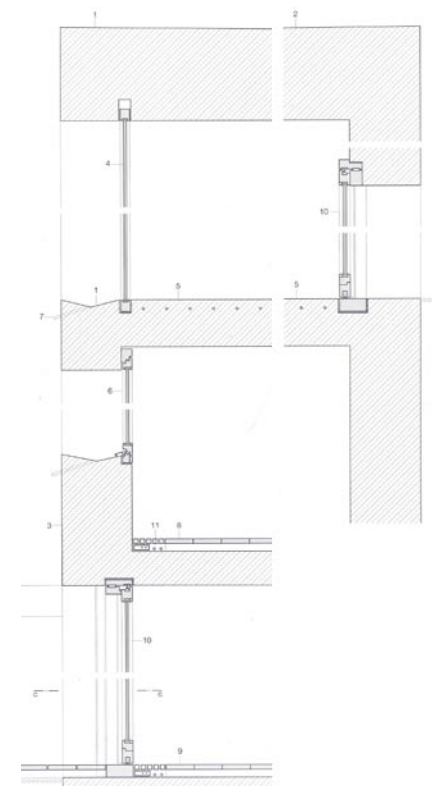


Abb. 73 (unten links) Durchblick oberer Hof Richtung Tal  
 Abb. 74 (mitte links) Regenablauf Fenster  
 Abb. 75 (mitte rechts) Innenraumansicht Wohnzimmer  
 Abb. 76 (unten rechts) Innenraum Küche  
 Abb. 77 (oben rechts) Vertikalschnitt Gartenfassade





## Literatur:

Filipaj, P.: Architektonisches Potential von Dämmbeton. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2006.

Volger, K.: Haustechnik. Grundlagen, Planung, Ausführung., Bearb. Laasch, E.: Stuttgart ;Leipzig: Teubner, 1999.

Wolfrum, P.: Handbuch der Gebäudetechnik : Planungsgrundlagen und Beispiele. Band 2 Heizung, Lüftung, Energiesparen., Neubearb. U. erw. Aufl. Düsseldorf, 1998.

Oswald, R.: Decken und Wände aus Beton, Baupraktische Probleme und Bewertungsfragen. Vieweg Verlag. 27 November, 2002.

Polonyi.; Brandt.; Kind-Barkauskas.; Kauhsen.: Beton Atlas. Institut für internationale Architektur- Dokumentation GmbH & Co.KG, München und Verlag Bau+Technik GmbH Düsseldorf., überarb. Und erweitert., 2001.

Hausladen.; Saldanha.; Liedl.; Sager.: Clima und Design. München, Saint Tropez, Porto Corallo, 2004.

Brandt, J.; Moritz, H.: Bauphysik nach Maß. Beton-Verlag, Düsseldorf. 1995.

## Zeitschriften:

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| El Croquis | N.121/122, SANAA 1998-2004 |
| Bauwelt    | 47 - 2005                  |
| Db         | 01 - 2006                  |
| DBZ        | 06 - 2004                  |
| Detail     | 12 - 2005                  |
| Detail     | 1/2 - 2006                 |
| a+u        | Nr. 413                    |
| archithese | 1/2004                     |