

# Einfach Bauen

Ein Leitfaden

## **Mitwirkende**

Dipl.-Ing. (FH) Architekt Tilmann Jarmer, M.A. (TUM)

Dipl.-Ing. Architektin Anne Niemann

Johannes Sack, M.Sc.

Laura Traub, B.A. Architektur

TUM – Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dipl.-Ing. Florian Nagler

Laura Franke, M.Sc.

TUM – Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimage-  
rechtes Bauen

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer

Zsafia Varga, M.Sc.

Dipl.-Ing. Architekt Stephan Ott, M.A.

TUM – Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Fabian Diewald, M.Sc.

TUM – Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung  
im Bauwesen

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

## **Förderer**

B&O Gruppe, Bad Aibling

Stiftung Bayerisches Baugewerbe, München

Forschungsinitiative Zukunft Bau

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Bauen wird immer komplexer. Dies überfordert Planer und Baufirmen aber vor allem auch die späteren Nutzer. Inzwischen wurde mehrfach beobachtet, dass die Häuser in der Praxis nicht so funktionieren haben, wie in der Theorie vorgesehen. Dafür gibt es mehrere Gründe: Erstens passieren bei komplexen Projekten viele Fehler. Zweitens verhalten sich die Nutzer nicht so, wie sie es theoretisch sollten. Drittens ändern sich meist die Rahmenbedingungen nach einer gewissen Zeit in einer Art und Weise, die man nicht vorhersehen konnte. Da liegt es nahe zu überlegen, ob es nicht auch einfacher und robuster geht.

Die hier vorgestellten Inhalte basieren auf den Ergebnissen einer Grundlagenforschung, die von der Forschungsgruppe „Einfach Bauen“ an der TU München durchgeführt wurde. Mit Hilfe von mehreren tausend unterschiedlichen Raummodellen wurde untersucht, wie ein einfaches Haus aussehen muss, dass von sich aus im Winter wenig Energie benötigt und sich im Sommer nicht unnötig aufheizt. Dabei wurde das robuste Optimum gesucht, also eine Variante, welche gut funktioniert, unabhängig vom Zutun der Nutzer. Dadurch, dass die Gebäude auf das Wesentliche und Notwendige reduziert sind, ist es möglich, langlebige und umweltverträgliche Häuser zu schaffen – als Kontrapunkt zur aktuellen Entwicklung hin zu immer komplexeren, kurzlebigeren Gebäuden.

Auf dem B&O Parkgelände in Bad Aibling entstanden im Rahmen des Projekts drei Forschungshäuser mit monolithischen Wandaufbauten – eines komplett aus Holz, eines aus Mauerwerk und eines aus Leichtbeton. Die Gebäude sind inzwischen bewohnt. In den nächsten zwei Jahren wird über Dauermessungen das Raumklima, der Energieverbrauch und das Nutzerverhalten ermittelt. Aus den Daten können dann Rückschlüsse über den Erfolg der Strategie Einfach Bauen gezogen werden. Vielleicht geht ja auch noch einfacher.

Bei dem hier vorliegenden Leitfaden handelt es sich um

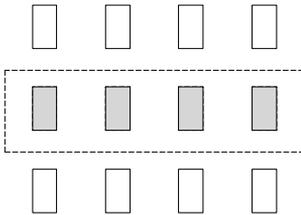
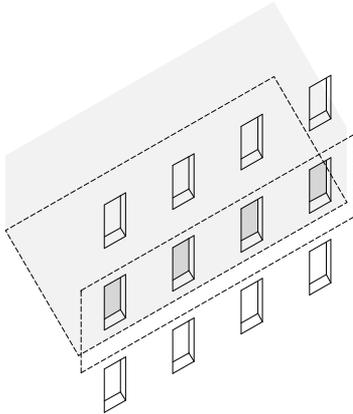
eine reduzierte Version des Leitfadens der demnächst im Birkhäuser Verlag erscheinen wird. Der Fokus liegt hierbei auf den Kerninhalten. Der Leitfaden „Einfach Bauen“ fasst die im Forschungsprojekt ermittelten Grundlagen zusammen. Er ermöglicht Interessierten einen tieferen Einblick in die Strategie „Einfach Bauen“. Die Kapitel gehen aus von der Gebäudeform und befassen sich dann mit der konstruktiven Gestaltung, der Blick geht vom großen Ganzen bis ins Detail. Es wird jeweils erklärt, auf welche Projektparameter dabei besonderes Augenmerk gelegt werden sollte und warum. Am Ende eines jeden Abschnitts wird auf die konkrete Umsetzung bei den Forschungshäusern eingegangen.

## Kompaktheit

»Hüllfläche reduzieren. Bauliche Dichte erhöhen.«

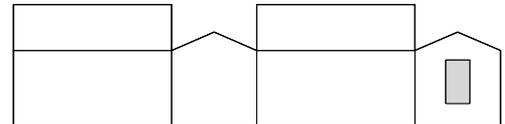
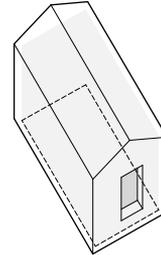
Gegenüberstellung von einer Stadtwohnung mit einem  
Tiny House hinsichtlich Wohn- und Hüllfläche

Wohnung im Obergeschoss  
**Wohnfläche 72 m<sup>2</sup>**



**Hüllfläche gegen Außenluft**  
**42 m<sup>2</sup>**

Tiny House  
**Wohnfläche 18 m<sup>2</sup>**



**Hüllfläche gegen Außenluft**  
**89 m<sup>2</sup>**

Die Gegenüberstellung einer Stadtwohnung mit einem Tiny House zeigt es deutlich: Auch wenn man die Wohnfläche auf 18 m<sup>2</sup> reduziert, ist die Hüllfläche – also Dach, Außenwand und Fenster – doppelt so groß wie bei einer 72 m<sup>2</sup> großen Wohnung im Obergeschoss eines mehrstöckigen Hauses. Außenwände und Dächer sind die teuersten Flächenbauteile an einem Gebäude. Im Vergleich zu Innenwänden und Decken entstehen bei der Herstellung Mehrkosten von 50 - 300 EUR/m<sup>2</sup>. [1] Die Hülle zu reduzieren spart also Geld.

Bauteile der Hülle sind deshalb teurer, weil sie gedämmt sein müssen. Dämmung behindert den Fluss von Wärmeenergie „von warm nach kalt“. Ein gedämmtes Haus verliert im Winter deshalb über die Außenhülle weniger Wärme an die Umwelt.

Außenwände und Dächer gut zu dämmen ist also sinnvoll. Noch besser ist es aber, die Fläche der Hülle selbst zu reduzieren. Dabei gibt es zwei Strategien:

1. Reduktion der Wohnfläche : Geht man effizient mit der Wohnfläche um, dann reduziert sich die notwendige Hülle automatisch mit.

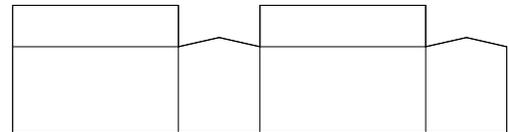
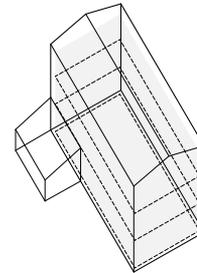
2. Kompakte Bauweise: Die Flächen der Außenwand und des Daches werden gegenüber der Wohnfläche reduziert. Eine städtische Blockrandbebauung zum Beispiel verfolgt diese Strategie besonders konsequent. Werden beide Strategien, also die Reduktion der Wohnfläche und eine kompakte Bauweise, miteinander kombiniert, wird dadurch der Materialeinsatz und der Energieverbrauch im Betrieb direkt gesenkt. Gleichzeitig werden häufig auch Umwelteinflüsse wie Flächenverbrauch, Erschließungsaufwand und Verkehrsaufkommen positiv beeinflusst. Es ist wichtig anzuerkennen, dass bauliche Dichte nicht nur auf der persönlichen, sondern auch auf der kommunalen, politischen und gesellschaftlichen Ebene verhandelt und entschieden wird. Ob es möglich ist, diese beiden Strategien einzeln oder kombiniert anzuwenden, hängt also von den eigenen Wünschen,

dem Bauplatz und dem Umfeld ab.

## Umsetzung in den Forschungshäusern

Die Forschungshäuser in Bad Aibling bieten jeweils eine Wohnfläche von je 400 m<sup>2</sup> bei einer Hüllfläche von 870 m<sup>2</sup>. Das Verhältnis von ca.1:2 ist günstig im Vergleich zum Tiny House (ca. 1:5) und ungünstiger als die Wohnung im Obergeschoss einer Blockrandbebauung (ca. 2:1).

Forschungshaus  
Wohnfläche 400 m<sup>2</sup>

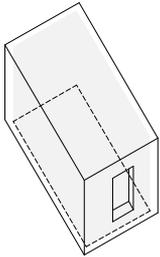


Hüllfläche gegen Außenluft  
870 m<sup>2</sup>

## Fenster

»Glasfläche der Fenster = 10 – 15 %  
der zu belichtenden Raumfläche. Auf  
Sonnenschutzverglasung verzichten.«

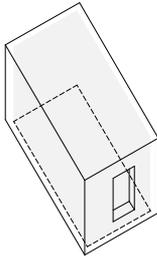
Wie groß muss das Fenster sein, um bei unterschiedlichen Glasarten den Raum mit derselben Lichtmenge zu versorgen?



zwei  
Glasscheiben

$T_{\text{vis}} = 82 \%$

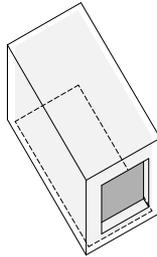
benötigte  
Glasfläche  
**2,01 m<sup>2</sup>**



2-Scheiben-  
Isolierglas

$T_{\text{vis}} = 81 \%$

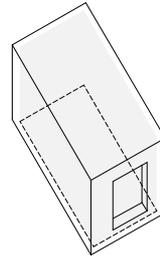
benötigte  
Glasfläche  
**2,04 m<sup>2</sup>**



2-Scheiben-  
Sonnenschutzglas

$T_{\text{vis}} = 37 \%$

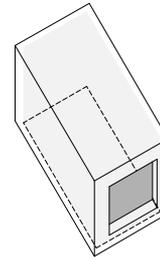
benötigte  
Glasfläche  
**4,46 m<sup>2</sup>**



3-Scheiben-  
Isolierglas

$T_{\text{vis}} = 71 \%$

benötigte  
Glasfläche  
**2,32 m<sup>2</sup>**

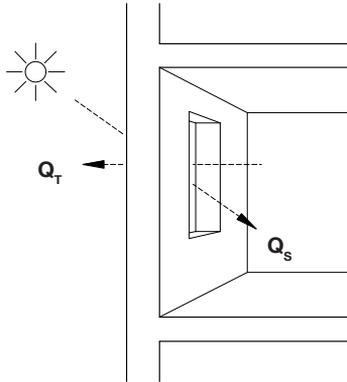


3-Scheiben-  
Sonnenschutzglas

$T_{\text{vis}} = 36 \%$

benötigte  
Glasfläche  
**4,58 m<sup>2</sup>**

Energiebilanz Süd-Verglasung: Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Glasarten auf den Energiehaushalt des Raumes?



Sonneneinstrahlung pro Tag im Dezember: **720 Wh/m<sup>2</sup>**

Außentemperatur: **0,7 °C**

Innenraumtemperatur: **22 °C**

Himmelsrichtung: **Süden**

Raummaße B x T x H: **3 x 6 x 3 m**

#### Glasparameter

Lichttransmissionsgrad: **T<sub>vis</sub>**

Gesamtenergiedurchlassgrad: **g**

Wärmedurchgang: **U<sub>g</sub>**

|                             | T <sub>vis</sub><br>(Licht) | benötigte<br>Fläche<br>Glas |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| zwei Glasscheiben           | 82 %                        | 2,01 m <sup>2</sup>         |
| 2-Scheiben-Isolierglas      | 81 %                        | 2,04 m <sup>2</sup>         |
| 2-Scheiben-Sonnenschutzglas | 37 %                        | 4,46 m <sup>2</sup>         |
| 3-Scheiben-Isolierglas      | 71 %                        | 2,32 m <sup>2</sup>         |
| 3-Scheiben-Sonnenschutzglas | 36 %                        | 4,58 m <sup>2</sup>         |

| g<br>(Energie) | Q <sub>s</sub><br>solare<br>Gewinne | U <sub>g</sub> in<br>(Wärme) | Q <sub>T</sub><br>Verluste<br>Wärme | Bilanz<br>Glas<br>24 h |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 77 %           | 1115 Wh                             | 2,95 W/m <sup>2</sup> *K     | -3034 Wh                            | <b>-1919 Wh</b>        |
| 74 %           | 1085 Wh                             | 1,18 W/m <sup>2</sup> *K     | -1229 Wh                            | <b>-144 Wh</b>         |
| 23 %           | 738 Wh                              | 1,12 W/m <sup>2</sup> *K     | -2553 Wh                            | <b>-1815 Wh</b>        |
| 49 %           | 820 Wh                              | 0,63 W/m <sup>2</sup> *K     | -748 Wh                             | <b>72 Wh</b>           |
| 20 %           | 660 Wh                              | 0,62 W/m <sup>2</sup> *K     | -1452 Wh                            | <b>-792 Wh</b>         |

Am Übergang von Innen- zu Außenraum spielt das Fenster eine entscheidende Rolle. Der Blick nach draußen oder die Möglichkeit zu lüften sind bei jedem Fenster gegeben. Die Tageslichtversorgung ist dagegen vor allem von drei Faktoren abhängig: von der Größe des Fensters, der Glasart und der Einbausituation.

Vor allem die Größe und die Glasart stehen in direktem Zusammenhang. Im Bild oben sind die typischen Glasarten gegenübergestellt. Das erste Beispiel zeigt eine Verglasung aus zwei separaten, hintereinander angeordneten Scheiben, wie man sie in Altbauten heute noch häufig antreffen kann. Daneben folgen die vier heute gebräuchlichsten Isolierverglasungen. Diese Scheiben sind entlang der Ränder fest miteinander verbunden und die Zwischenräume mit speziellen Gasen gefüllt, um die Dämmwirkung der Scheiben zu erhöhen. Die Sonnenschutzgläser sind zusätzlich mit einer Beschichtung versehen, welche Anteile der Sonnenstrahlung reflektiert.

Wie viel Licht im Raum ankommt, hängt also von der Beschaffenheit des Fensterglases ab. 3-Scheiben-Isolierglas lässt 71 % des sichtbaren Lichtes durch. Bei 3-Scheiben-Sonnenschutzglas sind es lediglich 36 %; der übrige Teil wird von der aufgetragenen Beschichtung reflektiert.

Je nach Glasart muss also die Fläche entsprechend gewählt werden, um zu erreichen, dass der Raum ausreichend Tageslicht erhält. Bei Sonnenschutzglas muss das Fenster deshalb etwa doppelt so groß sein, um den Raum mit der gleichen Tageslichtmenge versorgen zu können.

Gleichzeitig hat die Wahl des Glases aber auch Auswirkungen auf dessen energetische Bilanz. Der Energieaustausch findet bei Fenstern auf zwei Wegen statt. Erstens werden das Tageslicht und die Wärmestrahlung der Sonne als Wärmeenergie in den Raum eingetragen. Man spricht hierbei von solaren Gewinnen ( $Q_g$ ). Zweitens findet ein Wärmeaustausch

über das Fenster statt, wenn innen und außen unterschiedliche Temperaturen herrschen. Dies bezeichnet man als Transmissionswärmeverluste ( $Q_t$ ). Dieser Effekt ist im Winter besonders groß. Beide Effekte, also solare Gewinne und Wärmeverluste über das Glas, finden dabei gleichzeitig statt.

Der hier vorgestellte Vergleich zeigt die Gesamtbilanz für einen Tag-Nacht-Zyklus dar. Dabei werden sämtliche Energiegewinne und -verluste über diese Zeit betrachtet. Es wurde davon ausgegangen, dass das Fenster nach Süden zeigt, im Raum eine Temperatur von 22 °C und eine Außentemperatur von 0,7 °C herrscht. Der Wert für die Sonneneinstrahlung ist ein empirisch ermittelter typischer Wert für den Monat Dezember. [2]

Die Verglasung, die aus zwei separaten, hintereinander angeordneten Scheiben besteht, hat eine negative Energiebilanz. Die Wärmeverluste (3.034 Wh) sind also größer als die solaren Gewinne (1.115 Wh). Dem Raum müssen deshalb täglich 1.919 Wh zugeführt werden. Anderenfalls würde die Innenraumtemperatur absinken. Das entspricht ungefähr der Energie, die eine Mikrowelle mit einer Leistung von 2000 W in einem einstündigen Dauerbetrieb verbraucht.

Die Isoliergläser haben eine bessere Energiebilanz. Die Verglasung mit 2 Scheiben benötigt 144 Wh, die Verglasung mit 3 Scheiben erreicht sogar ein Plus von 72 Wh, gewinnt also insgesamt Energie.

Erstaunlich schlecht ist das Ergebnis bei den Sonnenschutzgläsern. Das 3-Scheiben-Glas produziert einen Verlust von 792 Wh. Das 2-Scheiben-Sonnenschutzglas ist mit einem Verlust von 1.815 Wh sogar fast so schlecht wie die Altbau-Verglasung.

Das liegt zum einen daran, dass die Sonnenschutzgläser jeweils mehr als doppelt so groß sind, um die Tageslichtversorgung erreichen zu können, und dadurch eben auch mehr Wärmeverluste haben. Den größten Anteil an der schlechten Performance hat aber die Sonnenschutzbeschichtung, die die solaren

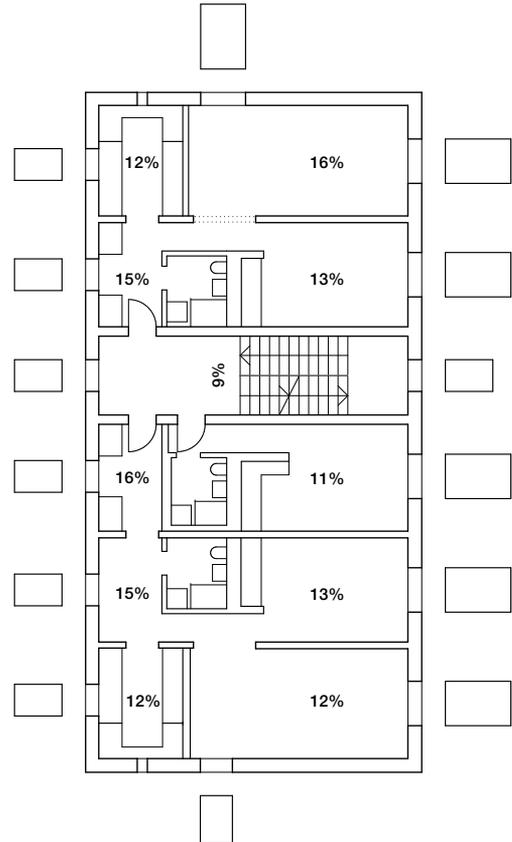
Gewinne reduziert. Man sollte deshalb 2-Scheiben- oder 3-Scheiben-Isoliergläser verwenden und auf eine Sonnenschutzbeschichtung verzichten. Die Größe der Fenster sollte so gewählt werden, dass eine ausreichende Tageslichtversorgung gegeben ist. Als Daumenregel kann man sich merken, dass die Größe der Glasflächen ca. 10 bis 15 % der zu belichtenden Raumfläche entsprechen sollte, damit der Raum ausreichend belichtet ist und weder Sonnenschutzverglasung noch Sonnenschutz benötigt werden. Die Himmelsrichtung spielt bei der Tageslichtversorgung keine entscheidende Rolle. An trüben Tagen, wenn die Tageslichtversorgung besonders kritisch ist, beträgt der diffuse Anteil des Sonnenlichtes nahezu 100 %. Die Himmelsrichtung hat in diesem Fall also keinen Einfluss. [3]

Wichtig ist die Einbausituation. Bei bedecktem Himmel ist das Licht vom Zenit etwa drei Mal stärker als jenes vom Horizont. Hohe Räume mit hoch angesetzten Fenstern bringen viel Tageslicht aus einem zenitnahen Bereich in den Raum. Eine Belichtung von mehreren Seiten schafft gleiche Helligkeit bei ausgeglichenen Kontrasten. [4]

### Umsetzung in den Forschungshäusern

Für die Forschungsgebäude wurden durchgängig 3-Scheiben-Isoliergläser eingesetzt. Die Dreifachverglasung lässt 70 % des sichtbaren Anteils der solaren Strahlung passieren. Entsprechend beträgt der Anteil der Glasfläche in Bezug zur jeweiligen Raumgröße zwischen 12 % und 16 % in den Räumen der Wohnungen und 9 % im Treppenraum. Dadurch ist der solare Wärmeeintrag im Sommer nicht sehr hoch, weil die Fenster nur so groß sind, wie für eine angemessene Versorgung mit Tageslicht notwendig ist. Die Fenster sind auf die Innenseite der Wand gesetzt. Die Laibung wirft einen Schatten auf die Fenster und reduziert so den Wärmeeintrag zusätzlich.

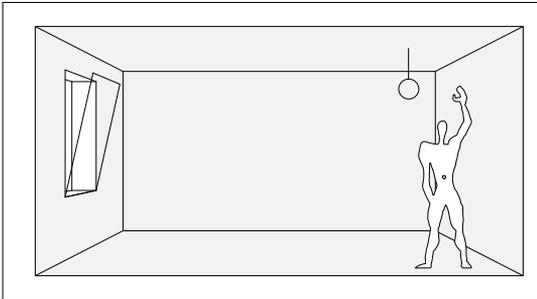
Obergeschoss eines Forschungshauses: Anteil der Glasfläche der Fenster im Verhältnis zu der zu belichtenden Raumfläche



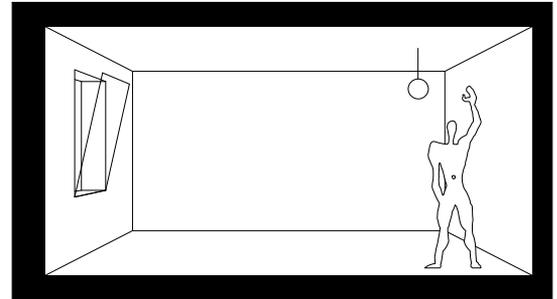
## Thermische Trägheit

»Eine schwere Bauweise speichert die Temperatur.  
Über Nachtlüftung kühlt die thermische Masse ab.«

Energie, die benötigt wird, um die Raumluft oder die den Raum umschließenden Bauteile zu erwärmen



Raumluft um  
1 Grad erwärmen:  
**18 Wh**



Bauteile des Raumes um  
1 Grad erwärmen:  
**2.500 - 5.500 Wh**

Gebäude mit einer hohen Masse verhalten sich thermisch träge. Jeder kennt Orte wie Kirchen oder Kellerräume, die auch im Sommer kühl bleiben.

Luft hingegen ist das genaue Gegenteil eines trägen Bauteils. Wenig Energie, und zwar 18 Wh, reicht, um die Luft in einem Raum mit einem Volumen von 55 m<sup>3</sup> um ein Grad zu erwärmen. Das entspricht der Wärme, die zwei Personen in 5 Minuten abgeben oder die Mittagssonne durch ein normales Südfenster innerhalb von 5 Minuten einträgt. [3]

Gäbe es die thermische Trägheit des Gebäudes nicht, würde es im Innenraum schnell sehr warm werden. Man kann sich das Gebäude wie eine thermische Batterie vorstellen, die die Temperatur der Raumluft immer wieder ausgleichen kann. Die Kapazität dieser „Batterie“ ist abhängig von der Bauweise des Gebäudes. Leichte Bauweisen haben pro Raum eine Kapazität von 2.500 Wh/K, schwere Bauweisen sogar von 5.500 Wh/K. Das bedeutet, dass man 2,5 bis 5,5 kWh braucht, um alle den Raum umschließenden Bauteile um ein Grad zu erwärmen.

Beobachten wir die Wirkung dieser „Batterie“ an einem Sommertag: Immer wenn die Temperatur im Raum um ein Grad steigt, kühlen Decke und Wände die Raumluft wieder ab. Je nach Bauweise wird dieser Zyklus 140- bis 300-mal durchlaufen, bevor die Temperatur der Decken und Wände um 1 Grad gestiegen ist. Die „Batterie“ funktioniert weiter, das gesamte System ist allerdings ab jetzt um ein Grad erwärmt.

In der darauffolgenden Nacht kehrt sich der Energiefluss um. Wenn kühlere Nachtluft in den Raum gelangt, kühlen Decken und Wände sich wieder ab. Die „Batterie“ ist für den nächsten Sommertag geladen.

Der Vergleich mit einer Batterie hilft auch bei der Überlegung, wie groß die thermische Trägheit eines Gebäudes sinnvollerweise sein soll. Eine „kleine“ Batterie reicht, wenn diese nicht zu sehr beansprucht und regelmäßig aufgeladen wird. Ist der Raum also

vor der Sonne geschützt oder die Nachtentwärmung wird immer konsequent betrieben, reicht eine leichte Bauweise. Ist mit viel Sonne zu rechnen oder möchte man, dass die thermische Trägheit auch ohne Nachtentwärmung mehrere Tage hintereinander wirksam bleibt, ist es sinnvoll, eine „große“ Batterie zu besitzen, also viel thermisch träge Masse im Haus zu haben.

Durch Einrichtung und Möbel werden die Effekte der thermischen Trägheit in ihrer Wirkung verlangsamt, weil das Mobiliar die Flächen abdeckt und dadurch den Austausch zwischen Wänden und Boden mit der Raumluft reduziert. Im bewohnten Zustand hat deshalb die Decke den größten Einfluss.

Wenn sich die Raumluft besonders schnell erwärmt, wirkt auch noch ein weiterer Effekt. Die von uns wahrgenommene Temperatur ist nämlich nicht nur abhängig von der uns umgebenden Luft, sondern auch von der Temperatur der uns umgebenden Oberflächen. Das bedeutet, solange die Temperatur der uns umgebenden Oberflächen wie Wände und Decken konstant bleibt, empfinden wir die Erwärmung der Raumluft als weniger unangenehm. Der Fachbegriff dafür ist operative Temperatur. Diese wird aus dem Mittelwert aus Lufttemperatur und Strahlungstemperatur der umgebenden Oberflächen ermittelt.

Auch das fünf-minütige Stoßlüften im Winter funktioniert in Räumen mit viel thermischer Trägheit gut. Kurze Zeit nachdem wir das Fenster wieder geschlossen haben, empfinden wir den Raum als angenehm warm, obwohl fast die gesamte verbrauchte Raumluft durch kühlere Außenluft ersetzt wurde. Die operative Temperatur ist nur geringfügig gefallen, die Bauteile werden die Raumluft bald wieder erwärmt haben.

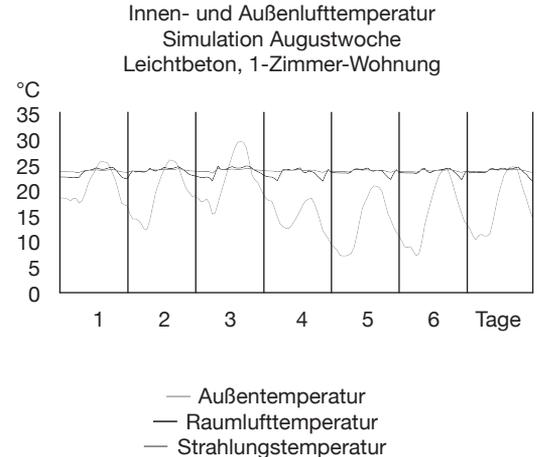
### **Umsetzung in den Forschungshäusern**

Alle drei Forschungshäuser haben eine Decke aus

Stahlbeton. Die tragenden Innenwände sind je nach Bauweise aus Beton, massivem Holz oder Vollziegeln. Dadurch ergibt sich eine hohe thermische Trägheit, das System wird robust. Das Betonhaus hat die größte Speichermasse mit 5600 Wh/K je Raum, das entspricht dem 300-Fachen der umschlossenen Luft. Aber auch das Holzhaus mit 3300 Wh/K je Raum fällt noch in die Kategorie „schwere Bauweise“. Das Mauerwerkshaus liegt mit 4400 Wh/K je Raum fast genau dazwischen.

Ein weiterer Baustein zur Nutzung der thermischen Trägheit der Bauteile ist die Möglichkeit einer effektiven Lüftung während kühler Sommernächte. Dadurch, dass in fast allen Wohnungen mehrere Fenster zu verschiedenen Gebäudeseiten vorhanden sind, kann quergelüftet werden. Das funktioniert deshalb besonders gut, weil schon leichte Winde dafür sorgen, dass eine gute Lüftung in der Wohnung stattfindet. Eine weitere Maßnahme, um die Nachtlüftung effektiv zu ermöglichen, ist der Einsatz von Schwingfenstern (siehe Abbildung 16). Dabei hat das Fenster seinen Drehpunkt mittig. Schon in der minimalen Kippstellung findet ein guter Luftaustausch statt, da sich jeweils oben und unten eine Öffnung ergibt. Die warme Luft kann oben entweichen und die kühle Nachtluft unten nachströmen. Für eine typische Augustwoche haben wir das Innenraumklima in einer nach Osten orientierten 1-Zimmer-Wohnung simuliert. Die drei Linien stellen die Außentemperatur, die Raumlufttemperatur und die Strahlungstemperatur dar. Die Außentemperaturen lagen zwischen fast 30 °C am Mittwochnachmittag und ca. 6 °C in der Nacht zum Freitag. Es ist zu erkennen, dass sich die Raumlufttemperatur immer morgens, wenn die Sonne direkt auf der Ostseite steht, erhöht. Die Strahlungstemperatur, also die gemittelte Temperatur aller Oberflächen des Raumes, bleibt hingegen nahezu konstant. Die Messungen belegen gut, wie die thermische Trägheit der Bauteile ausgleichend auf das Raumklima wirkt.

Die Simulationsergebnisse für eine Woche im August zeigen: Die Temperaturen bleiben angenehm konstant.

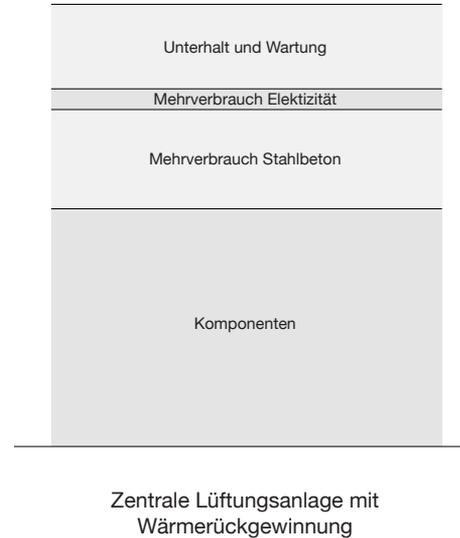
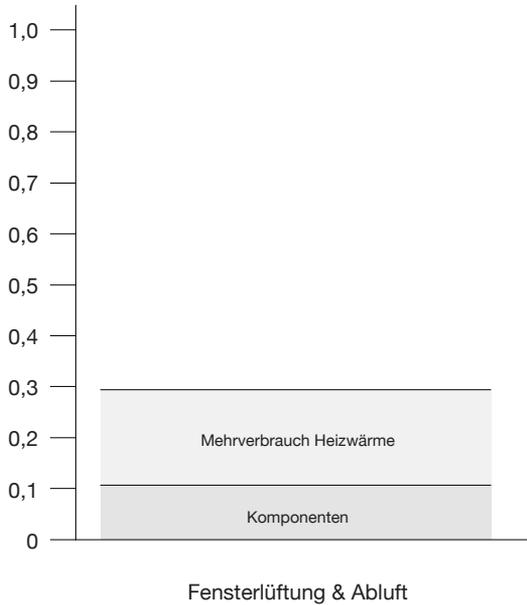


## Robuste Technik

»Robuste und reduzierte Techniksysteme einsetzen.  
Das Verhalten der Nutzenden berücksichtigen.«

Umweltauswirkung verschiedener Lüftungssysteme der Wohnsiedlung Klee in Zürich-Affoltern, bezogen auf 1 m<sup>2</sup> beheizte Nutzfläche und ein Jahr; eigene Darstellung nach Knecht und Sigrist [5].

Treibhauspotential  
in kg CO<sub>2</sub>-Äq./m<sub>2</sub>a



Etwa 20 % der gesamten Lebenszykluskosten eines Gebäudes fallen während der Planungs- und Bauphase an. Die restlichen 80 % der Kosten gehören zur Nutzungsphase.

Ein großer Teil dieser Kosten entfällt auf den Energieverbrauch. Seit einigen Jahren wird versucht, diesen Verbrauch zu senken, indem zum Beispiel mehr Dämmung verbaut bzw. nachgerüstet wird. Auch technische Systeme, zum Beispiel die Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, stehen im Ruf, den Energieverbrauch des Gebäudes und die damit einhergehenden Kosten und negativen Umweltauswirkungen zu reduzieren.

Dass diese Maßnahmen aber häufig nicht die gewünschten Einsparungen erreichen, zeigt zeigt die Grafik auf den vorherigen Seiten: In der Wohnsiedlung Klee in Zürich-Affoltern wurden in einer Langzeitmessung die Daten der Lüftungssysteme aufgezeichnet. [5]. Die materialintensive zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurde über den gesamten Lebenszyklus verglichen mit dem einfachen Konzept der Fensterlüftung mit Badabluft. Es stellt sich heraus: Der Mehraufwand bei Technik, Betriebsenergie, Unterhalt und Wartung übersteigt die erzielte Einsparung der Heizenergie bei Weitem. Abbildung 19 zeigt sogar, dass die zentrale Lüftungsanlage gegenüber der Fensterlüftung mit Badabluft einen dreifach erhöhten negativen Einfluss auf die Erderwärmung (Treibhausgaspotenzial) produziert.

Immer wenn theoretisch berechnete Ergebnisse von der Praxis abweichen, spricht man von einem „Performance Gap“, also einer Lücke zwischen Theorie und Praxis. [6] Der Performance Gap zwischen Planung und Betrieb entsteht hauptsächlich auf den Ebenen der Gebäudetechnik und des Nutzerverhaltens. [6] [7] Das Konzept Einfach Bauen versucht diese Lücke durch reduzierte und robuste Technikkonzepte möglichst klein zu halten.

Zuerst möchten wir die drei wichtigsten Effekte kurz beschreiben, die diese Lücke erzeugen und die bereits mehrfach untersucht wurden. [6] [7] [8]:

1. Das Verhalten der Nutzerschaft wird falsch eingeschätzt.

Nutzerinnen und Nutzer verhalten sich anders als prognostiziert: In energetisch optimierten Gebäuden lassen sich während der Heizperiode durchschnittlich höhere Innenraumtemperaturen oder häufigeres Fensteröffnen beobachten. Das heißt, Nutzerinnen und Nutzer verschwenden bei Gebäuden mit erhöhtem Wohnkomfort durch ihr Verhalten mehr Energie als erwartet. Dieser Effekt wird Rebound-Effekt genannt. [9] Im Gegensatz dazu verhält sich die Nutzerschaft in Altbauten im Durchschnitt energiesparender als prognostiziert. Zum Beispiel werden hier im Winter nur Teile der Wohnung bzw. des Hauses beheizt oder es wird nur reduziert gelüftet. Dies wird als Prebound-Effekt bezeichnet. [9]

Ein anderer Grund sind die statischen Komfortmodelle und vereinfachte Berechnungsmethoden nach Norm, die die Nutzerinnen und Nutzer nicht realistisch und flexibel genug abbilden: [10] Seit den 1950er-Jahren gab es mehrere Studien, die zur Erhebung von Verhaltensdaten durchgeführt wurden. [11] Bisher stützt sich die Theorie auf statistische Modelle, die auf solchen empirischen Datensätzen basieren. [12] Hinter diesen Daten steht jedoch eine eingeschränkte Anzahl an Nutzerinnen und Nutzern, deren Komfortempfinden nur in einer Laborumgebung getestet wurde.

2. Die Technischen Systeme funktionieren nicht richtig. Wer technische Systeme betreibt bzw. Energie plant, erlebt beispielsweise, dass die Stellmotoren der Fußbodenheizung nach dem Einbau nicht von „manuell“ auf „automatisch“ umgestellt werden oder dass die Photovoltaikanlage mangels verständlicher Anlagenbeschreibung keinen PV-Strom in das öffentliche Netz ausspeist. [13] Ohne eine

regelmäßige und konsequente Kontrolle – also ohne Monitoring – fallen diese Fehler nicht auf, obwohl sie leicht zu beheben sind und einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch haben.

Vor allem im Geschosswohnungsbau lässt sich beobachten: Nutzerinnen und Nutzer in Gebäuden mit maschineller Lüftung und Wärmerückgewinnung öffnen trotzdem die Fenster, sodass der gemessene Energiebedarf den prognostizierten um ein Vielfaches übersteigt. Hingegen wird bei natürlich gelüfteten Häusern der prognostizierte Energiebedarf eingehalten oder sogar leicht unterschritten. Eine maschinelle Lüftung ist demnach im Geschosswohnungsbau keine robuste Lösung. [5]

3. Der Verbrauch für den Betrieb der technischen Systeme wird unterschätzt.

Generell sind heutzutage die Komponenten für ein technisches Anlagensystem in guter Qualität mit geringem Energiebedarf auf dem Markt verfügbar. Es ist aber eine Kunst, diese wie bei einem Puzzle so zusammenzusetzen, dass das System funktioniert und die Bestandteile optimal abgestimmt sind. Am Beispiel von energieeffizienten Pumpen kann dies verdeutlicht werden: Trotz energiesparender Technologie sind die hydraulischen Systeme meist mit viel zu hohen Druckverlusten behaftet, sodass der Energiebedarf des Pumpstroms oft unnötig hoch ist. Mangelhaft eingestellte Betriebspunkte und eine falsche Auslegung führen zu diesen hohen Energiewerten.

Um die oben genannten Effekte zu reduzieren und den Performance Gap zu schließen, sollten bei der Konzeption der technischen Systeme folgende Ziele verfolgt werden:

1. Nutzerinnen und Nutzer regeln selbst.

Anstelle komplexer Regelungstechnik, welche den Innenkomfort statisch regelt, sollen die Nutzerinnen und Nutzer den Komfort selbst nach ihrem individuellen Empfinden adaptiv regeln können (Nutzerinteraktion).

Zusätzlich ist es sinnvoll, sie zu sensibilisieren, damit sie nicht unwissentlich unnötig Energie verschwenden (Nutzerbewusstsein). Die Erfahrung zeigt dabei, dass sie sich thermisch komfortabler fühlen, wenn sie selbst eingreifen können. [7] [14]

2. So einfach wie möglich! Nur das Nötigste einbauen! Eine einfache Gebäudetechnik ist gegenüber komplexen Systemen weniger anfällig bezüglich Systemfehlern, Fehlbedienungen und Ausfällen technischer Komponenten. Eine einfache Technik kann auch noch in vielen Jahren einfach gewartet und verändert werden. Nur wenn man das Techniksystem in seiner Gesamtheit erfassen kann, ist es möglich, in der Konzeption, aber auch bei zukünftigen Veränderungen die richtigen Entscheidungen zu treffen. Eine einfache Gebäudetechnik, im Sinne von robusten, passiven und gleichzeitig nutzerregulierten Systemen, führt nicht nur zu einem reduzierten Energiebedarf und geringeren Installationskosten, sondern erhöht gleichzeitig die Nutzerzufriedenheit (siehe Punkt 1. Nutzerinnen und Nutzer regeln selbst) und reduziert den Performance Gap.

3. Technik richtig bewerten

Je weniger Technik in einem Gebäude betrieben werden muss, desto weniger Energie wird für dessen Betrieb benötigt. Zusätzliche Techniksysteme sollten nur dann Anwendung finden, wenn diese auch bei abweichendem Verhalten der Nutzerschaft noch erfolgreich funktionieren. In die Bewertung sollten nicht nur die Kosten für die zusätzliche Technik selbst, sondern auch der Platzbedarf, der Wartungsaufwand und der Energieverbrauch im Betrieb mit einbezogen werden – und künftig auch die Umweltauswirkung in Form des Treibhausgaspotenzials.

## **Umsetzung in den Forschungshäusern**

Bei den Forschungshäusern sorgen die Nutzerinnen und

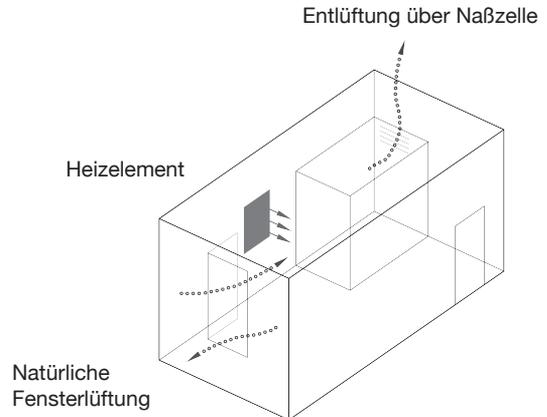
Nutzer selbst für Frischluftzufuhr über die Fenster. Die Wärmeversorgung erfolgt vor Ort über ein vorhandenes Biogas-Blockheizkraftwerk. Die Heizung wird über die Thermostatventile der Heizkörper gesteuert, die Beleuchtung über Lichtschalter.

Das ganz normale Wohnen produziert zusätzliche Feuchtigkeit im Raum, sei es durch Atmen, Kochen, Duschen, Wäschetrocknen oder Grünpflanzen. Wenn diese Feuchte über längere Zeit nicht durch Lüften wieder aus dem Haus gebracht wird, kann es sein, dass es zu Schäden am Gebäude kommt. Zum Beispiel, weil die Feuchte in der Luft an der Innenseite der Außenwände kondensiert. In den durchfeuchteten Bauteilen kann dann Fäule oder Schimmel entstehen. Um das zu vermeiden, wird in manchen Mietverträgen eine bestimmte Mindestlüftung durch die Bewohnerinnen und Bewohner festgelegt. Das Ziel dieser Festlegungen ist es, die Feuchte in der Luft zu kontrollieren. Problematisch ist dabei, dass die Verantwortung für Feuchteschäden dadurch auf die Mieterinnen und Mieter übergeht.

Die Forschungshäuser wurden dagegen so konzipiert, dass die darin Wohnenden sich so verhalten können, wie sie möchten. Es gibt keinen Lüftungszwang. Bei geschlossenem Fenster wird der Mindestluftwechsel zum Feuchteschutz über Lüftungsschlitze im Fensterfalz – sogenannte Fensterfalzlüfter – erreicht. Der Luftaustausch wird über die Abluftventilatoren in den innenliegenden Bädern angeregt. Diese sind mit einem Feuchtesensor ausgestattet, der so lange mit ca. 3 W Leistung Luft absaugt, bis der eingestellte Grenzwert von 60 % relativer Luftfeuchte unterschritten ist. Wird das Bad benutzt, schaltet der Abluftventilator auf Normalbetrieb hoch (ca. 6 W). Der betätigte Lichtschalter gibt das Signal zum Normalbetrieb.

Während der Langzeitmessung werden über einen Zeitraum von zwei Jahren sowohl der Energieverbrauch, das Raumklima und das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer erfasst. Aus den gewonnenen Daten lässt

sich dann ableiten, wie die angewandte Strategie in den Forschungshäusern in der Praxis funktioniert. Die erhobenen Daten sollen auch dabei helfen, das Verhalten der Nutzerschaft besser zu verstehen. So ist es zukünftig möglich, Optimierungen besser auf Praxistauglichkeit einzustellen. Mit den Messdaten können auch die bisher verwendeten Simulationstools überprüft und für die Zukunft kalibriert werden.



Forschungshäuser in Bad Aibling - Schema des einfachen Lüftungskonzepts Fensterlüftung mit Badablüfter

## Systemtrennung

»An zukünftige Nutzungen denken. Varianten einplanen.  
Die technischen Systeme von der Konstruktion trennen.«

## Lebensdauer von Bauteilschichten [15]

Einrichtung:  $\pm 5$  Jahre

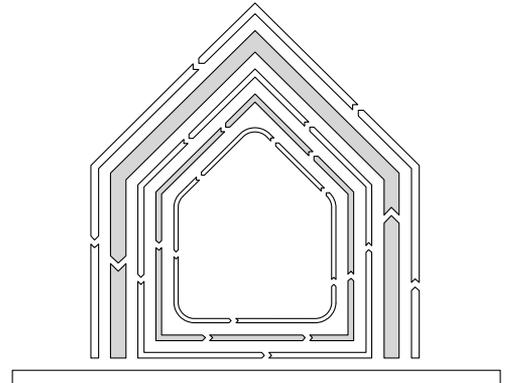
Raumnutzung:  $\pm 10$  Jahre

Technische Systeme:  $\pm 20$  Jahre

Hülle:  $\pm 50$  Jahre

Konstruktion:  $\pm 100$  Jahre

Bauplatz:  $\infty$  ( $\pm 2$  Milliarden Jahre)



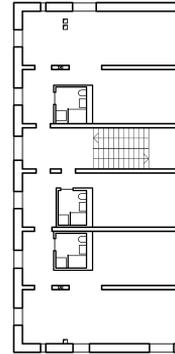
Häuser werden von uns als statisch wahrgenommen. Daher bezeichnen wir diese auch als „Immobilie“ im Gegensatz zum beweglichen „Mobiliar“. Betrachtet man ein Gebäude aber über eine Zeitspanne von 100 Jahren oder länger, wird schnell deutlich: Viele Teile des Gebäudes durchlaufen mehrere Zyklen der Veränderung. Die Zyklen dabei möglichst auszudehnen und dadurch den Umbau zu verzögern, ist eine gute Idee. Irgendwann ist trotzdem die Zeit gekommen, dass bestimmte Teile erneuert oder zumindest verändert werden müssen. Eine konsequente und bereits in der frühen Planung angedachte Systemtrennung erleichtert das enorm. Damit ist eine Trennung technischer und baulicher Systeme gemeint. Ein Heizkörper ist zum Beispiel leichter auszutauschen als eine Fußbodenheizung

### Umsetzung in den Forschungshäusern

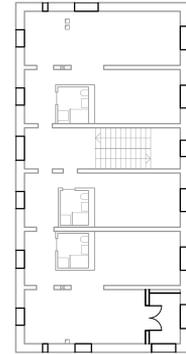
Die Konstruktion und Fügung der Bauteile ist so gestaltet, dass Flächenverbindungen möglichst vermieden und alle Bauteilschichten zugänglich und lösbar oder mit Einzelverbindungen ausgebildet wurden. Dadurch erhöht sich die Reparatur- und Austauschfähigkeit und somit die Lebensdauer der einzelnen Bauteile.

Beim Entwurf wurde darauf geachtet, dass die Gewerke nacheinander und nicht, wie oft üblich, gleichzeitig am Bau arbeiten. Überschneidungen wurden so weit wie möglich vermieden. Das sorgt einerseits für einen problemärmeren Bauablauf, hat aber auch den wertvollen Nebeneffekt, dass bei späteren Änderungen quasi in umgekehrter Reihenfolge wieder zurückgebaut werden kann, ohne unnötige Zerstörungen zu produzieren. Auch bei der Gebäudetechnik wurde die Trennung der Gewerke angestrebt. Leitungen sind in wenigen Steigschächten zentral gebündelt und führen direkt an Badfertigzellen vorbei durch die Wohneinheiten. Alle Bedienelemente wie Unterverteilung und Absperreinrichtungen sind möglichst dicht an

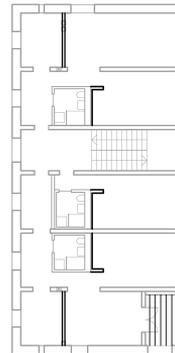
diesem Schacht positioniert. Die weitere Verteilung erfolgt revisionierbar in Sockelleisten oder einfach als Aufputz-Installation.



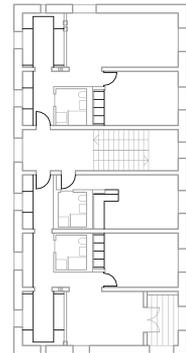
Rohbau



Hülle



Ausbau

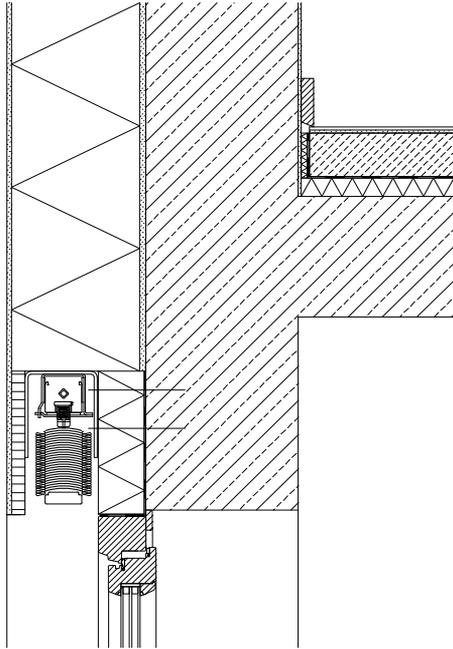


Einbauten

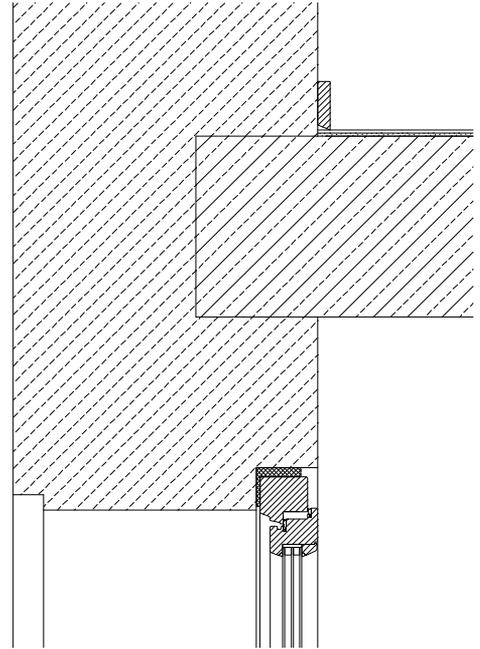
## Materialgerechte Konstruktion

»Wenige, sortenreine Bauteilschichten verwenden.  
Zu robusten und langlebigen Konstruktionen fügen.«

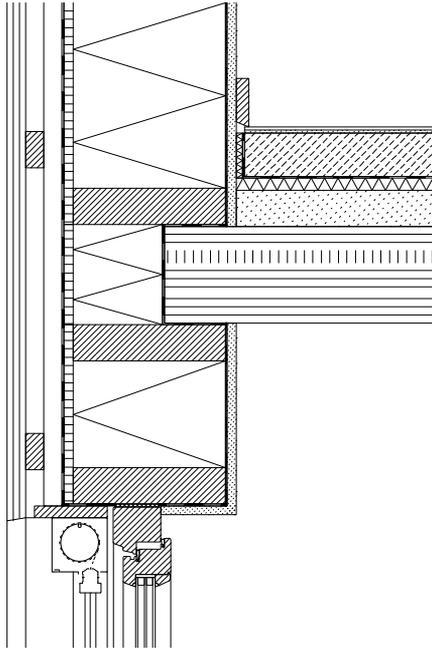
Vergleich Standard-Wandaufbau mit monolithischer Bauweise der Forschungshäuser



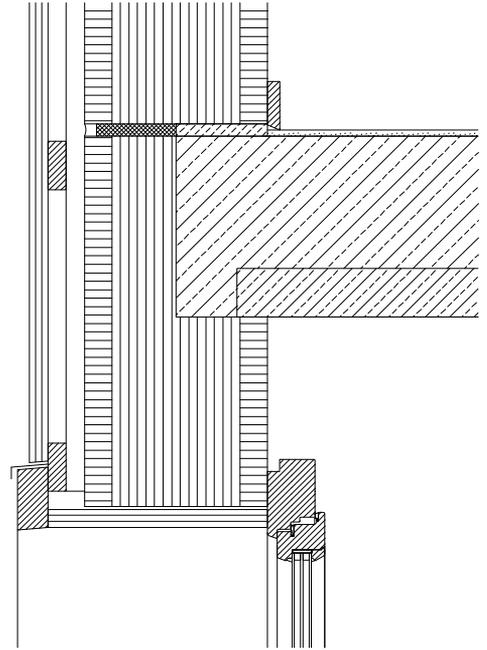
Beton - übliche Konstruktion



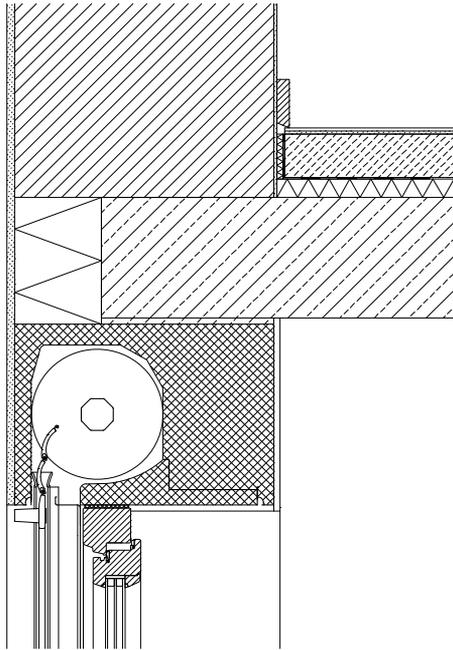
Beton - Einfach Bauen



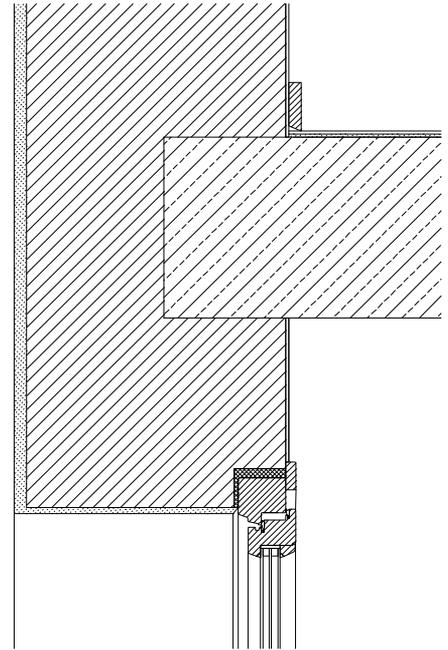
Holz - übliche Konstruktion



Holz - Einfach Bauen



Mauerwerk - übliche Konstruktion



Mauerwerk - Einfach Bauen

Lärm, Regen, Wind, Kälte oder Hitze – die Außenwand schützt uns vor unangenehmen Umwelteinflüssen. Gleichzeitig ist die Außenwand meist Teil des Tragwerks und bestimmt als Fassade die Gestalt des Hauses im Stadtbild. Vor allem bei den Dämmeigenschaften sind die Ansprüche in den letzten Jahren weiter gestiegen. Deshalb werden Außenwände häufig aus mehreren Schichten konstruiert, die Unterschiedliches leisten. Üblicherweise bildet eine Schicht aus Mauerwerk, Stahlbeton oder Holz das Tragwerk und sorgt mit ihrer Masse für Schallschutz und thermische Trägheit. Die in der Regel außen angebrachte Schicht aus Dämmstoffen garantiert die Wärmeisolation der Außenwand. Den Abschluss bildet die Fassade als Gestaltungselement und wetterabweisende Schicht. Wir sprechen hier von einer Strategie der Materialschichtung.

Eine andere Strategie sind Materialmischungen. Der Baustoffhandel bietet viele Mauersteine mit einer Füllung aus Dämmstoffen an. Ergänzt werden sie durch Sonderbauteile wie gedämmte Fensterstürze oder Sondersteine, die zum Beispiel entlang des Auflagers der Decken zum Einsatz kommen. Häufig werden heute beide Strategien in Kombination verfolgt. Macht man sich nun Gedanken über die weitere Zukunft der Gebäude, stellen sich Fragen: Welcher Instandhaltungsaufwand entsteht, wenn verschiedene Schichten das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben? Sind Ersatzteile für das Gebäude auch zukünftig verfügbar? Kann ich die Teile des Gebäudes wiederverwenden oder Materialmischungen wieder voneinander trennen? Ganz allgemein: Wie steht es um die Nachhaltigkeit?

### Umsetzung in den Forschungshäusern

Am Anfang des Kapitels sind die Fügungen der Bauteile Außenwand, Fenstersturz und Decke dargestellt. Links sind heute übliche Konstruktionen platziert. Rechts daneben sind die einfachen Konstruktionen

gegenübergestellt, welche für die Forschungshäuser in Bad Aibling entwickelt und angewendet wurden. Besondere Materialien und eine Konstruktion, die den Eigenschaften des Materials folgt, machen diese Vereinfachung möglich. Die verschiedenen Fensterformen ergeben sich aus den jeweiligen spezifischen Möglichkeiten des Materials, die Fensteröffnung zu überspannen. Holz ermöglicht eine rechteckige Fensterform, da die Holzfasern als Träger wirken. Die Wand aus Infralichtbeton ist ohne Stahl gebaut. Auf diesen konnte aufgrund der materialgerechten Statik des Gebäudes verzichtet werden. Das ist sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll, da der Stahl zwar nur ca. 5 – 15 % der Masse ausmacht, aber für einen großen Teil der Kosten und der Umweltwirkung verantwortlich ist. Beton ist sehr gut auf Druck belastbar, aber ohne Stahl nicht sehr zugfest. Ein gerader Sturz bekäme ohne Stahlbewehrung also schnell Risse. Die Öffnung wird deshalb mit einem Rundbogen überspannt. Auch bei dem Mauerwerk wurde auf stahl-verstärkte Sonderbauteile verzichtet. Durch einen gemauerten Segmentbogen kann auch hier die Fensteröffnung überbrückt werden. Die materialgerechte Konstruktion bildet also gleichzeitig den Ausgangspunkt für eine interessante Formensprache.



## Quellenverzeichnis

- [1] BKI Baukosten Gebäude Neubau 2020; Statistische Kostenkennwerte für Gebäude - Neubau (Teil 1)
- [2] DIN V 4108-6:2003-6, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [3] Keller, Rutz, 2011: Pinpoint - Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, ISBN: 978-3728133892
- [4] Eberle et al. (Ed.) (2016), Die Temperatur der Architektur: Be 2226; Portrait eines energieoptimierten Hauses, Birkhäuser, Basel.
- [5] Knecht, K. & Sigrist, D. (2019). Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie. Sustainable Solutions GmbH i.A.v. Baugenossenschaft Hagenbrünneli, Zürich
- [6] Delzende, E., et al. (2017). The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 80. 1061-1071.
- [7] OBB (2017). e% - Energieeffizienter Wohnungsbau. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung des Modellbauvorhabens. Technische Universität München. Hochschule Augsburg. Hochschule Coburg. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr.

[8] BINE (2015). Nutzerverhalten bei Sanierungen berücksichtigen. BINE Informationsdienst. Projektinfo 02/2015. Energieforschung konkret. E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen University.

[9] IWU (2019). Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). BBSR-Online-Publikation Nr. 04/2019.

[10] DIN V 4108-6, DIN 4701-10, DIN 18599

[11] Tam, V.W.Y., Almeida, L., Le, K. (2018). Energy-Related Occupant Behaviour and Its Implications in Energy Use: A Chronological Review. Sustainability 10, no. 8: 2635.

[12] Brager, G. & De Dear, R.J. (2001). Climate, comfort, & natural ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE standard 55. Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century: An International Conference. 5-8th April 2001. Oxford Brookes University. Oxford.

[13] Campo V (2020). Auf dem richtigen Weg - Aktivplus-Studentenwohnhaus "Campo V" in Stuttgart. db deutsche bauzeitung. Ausgabe 05/2020. Trends: Energie. S. 52 - 55.

[14] GEWOFAG Riem, 2014

[15] Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built. New York City: Viking Verlag, 1994 ISBN-13: 978-0670835157

Der vollständige Leitfaden wird voraussichtlich im Oktober 2021 im Birkhäuser Verlag erscheinen. Dieser wird neben einem Vorwort von Florian Nagler auch zusätzliche Texte zum Kontext unserer Forschung sowie zahlreiche Zeichnungen und Fotos der drei Forschungshäuser enthalten.

Einfach Bauen

Ein Leitfaden

Herausgegeben von Florian Nagler

Wie kann Architektur mit baulichen Mitteln und möglichst geringer Technik ein angenehmes Raumklima erzeugen? Forschende aus vier Lehrgebieten der TU München haben gemeinsam mit Transsolar Energietechnik in einem Projekt integrale Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen untersucht.

Die entwickelten Maßnahmen hat das Büro Florian Nagler Architekten an drei Forschungshäusern aus Massivholz, Mauerwerk und Leichtbeton in monolithischer Bauweise umgesetzt: Anhand dieser exemplarischen Wohngebäude erklärt der Leitfaden anschaulich die sechs Prinzipien des einfachen Bauens.

ISBN 978-3-0356-2463-2



9 783035 624632

A-D 1/114

[www.birkhauser.com](http://www.birkhauser.com)

