



KALKSANDSTEIN

Passivhaus – Plusenergiehaus

Vorwort	3
Was ist ein Passivhaus – und wie wird es zum Plusenergiehaus?	4
Grüne Welle	
Einfamilienhaus in Augsburg als Plusenergiehaus	8
Energetische Berechnung	12
Solarsiedlung Wismarweg	
Passivhäuser in Münster im Gleisdreieck	14
Raumluftqualität und Lüftung	18
Mehrfamilienhaus Erdmannstraße 14–16	
Passivhäuser in Hamburg-Ottensen	20
Kurzdarstellung von elf Fallbeispielen	24
Plusenergie-Kindergarten mit Seniorentreff	
Massivbau mit Holzverkleidung in Wiernsheim	26
Dämmsysteme von Wandkonstruktionen	30
Wärmebrücken	33
Fenster	36
Luft- und Winddichtheit	37
Neubau im Passivhaus Standard	
Herman-Nohl-Schule in Osnabrück	38
Wohnen für Senioren im Passivhaus Standard	
Klaus-Bahlsen-Haus in Hannover	42
Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung	46
Kosten, Wirtschaftlichkeit und Förderung	47
Nutzerverhalten/Ausblick	49
Literatur	50

KALKSANDSTEIN
Das Passivhaus

3. Auflage Januar 2011

Stand: Januar 2011

Autor: Dr. Burkhard Schulze Darup

Redaktion:

Dipl.-Ing. K. Brechner, Haltern am See
Dr. J. Brinkmann, Duisburg
Dipl.-Ing. B. Diestelmeier, Dorsten
Dipl.-Ing. G. Meyer, Hannover
Dipl.-Ing. D. Rudolph, Durmersheim
Dipl.-Ing. S. Schade, Hannover
Dipl.-Ing. P. Schmid, Röthenbach
Dipl.-Ing. H. Schulze, Buxtehude

Herausgeber:

Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover

BV-9034-12/01

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen
und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck auch auszugsweise nur mit
schriftlicher Genehmigung.

Alle nicht gekennzeichneten Fotos:
Dr. Burkhard Schulze Darup

Schutzgebühr 5 €

Gesamtproduktion und
© by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

VORWORT

Kalksandstein war von Anfang an dabei, als 1991 das erste Passivhaus Deutschlands in Darmstadt-Kranichstein gebaut wurde. Der Bau von Passivhäusern mit Kalksandstein ist nicht nur gebaute Realität, sondern steht auch für hohe Wirtschaftlichkeit und Komfort. Dies belegt eine hohe Anzahl von Objekten aus dem Wohn- und Nichtwohnbau, die in den vergangenen 20 Jahren erstellt wurden.

Der Effizienzstandard des Passivhauses wird in absehbarer Zeit Bestandteil üblicher Baupraxis sein. In einem darauf folgenden Schritt führt die EU Energieeffizienzrichtlinie 2019/2021 das „nearly zero emission building“ ein. Es ist davon auszugehen, dass diese Gebäude Passivhaustechnologie mit erneuerbaren Energiesystemen verbinden werden. Auf diesem Weg können bereits heute Gebäude mit Plusenergiebilanz für die Bereiche Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität erstellt werden. Bis zum Jahr 2050 strebt die EU eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 80 bis 95 % an. Ein zukunftsfähiges Gebäude sollte auf diese Herausforderung vorbereitet sein. Wer heute ein Gebäude nach den Mindeststandards der EnEV baut, wird in fünfzehn bis zwanzig Jahren energetisch nachrüsten müssen oder für seine Immobilie einen hohen Wertverlust riskieren.

Energieeffiziente Gebäude aus Kalksandstein bewähren sich nicht nur im Winter durch hohen thermischen Komfort. Sie weisen durch ihre hohe aktivierbare Masse in Verbindung mit einem angepassten Verschattungssystem auch einen hervorragenden sommerlichen Wärmeschutz auf. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erzielt nicht nur einen hohen Komfort, sondern sorgt auch für beständig gute Raumluft.

Passivhäuser erzielen bei ökonomischer Planung vom Bezug an niedrigere monatliche Kosten für Finanzierung und Betrieb als Standardgebäude – und erst recht in der langfristigen Betrachtung. Der Bau eines Passivhauses stellt eine Versicherung gegen steigende Energiekosten dar. Zudem wird es für Bauherren zunehmend zur Selbstverständlichkeit, nachhaltige Bauten zu errichten, die für Klima- und Ressourcenschutz stehen.

Der Herausgeber
Hannover, im Januar 2011

WAS IST EIN PASSIVHAUS – UND WIE WIRD ES ZUM PLUSENERGIEHAUS?

Passivhäuser sind durch einen sehr niedrigen Energiebedarf bei hoher Behaglichkeit und bestem Komfort gekennzeichnet. Die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sind so gering, dass sie fast vollständig durch kostenlose „passive“ Energiebeiträge (nutzbare Energiegewinne) ausgeglichen werden. Das sind:

- solare Gewinne durch Fenster und sonstige transparente Flächen,
- Wärmeabgabe von Beleuchtung, Geräten und Prozessen sowie
- die Körperwärme der Personen im Gebäude.

Verbleibt nur ein minimaler Heizwärmebedarf von $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, so ist das Hauptkriterium für ein Passivhaus¹⁾ erfüllt. Der Begriff beschreibt einen technischen Standard, keinen Gebäudetyp. Dem Planer erschließen sich durch die Anwendung der Energie sparenden Komponenten vor allem neue Möglichkeiten der Gestaltung, die Einschränkungen sind eher gering. Ausgerüstet mit ein wenig zusätzlichem energetischem Handwerkszeug erweitern sich die Spielräume für Entwurfskonzepte. Bei vielen Architektenwettbewerben wird der Passivhaus-Standard als selbstverständliche Grundlage des Entwurfs gesehen und der Architekturpreis Passivhaus²⁾ wurde 2010 das erste Mal vergeben: an erstklassig gestaltete Projekte aus dem Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude.

Durch eine sorgfältige Ausbildung der Gebäudehülle können gebäudetechnische Installationen reduziert werden und die Behaglichkeit und der Komfort der Gebäude erhöhen sich. Zum Vergleich: Gebäude aus den 1960er Jahren und davor haben einen Heizwärmebedarf von 200 bis 300 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, das entspricht ca. 20 bis 30 Litern Öl. In den 1980er Jahren wurden 10- bis 15-Liter-Häuser gebaut. Gebäude nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) liegen bei 5 bis 8 Litern – und

das Passivhaus kann als 1,5-Liter-Haus bezeichnet werden. Wird die benötigte Energie für Heizen, Warmwasser und Strom durch erneuerbare Energien gedeckt, so wird das Gebäude auch als Null- oder Plusenergiehaus bezeichnet.



Entwurfs- und Konstruktionskriterien

Grundvoraussetzung ist eine hervorragende thermische Gebäudehülle. Die Konstruktionen von Wand, Dach sowie Bodenplatte und Kellerdecke sollten einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweisen. Vorteilhaft sind eine günstige Gebäudegeometrie, die Reduzierung der Wärmeabgebenden Oberflächen im Verhältnis zum Heizvolumen (A/V-Verhältnis) durch eine kompakte Form des beheizten Bereichs, große Bautiefe und den Verzicht auf Versprünge. Der Wärmedurchgang für die Fenster in der Gesamtbetrachtung von Verglasung, Rahmen und Wärmebrücken sollte $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ betragen. Ein möglichst hoher Energiedurchlassgrad wirkt sich vorteilhaft aus, vor allem für die Südfenster ist ein Wert von $g \geq 0,5$ bis 0,6 anzustreben. Die Ausrichtung der Fensterflächen entscheidet über das Ausmaß der Energiegewinne: Je geringer die Abweichung von der Südorientierung, desto günstiger. Möglichst weitgehende Verschattungsfreiheit dient der vollständigen Ausnutzung passiver Solargewinne. Wärmebrückenfreiheit bei Außenmaßbezug der Transmissionsfläche muss Ziel der Detaillösungen sein. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle und eine mangelfreie

Konstruktion sind die Voraussetzung für eine funktionierende Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage mit minimierten Leckageverlusten. Der Nachweis erfolgt mittels Blower-Door-Test, der für Passivhäuser einen Luftdurchsatz unterhalb des 0,6-fachen Gebäudevolumens bei einem Differenzdruck von 50 Pa vorsieht ($n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$).



Lüftung

Die Raumluftqualität muss oberste Priorität bei der Gebäudeplanung haben. Deshalb beinhaltet eine Energie sparende Planung zugleich immer die Anforderungen des gesundheitsverträglichen Bauens. Ziel ist es, Schadstoffeinträge und gesundheitsbeeinträchtigende Einflüsse so gering zu halten, dass der Luftwechsel durch den Kohlendioxidgehalt bestimmt wird, der dem Atemvorgang der Nutzer entspricht. Der Pettenkofer-Wert von 0,1 Vol.-% CO_2 sollte nach Möglichkeit nicht überschritten werden. Daraus ergibt sich die Anforderung von 30 m^3 Frischluft pro Stunde für jede Person bei normaler Betätigung. Dieses Volumen entspricht der Mindestanforderung der neuen DIN 1946 Teil 6.

Ventilatorgestützte Lüftungsanlagen dienen einem erhöhten Komfort und sorgen für eine hygienisch einwandfreie Raumluft. Mittels Wärmerückgewinnung über einen Wärmetauscher kann zudem Energie eingespart werden. Folgende Parameter sind für eine passivhaustaugliche Lüftungsanlage Voraussetzung:

Übersicht der wichtigsten Passivhaus-Kriterien

- Jahresheizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- maximale Heizwärmelast $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$, um auf ein gesondertes Heizsystem verzichten zu können
- Wand, Dach und Fußboden: Wärmedurchgangskoeffizient $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Wärmebrückenfreiheit
- Fenster $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $g \geq 0,5$ bis 0,6
- Luftdichtheit: max. 0,6-facher Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz ($n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$)
- Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mit einem Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WRG,eff} \leq 75 \%$, Stromeffizienz $p_{el} < 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$
- Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Brauchwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

¹⁾ Die Anforderungen für Passivhäuser wurden in verschiedenen Arbeitskreisen und Untersuchungen entwickelt, die im Wesentlichen koordiniert und ausgeführt wurden durch das Passivhaus Institut Darmstadt, Dr. Wolfgang Feist, 64283 Darmstadt, www.passiv.de

²⁾ Architekturpreis Passivhaus: <http://www.passiv.de/archpreis/index.html>

³⁾ Passivhaus Projektierungs Paket. Passivhaus Institut Darmstadt, www.passiv.de

- Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WRG,eff} \geq 75\%$
- Zulufttemperatur $> 16,5\text{ °C}$ zur Erzielung von Behaglichkeit
- Stromeffizienz $p_{el} < 0,45\text{ Wh/m}^3$
- weitgehende Dichtheit des Lüftungsgeräts
- Schalldruckpegel in Wohnräumen $< 25\text{ dB(A)}$



Gebäudetechnik im Passiv- und Plusenergiehaus

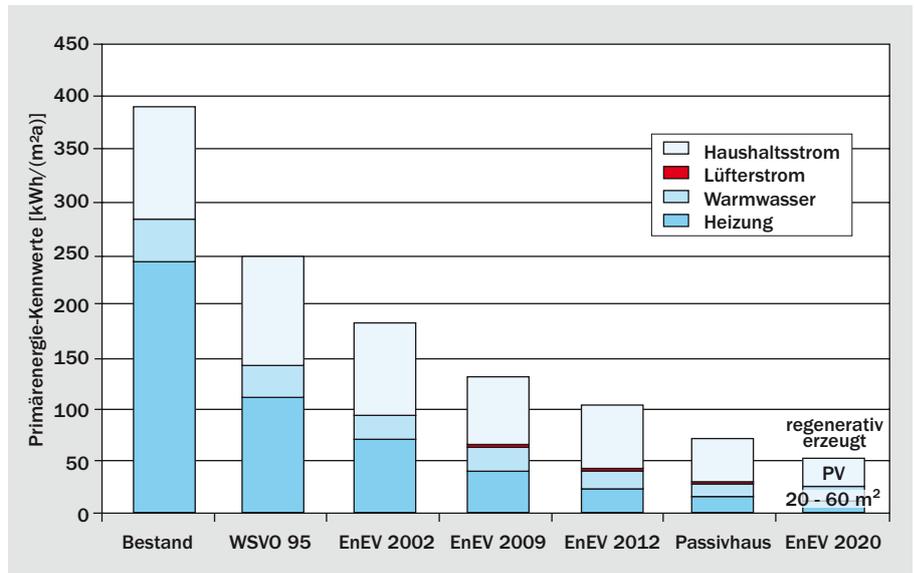
Der sehr geringe Restwärmebedarf, der im Passivhaus zum Heizen bereit gestellt werden muss, ermöglicht einen Kostensprung zur Reduzierung der Investitionskosten zum Heizsystem: Das ohnehin vorhandene Zuluftsystem kann die erforderliche Heizwärme transportieren. Damit dies unter bauphysikalisch behaglichen Kriterien geschehen kann, muss die Auslegungs-Heizleistung unter 10 W/m^2 und die maximale Temperatur im Wärmetauscher bei 50 °C liegen. Ein deutlicher wirtschaftlicher Vorteil ist allerdings auch bei der Trennung von Lüftungs- und Heizungstechnik gegeben. Bei der Planung im Wohngebäudebereich ist zu beachten, dass der Bedarf für die Warmwasserbereitung oftmals höher liegt als der Bedarf für die Raumwärme. Zahlreiche Heizsysteme ermöglichen eine weitestgehend regenerative Bereitstellung der Wärme.

Die Stromnutzung im Passivhaus sollte ebenfalls auf möglichst effizientem Weg erfolgen. Wird dazu durch das Gebäude auf erneuerbarem Weg Strom generiert, z.B. durch Photovoltaik, so kann das Gebäude in der Bilanz mehr Energie erzeugen als es verbraucht – und wird damit zum Plusenergiehaus.



Energetische Berechnung und Anforderung an den Primärenergiebedarf

Die Einbeziehung der energetischen Gebäudesimulation bereits in der Vorentwurfsphase ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche Konzeption von Passivhäusern. Als Werkzeug dient das Passivhaus



Primärenergie-Kennwerte von Baustandards

Projektierungs Paket (PHPP)³, mit dem die Besonderheiten hoch energieeffizienter Gebäude rechnerisch äußerst exakt abgebildet werden können. Zugleich dient das Programm als Qualitätsnachweis, in dem die konstruktiven und energetischen Kennwerte zusammengefasst sind. Zudem wird die Erfüllung der Passivhaus-Kriterien nachgewiesen:

- Heizwärmebedarf $\leq 15\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf für Heizung, Klimatisierung, Warmwasserbereitung, Hilfsenergien und (Haushalts)-Strom $\leq 120\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Der zusätzliche energetische Aufwand für die Erstellung eines Passivhauses amortisiert sich im Vergleich zum Standard der EnEV bei günstig geplanten Gebäuden in einem Zeitraum von etwa einem Jahr.



Behaglichkeit und Raumklima

Hoch wärmedämmte Außenbauteile erfüllen die bauphysikalische Behaglichkeitsanforderung nach einer hohen inneren Oberflächentemperatur, die nahe an der Raumlufttemperatur liegt. Tauwasser und somit Schimmelprobleme können bei solchen Konstruktionen nicht auftreten. Fenster mit einem U-Wert unterhalb

$0,8\text{ W/(m}^2\text{K)}$ weisen ausreichende Behaglichkeitskriterien auf, ohne durch Heizwärme einen Ausgleich schaffen zu müssen. Strahlungs-Asymmetrien werden in Passivhäusern auf ein sehr komfortables Maß minimiert. Als Folge der geringen Thermik und der minimalen Heizlast liegen auftretende Luftgeschwindigkeiten deutlich unter der Anforderungsschwelle von $0,15\text{ m/s}$, in den meisten Bereichen unter $0,05\text{ m/s}$. Die Lüftungsanlage erzeugt nur in sehr kleinen Einblasbereichen eine erhöhte Luftgeschwindigkeit, die bei richtiger Planung aufgrund der geringen stündlichen Luftmengen keinerlei Zugempfinden aufkommen lässt. Sehr wesentlich für das Wohlbefinden ist die ständig erneuerte Frischluft. Dies hat nicht nur Vorteile für die Raumluftqualität. Es stellt sich auch eine kontinuierlich angemessene Raumluftfeuchte ein, da eine ständige Abfuhr der anfallenden (Wohn-)Feuchte im Gebäude sichergestellt ist. Aufgrund des relativ geringen erforderlichen Luftwechsels von etwa $30\text{ m}^3/\text{h}$ pro Person fällt bei richtiger Planung an kalten Tagen die Raumluftfeuchte dennoch nicht in zu trockene Bereiche.

Die hohe bauphysikalische Behaglichkeit führt zu Wohlbefinden und besten hygienischen und gesundheitlichen Raumklimabedingungen. Dies schlägt sich nicht nur beim Wohnen in positiven Kommentaren der Bewohner nieder – gerade bei gewerblichen Objekten ist eine Betrachtung dieser „weichen“ Komfortfaktoren sinnvoll: Durch gute Arbeitsbedingungen aufgrund der hohen bauphysikalischen Behaglichkeit mit der Folge eines niedrigeren Krankenstands

amortisieren sich nicht nur die geringen Mehrinvestitionen sehr schnell. Obendrein stimuliert ein komfortables Arbeitsumfeld ein positives Arbeitsklima.



**Kostengünstige
Passivhäuser**

Der Kostenvergleich von Passivhauskomponenten gegenüber Standard-Technik nach EnEV stellt sich wie folgt dar:

- Erhöhte Dämmstoffdicken sind von Anfang an rentabel, wenn der konstruktive Aufwand niedrig gehalten werden kann.
- Passivhaus-Fenster erzeugen derzeit noch 15 bis 40 % Mehrinvestitionen gegenüber Standardfenstern, in wenigen Jahren werden sie zum energetisch üblichen Standard.
- Lüftungstechnik dient nicht nur der Energieeffizienz, sondern in starkem Maß

dem Komfort und der Raumluftqualität. Ventilatorgestützte Lüftungsanlagen werden in weiten Bereichen bereits durch die Normen gefordert. Dadurch relativieren sich die 40 bis 80 €/m² für Zu-/Abluftanlagen. Bei Gewerbebauten kann das Passivhaus-Konzept Einsparungspotenziale hinsichtlich der Raumluft-Technik (RLT) eröffnen.

- Heizungstechnik wird kostengünstiger durch die geringe Heizwärmelast mit der Folge minimierter Technik in der Zentrale und einem deutlich vereinfachten Verteilsystem.
- Bei gewerblichen Gebäuden kann die dort übliche Klimatechnik durch das Passivhaus-Konzept überflüssig werden, was zu deutlichen Einsparungen führt. Gebäude im Passivhaus Standard erzeugen gegenüber einem Standardgebäude Mehrinvestitionen von 3 bis 12 %. In zahlreichen Fällen wurde allerdings dokumentiert, dass durch konsequente Planung Einsparungen in zahlreichen Bereichen vom Raumprogramm bis zur Technik erzielt werden konnten. Dies führte zu au-

ßerst günstigen Lösungen, die bereits bei den Investitionskosten mit üblichen Gebäuden konkurrieren konnten. Solche Synergieeffekte sind bei vielen gewerblichen Gebäuden erzielbar, ebenso bei kommunalen Bauten wie Schulen, Pflege- und Altenheimen.

Bei der Betrachtung von Betriebs- und Finanzierungskosten liegt bereits bei heutigen Rahmenbedingungen unter Einbeziehung der aktuellen Förderprogramme die jährliche Belastung von Passivhäusern in den meisten Fällen niedriger als die für Standardgebäude. Bei steigenden Energiepreisen wird sich dieser Effekt verstärken. Bereits nach der Hälfte einer Abschreibungszeit von z.B. 40 Jahren wird sich die wirtschaftliche Situation völlig anders darstellen.

Es kann sicher prognostiziert werden, dass auf die Lebenszeit gesehen Passivhäuser die mit Abstand wirtschaftlichere Variante gegenüber üblichen Gebäudestandards darstellen.

GLOSSAR

Ein **Nullheizenergiehaus** ist ein Gebäude ohne Verbrauch an fossilen Energieträgern, d.h. der Heizwärmebedarf wird über regenerative Energieträger gedeckt. Von einem **Nullenergiehaus** spricht man, wenn sich diese Betrachtung nicht nur auf das Heizen, sondern auch den Bereich Warmwasserbereitung und (Haushalts)-Strom bezieht. Im Jahr 2019/2021 verlangt die aktuelle EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie den „Nearly zero emission standard“ als Standard für Gebäude.

Ein **Plusenergiehaus** weist in der Bilanz einen Energieüberschuss auf. Im Allgemeinen werden bei diesen Gebäuden Passivhaus-Technologien hinsichtlich der Gebäudehülle und der Lüftungstechnik zur Minimierung des Heizwärmebedarfs eingesetzt, darüber hinaus wird in hohem Umfang eine Versorgung mit regenerativen Energieträgern durchgeführt.

Die **Energiebezugsfläche** ist die Fläche, auf die sich der Kennwert eines Energie-

bilanzverfahrens bezieht. Sie wird nach EnEV aus dem Volumen abgeleitet und ist vor allem bei kleineren Gebäuden meist deutlich größer als die tatsächliche Wohn- und Nutzfläche.

Energiedurchlassgrad (g-Wert) heißt die Kennzahl von Verglasungen, die angibt, wie viel Prozent der auf die Scheibe treffenden Sonnenenergie diese durchdringt. Je höher der g-Wert ist, desto mehr solare Wärmegewinne erhält das Haus durch die Fenster.

Interne Wärmegewinne nennt man die Energiegewinne aus Abwärme von elektrisch betriebenen Geräten, von anderen Wärmequellen wie Gasherden und von in den Räumen lebenden Menschen.

Lüftungswärmebedarf heißt der Wärmebedarf für die Erwärmung der Frischluft.

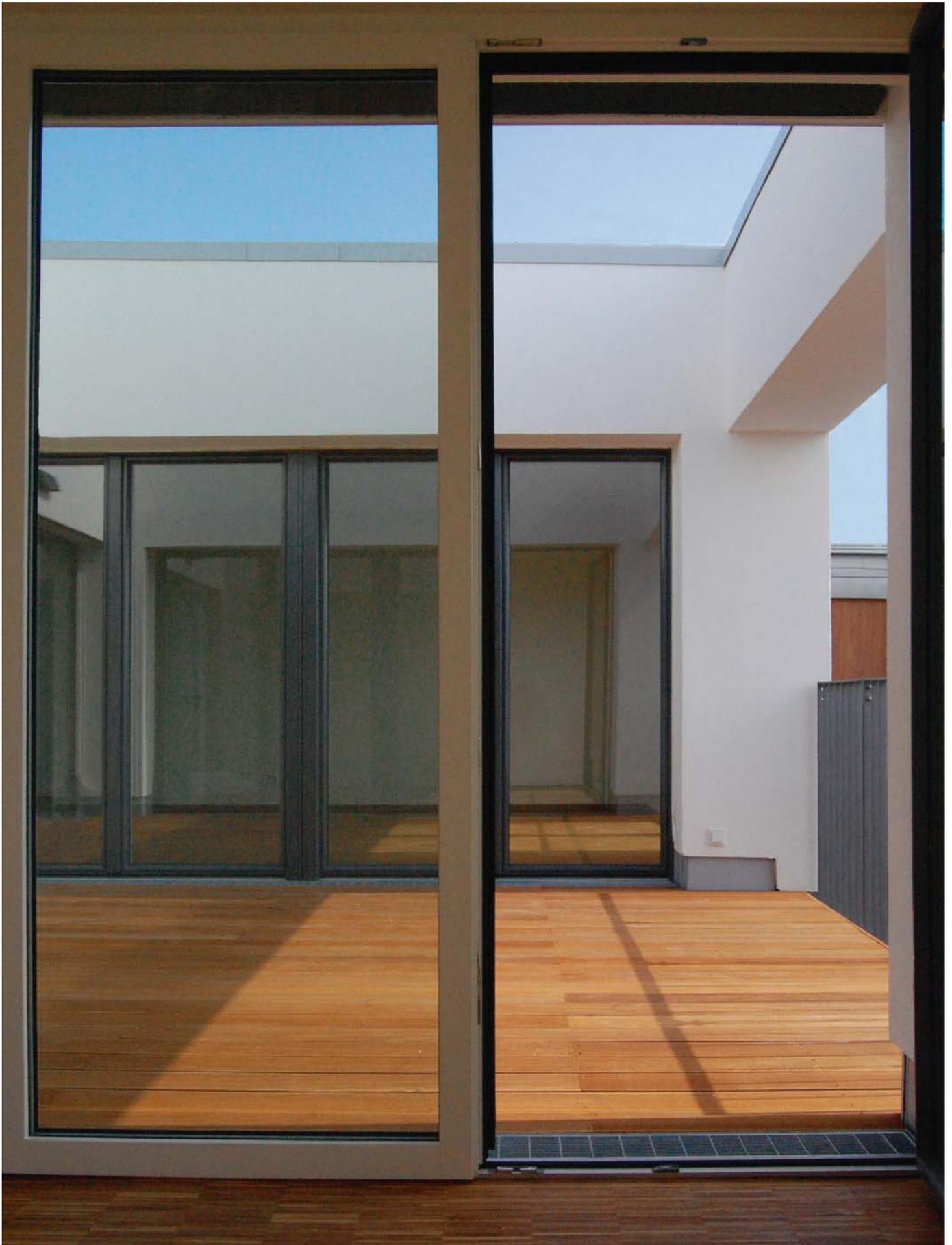
Der **Heizwärmebedarf** ist die notwendige jährliche Wärmezufuhr eines

Gebäudes (in kWh/(m²a)) zur Aufrechterhaltung normaler Innentemperaturen bei normalen äußeren Klimabedingungen und normalem Luftwechsel. Sie ergibt sich aus Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten, solaren Wärmegeinnen und inneren Wärmegeinnen.

Solare Wärmegewinne nennt man die nutzbare Sonnenenergie, die durch transparente Bauteile ins Haus gelangt.

Der **Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)** gibt den Wärmestrom (in Watt) an, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen innen und außen durch einen Quadratmeter eines Bauteils fließt.

Die **Wärmeleitfähigkeit (λ-Wert)** gibt an, welche Wärmemenge durch eine Fläche von 1 m² eines Baumaterials von 1 m Dicke strömt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten 1 Kelvin beträgt. Die Maßeinheit ist W/(mK). Je größer der λ-Wert ist, desto besser leitet das Material Wärme.



GRÜNE WELLE –

EINFAMILIENHAUS IN AUGSBURG ALS PLUSENERGIEHAUS

Das Haus mit der Wellenform am Ufer des Lechs im Augsburger Ortsteil Hochzoll lässt vermuten, dass sich die Bauherren intensiv mit der Planung beschäftigt haben. Tatsächlich recherchierten sie im Vorfeld des Baus sehr grundlegend hinsichtlich der gewünschten Eigenschaften und der Materialien. Das Gebäude sollte wertbeständig und zukunftsfähig sein, einen niedrigen Energieverbrauch aufweisen, guten Schall- und Brandschutz sowie einen besonders guten winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Nicht von ungefähr fanden sie auf der Homepage der Kalksandsteinindustrie diverse Passivhausbeispiele und den Hinweis auf das Architekturbüro Friedl – ein Passivhaus erprobtes Büro in der Nähe von Augsburg. Aus dem kurzfristig hergestellten Kontakt erwuchs eine fruchtbare Zusammenarbeit. Die Handschrift des Architekten mit seiner Affinität zu besonderen Gebäudeformen



MSc. Ing. arch. Werner Friedl

deckte sich mit dem Wunsch der Bauherren, ein ganz besonderes und hochwertiges Einfamilienhaus zu errichten. Die Wellenform nimmt Bezug auf die Elemente Luft und Wasser – auch hinsichtlich des angrenzenden Lechs. Sie gibt dem Haus eine gewisse Leichtigkeit und Unverwechselbarkeit. Das Energiekonzept als zertifiziertes Passivhaus in Verbindung mit Plusenergie-technik war von Anfang an Konsens bei den Beteiligten.



Gebäudehülle & Konstruktion

Die Außenwand wurde aus Kalksandsteinmauerwerk mit Rohdichteklasse 2.0 und einer Dicke von 17,5 cm ausgeführt in Verbindung mit einem Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Dämmung 30 cm mit einem sehr günstigen λ -Wert von 0,032 W/(mK). Daraus ergibt sich ein U-Wert von 0,10 W/(m²K). Die Außenwände gegen Erdreich wurden mit 24 cm XPS gedämmt und erreichen einen U-Wert von 0,16 W/(m²K).

Die Stahlbeton-Bodenplatte wurde wärmebrückenfrei auf einer XPS-Dämmlage mit 24 cm Dicke (2 x 12 cm) mit $\lambda = 0,04$ W/(mK) erstellt. Auf der Bitumenabdichtung befinden sich weitere 10 cm XPS- und 3 cm Trittschall-Dämmung mit je $\lambda = 0,04$ W/(mK). Raumseitig befindet sich der Oberbodenbelag auf Zementestrich.

Das Flachdach ist als Zimmermannskonstruktion mit Holzstegträgern 401 mm mit



Ansicht von Osten mit Blick auf das Gründach

Zellulosedämmung ausgeführt, wobei die Wellenbewegung des Daches durch die verschiedenen Auflagerhöhen der einzelnen Träger erzielt wurde. Innenseitig befindet sich eine 9 cm gedämmte Installations-ebene verkleidet mit einer doppelten Lage Gipskartonplatten. Außenseitig wurde ein Flachdachaufbau aufgebracht mit extensiver Dachbegrünung bzw. mit einer Abdichtungsbahn, in die PV-Module integriert sind. Der U -Wert der Konstruktion beträgt $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.



Wohnzimmer mit Pelletsofen



Dämmung unter Bodenplatte

Die Fenster wurden als Passivhaus Fenster in Form einer Holz-Aluminium-Konstruktion erstellt. Die Passivhaus zertifizierten Rahmen mit $U_f = 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wurden in Verbindung mit Dreischeibenwärmeschutzverglasung mit Argonfüllung mit $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingebaut und einem sehr günstigen g -Wert von $0,61$. Der resultierende Wert für das Fenster beträgt $U_w = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Luft- und Winddichtheit stellen für das Architekturbüro seit Jahren Routine dar, so dass aufgrund der vorgegebenen Details und der sorgfältigen handwerklichen Arbeit beim Blower-Door-Test ein hervorragender n_{50} -Wert von $0,2 \text{ h}^{-1}$ erreicht wurde.



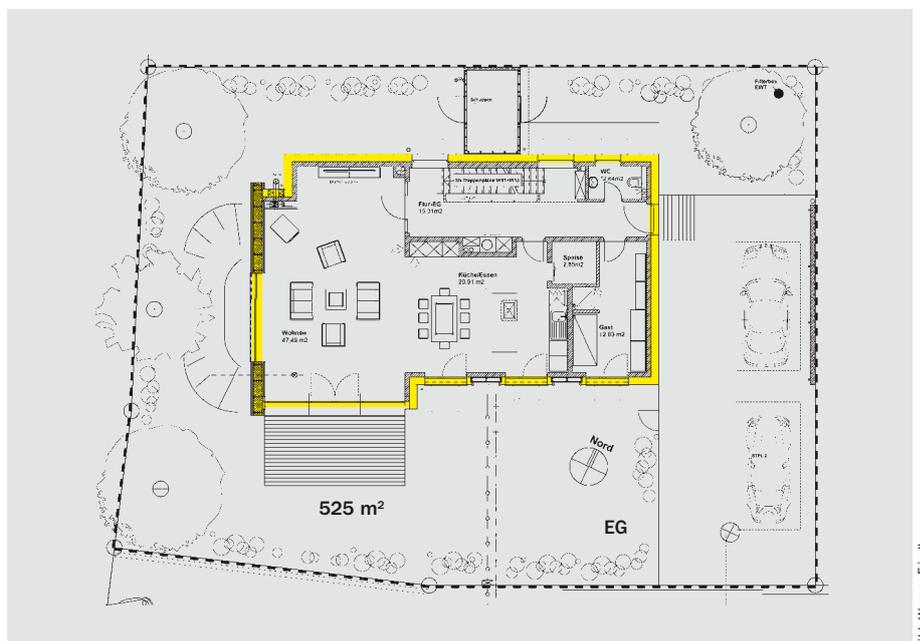
Lüftung, Heizung & Warmwasser

Die Lüftung des Gebäudes erfolgt über eine hocheffiziente Zu-/Abluftanlage mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 88% in Verbindung mit einem Erdreichwärmetauscher DN 200 mit 65 m Länge. Der Luftwechsel musste sowohl auf das eher große Gebäudevolumen als auch die fünf Bewohner eingestellt werden, um einerseits einen hohen Lüftungskomfort zu erhalten und auf der anderen Seite keine zu trockene Luft im Winter. Der Auslegungswert liegt bei einem gut $0,3$ -fachen stündlichen Luftwechsel. Das führt zu hygienisch guter Raumluft sowohl im Winter als auch im Sommer. Während in den Übergangszeiten Fensterlüftung genutzt wird, läuft an sehr warmen Tagen die Lüftungsanlage. Durch den Erdreichwärmetauscher beträgt selbst bei Außentemperaturen oberhalb $30 \text{ }^\circ\text{C}$ die Zulufttemperatur über die Lüftungsanlage $20 \text{ }^\circ\text{C}$. In Verbindung mit nächtlicher Kühlung und Sonnenschutz kann das Gebäude dadurch auf etwa $23 \text{ }^\circ\text{C}$ selbst in Hitzeperioden gehalten werden.

Die Heizung erfolgt durch einen Pelletprimäröfen, der im Wohnzimmer mit seiner



Südostansicht



Grundriss EG

Foto: Werner Friedl

Foto: Werner Friedl

Bild: Werner Friedl

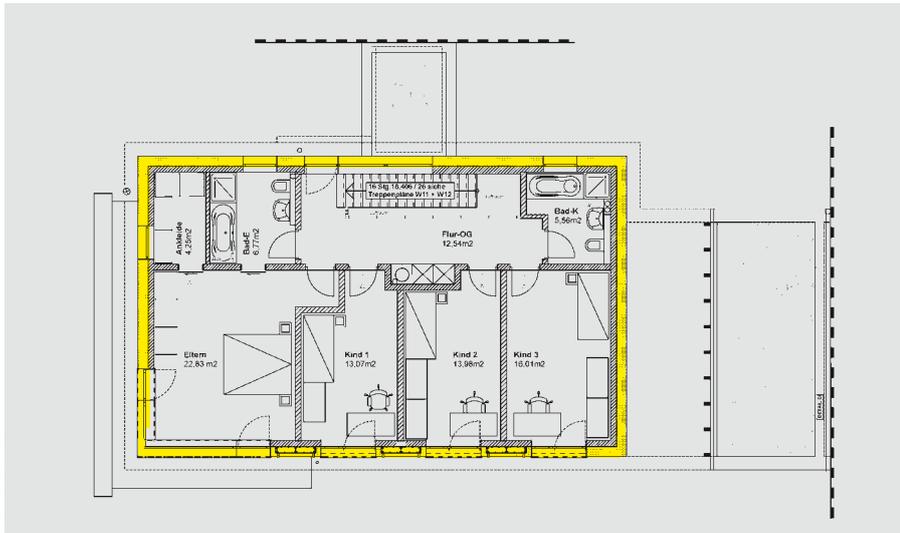


Bild: Werner Friedl

Grundriss OG



Diele und Treppe

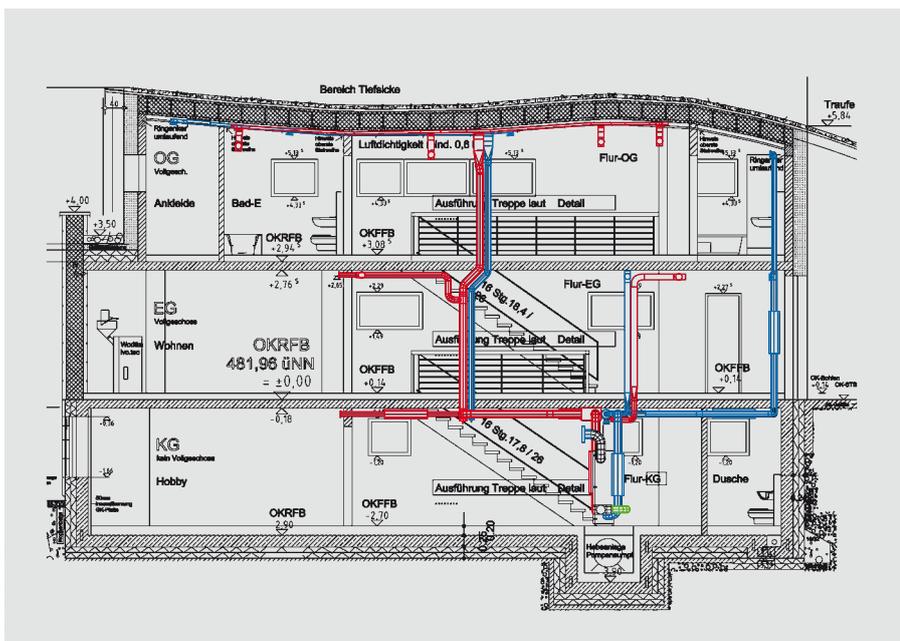


Bild: Werner Friedl

Schnitt mit eingezeichneter Lüftungsplanung

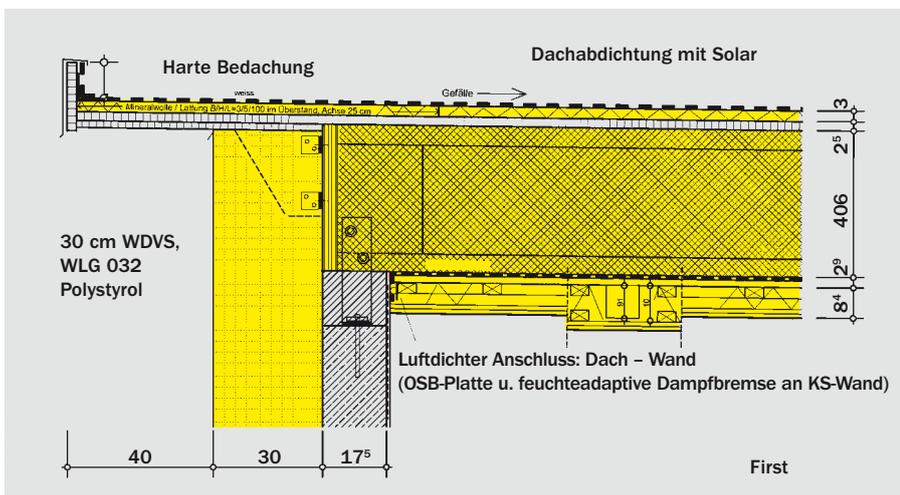


Bild: Werner Friedl

Detail First

Sichtscheibe für ein wenig archaisches Wärmevergnügen in Verbindung mit High-Tech-Verbrennung führt. Die Pellets werden über eine Fördereinrichtung automatisch aus dem Speicher im Keller in den Ofen befördert. Die Wärmeübertragung auf die Räume erfolgt über Fußbodenheizung mit einem zwischengeschalteten Pufferspeicher mit 750 l Wasserinhalt.

Plusenergie

Der Primärenergieverbrauch für Heizen, Warmwasser und Hilfsenergie wird bilanziell durch solare Einträge übertroffen. Einerseits ist die fassadenintegrierte Solarthermieanlage mit 14 m² Kollektorfläche an den Pufferspeicher für Heizung und vor allem Warmwasserversorgung angebunden. Auf dem Dach befinden sich Photovoltaikmodule mit 2,6 kW_{peak} die in die Dachbahn integriert sind. Das Gebäude weist damit hinsichtlich der Bereiche Heizen, Warmwasser und Hilfsenergien eine Plusenergiebilanz auf.

Resümee

Die fünfköpfige Familie fühlt sich ausgesprochen wohl in ihrem Haus. Im Winter ist es angenehm warm und behaglich bei



Lüftungsanlage

geringstem Energieverbrauch, und im Sommer kann die Außentemperatur gern auf 35 °C steigen. Innen bleibt es angenehm kühl – durch das passive Kühlkonzept mit nächtlicher Aktivierung der massiven Bauteile mittels Lüftung und Verschattung der Fensterflächen am Tage.

bisweilen Kommentare von vorbeifahrenden Radfahrern zu vernehmen sind nach dem Motto: „Schau mal, da ist ja wieder dieses tolle Haus mit der grünen Welle!“

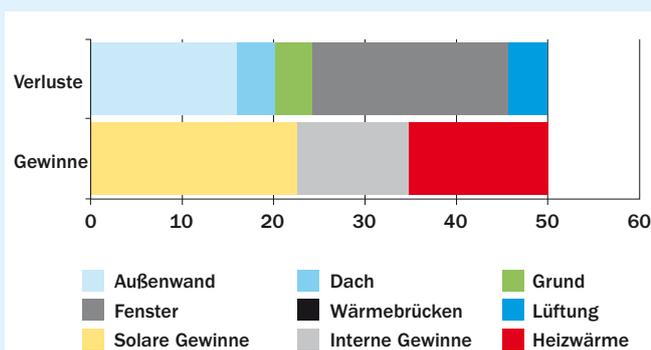


Fassadenintegrierte Solarthermieelemente

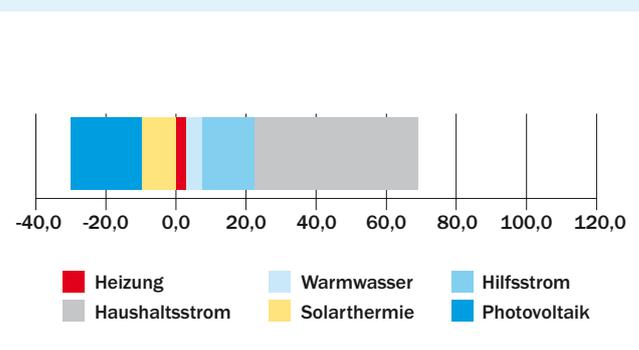
Und irgendwie tut es auch ganz gut, dass für das Gebäude der Augsburger Zukunftspreis 2009 verliehen wurde – oder wenn

Projektdaten

Objekt	Plushaus in Passivhausbauweise in Augsburg-Hochzoll
Wohn-/Nutzfläche	Wohnfläche: 210,42 m², Nutzfläche im KG: 111 m², Energiebezugsfläche PHPP: 273,26 m²
Konstruktion	
Außenwand	Kalkgipsputz, 17,5 cm Kalksandstein, 30 cm WDVS mit Polystyrol, $\lambda = 0,032 \text{ W/(mK)}$, $U = 0,10 \text{ W/(m²K)}$
Bodenplatte	5 cm Zementestrich auf Trennlage, 3 cm Trittschalldämmung, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 10 cm XPS-Dämmung, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, Bitumenabdichtung, 25 cm Stahlbetonbodenplatte, 24 cm XPS-Dämmung (2 x 12 cm), $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, $U = 0,10 \text{ W/(m²K)}$
Dach	2 x 2,5 cm GK-Platte, Installationsebene mit 9 cm Dämmung, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 2,5 cm OSB-Holzwerkstoff, feuchteadaptive Dampfbremse, Holzstegträger 401 mm gedämmt mit Zellulosefaser, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 2,5 cm OSB-Holzwerkstoff, 3 cm Mineralwolle, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, Abdichtung mit extensiver Dachbegrünung bzw. mit Photovoltaik-Modulen, $U = 0,08 \text{ W/(m²K)}$
Fenster	Holz-Alu-Fenster mit Dreifachwärmeschutzverglasung, $U_f = 0,73 \text{ W/(m²K)}$, $U_g = 0,6 \text{ W/(m²K)}$, g-Wert 0,61, Glasrandverbund $\psi = 0,032 \text{ W/(mK)}$, $U_w = 0,77 \text{ W/(m²K)}$
Eingangstür	Holztür Passivhaus zertifiziert, Fabrikat: Variotec
Wärmebrücken	In der Gesamtbilanz wärmebrückenfreie Konstruktion
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$
Gebäudetechnik	
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Fabrikat: Sachsenland Bauelemente Innoair 255 DC (zertifiziert), Lüftungsvolumen 225 m³/h (30 m³/h pro Person bei Vollbelegung), ca. 65 m Erdreichwärmetauscher DN 200
Heizung und Warmwasser	Pelletprimärofen im Wohnzimmer, automatisch beschickt, in Verbindung mit einem Pufferspeicher im Keller, Fußbodenheizung mit individueller Temperierung der Räume, Solarthermische Fassadenkollektoren
Sanitärbereich	Regenwassernutzung
Photovoltaik	PV-Anlage mit 2,6 kW _{peak} in die Dachbahn integriert
Baujahr	Fertigstellung 6/2008
Architekten	Architekturbüro Friedl, MSc. Ing. arch. Werner Friedl, 86559 Adelshausen, www.architekt-friedl.de
Planung Gebäudetechnik	Ing.-Büro Kunkel, 08058 Zwickau, www.ibkunkel.de
Sonstiges	zertifiziert durch das Passivhaus Institut Darmstadt, Zukunftspreis der Stadt Augsburg 2009



Energetische Bilanzierung des Heizwärmebedarfs: Gewinne und Verluste [kWh/(m²a)]

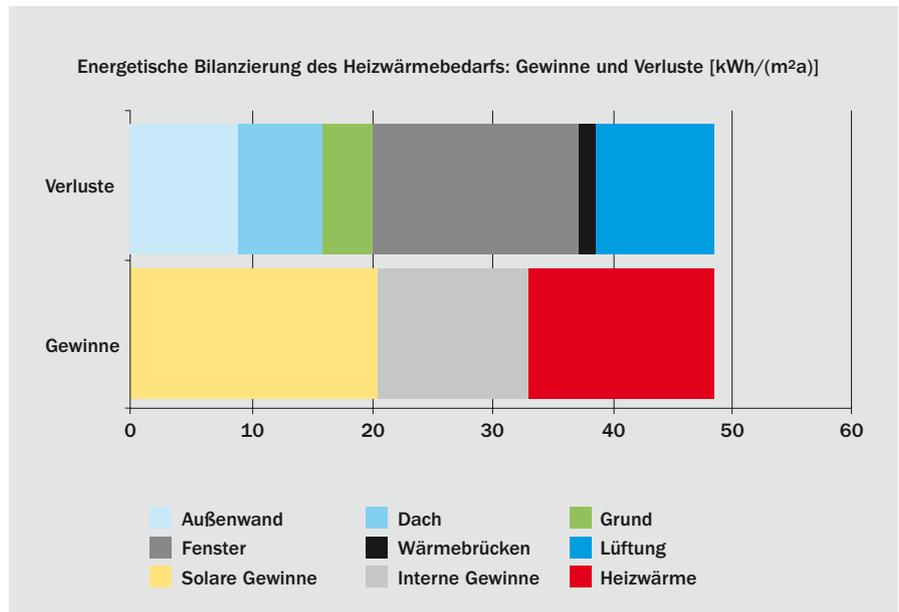


Primärenergiebilanz (Bereiche Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom weisen eine Plusenergiebilanz auf)

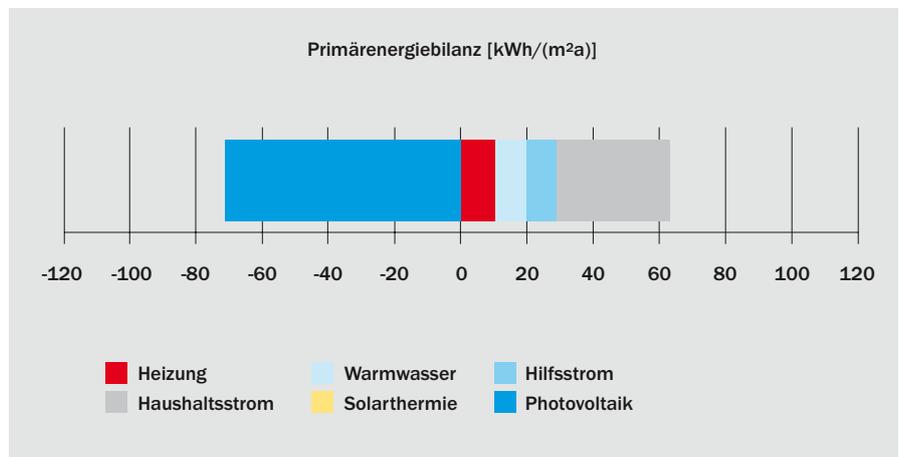
ENERGETISCHE BERECHNUNG

Für den Energiebedarf eines Gebäudes werden bereits beim Vorentwurf die wichtigsten Festlegungen getroffen. Deshalb sollte schon in diesem Stadium eine begleitende Untersuchung zur thermischen Bauphysik und zum Jahresheizwärmebedarf durchgeführt werden. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) verlangt den Nachweis nach DIN V 18599. Für Wohngebäude ist alternativ auch das Berechnungsverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6 möglich. Baulicher Wärmeschutz und Heizungsanlagentechnik können auf diesem Weg simuliert werden. Wenn es allerdings darum geht, ein sehr energieeffizientes Gebäude zu optimieren, so müssen die spezifischen Anforderungen durch den Rechengang präzise beschrieben werden. Für Kennwerte im Bereich des Passivhauses hat sich seit Jahren das Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) in der Praxis bewährt. Bei mehreren hundert Gebäuden wurden Rechenergebnisse durch später durchgeführte Energieverbrauchs-Messungen bestätigt. Es handelt sich um ein Excel-Programm auf Grundlage der EN 832, bei dem zunächst wie bei den Rechenwegen nach EnEV zur Ermittlung der Transmissionswärmeverluste die Außenoberflächen der Wärme übertragenden Gebäudehülle mit Bauteilaußenmaßen sowie die entsprechenden U-Werte eingegeben werden. Sehr genau können dabei zur Ermittlung der solaren Gewinne die Rahmenbedingungen der Fenster inklusive der vorliegenden Verschattung erfasst werden.

Wärmebrücken werden mit ihren Wärmebrückenverlustkoeffizienten längenbezogen eingegeben. Lüftungswärmeverluste und interne Gewinne sind auf einfachem, aber sehr präzisiertem Weg ermittelbar. Dabei sind Standardwerte im Programm vorgegeben, die jedoch alternativ mit sehr hoher Tiefenschärfe individuell ermittelt werden können und somit die Spezifika des Passivhauses sehr genau abbilden. Aus diesen Eingaben ergeben sich u.a. der Jahresheizwärmebedarf, dessen Bilanzierung in der Abbildung dargestellt wird, sowie die Heizwärmelast und eine Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Energiebezugsfläche, also der tatsächlich beheizten Fläche. Darüber hinaus sind Rechenblätter zur Ermittlung des Warmwasserbedarfs sowie des Hilfs-



Jahres-Heizwärmebilanz für ein charakteristisches Passivhaus: Den Transmissionswärmeverlusten durch Wand, Grund, Dach, Fenster und Wärmebrücken und Lüftungswärmeverlusten stehen die nutzbaren Gewinne gegenüber: solare Gewinne, interne Wärme und der resultierende Heizwärmebedarf, der beim Passivhaus unter 15 kWh/(m²a) liegt.



Primärenergiebilanz in kWh/(m²a) am Beispiel des Kindergartens in Wiernsheim: Durch die Photovoltaikanlage auf dem Dach wird ein höherer jährlicher Ertrag bereitgestellt als der gesamte Energiebedarf des Gebäudes für Heizen, Kühlen, Warmwasser, Hilfsstrom und Strom für Beleuchtung und Geräte ausmacht.

und Haushaltsstrombedarfs enthalten. Als Ergebnis werden Primärenergiekennwert und CO₂-Emissionen ermittelt.

PLUSENERGIETECHNIK

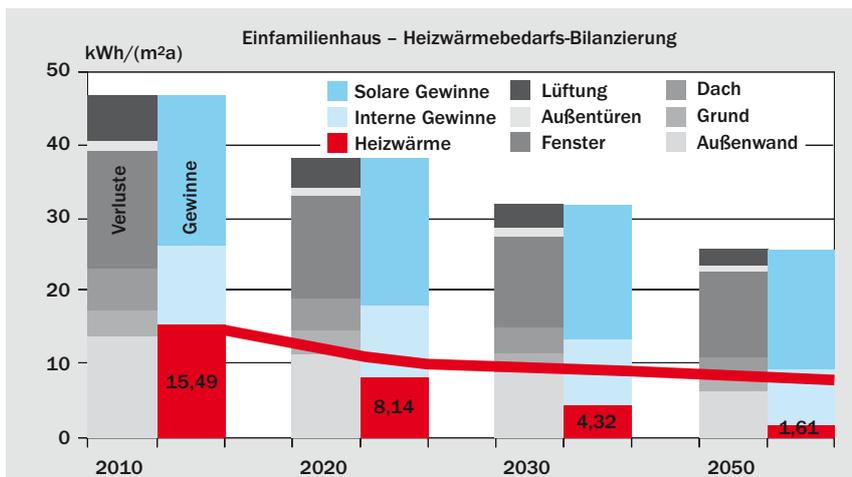
Die hohe Effizienz von Passivhäusern ermöglicht es auf wirtschaftliche Art und Weise, eine Plusenergiebilanz für das Gebäude zu erzielen. Dazu ist es förderlich, Heizwärme- und Warmwasserbedarf

mit regenerativ hochwertigen Techniken mit günstigem Primärenergiekennwert bereitzustellen und darüber hinaus Strom mit erneuerbaren Techniken zu erzeugen. Ein Plusenergiehaus kann dies innerhalb seiner Gebäudestrukturen, z.B. in Form von Photovoltaik im Dach und ggf. Wandbereich erbringen. Die Abbildungen auf der nächsten Seite stellen dar, wie sich die Techniken vermutlich innerhalb der nächsten Jahrzehnte weiter entwickeln

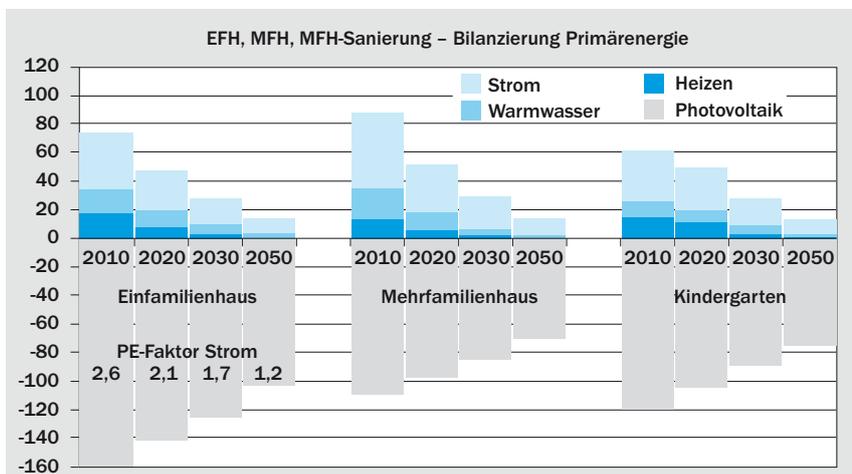
werden: Gebäude werden zunehmend mehr Energie ins Netz liefern. Die Berechnung erfolgte beispielhaft für charakteristische Gebäude unter alleiniger Nutzung der Dachfläche mit leicht südlich geneigter Pultdachform für Photovoltaik. Es ist erkennbar, dass nicht nur der Bedarf für Heizen, Warmwasser und Strom abgedeckt wird, sondern zudem Ressourcen z.B. für den Verkehr zur Verfügung stehen.

Bei der Definition der Plusenergie-technik muss bedacht werden, dass es zwar sinnvoll ist, einen großen Teil der Energie direkt mit dem Gebäude zu gewinnen. Die Bilanzgrenze kann jedoch ebenso in einer städtebaulichen Struktur oder einer Region liegen. De facto sind die Grenzen international, da ein übereuropäisches Verbundnetz zunehmend Realität wird. Je umfassender dieses zunehmend

regenerative Netz hinsichtlich seiner Technikauslegung ist, desto einfacher ist es möglich, die Energieanforderungen in ihrem Tages- und Jahresgang kontinuierlich umfassend regenerativ bereit zu stellen. Die Energieversorgung der Zukunft wird zu großen Teilen mit gestalterisch und technisch hochwertigen Lösungen innerhalb der Siedlungsstrukturen und der einzelnen Häuser funktionieren. Dabei ist der richtige regenerative Mix der Versorgung mit Photovoltaik und klein strukturierten regenerativen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Verbindung mit Windkraft, Wasser- und Gezeitenkraftwerken verschiedener Ausprägung bis hin zu geothermischer und solarthermischer Stromerzeugung erforderlich. Die Regelung über einen Netzverbund ermöglicht mit der hohen Anzahl von dezentralen Anlagen eine kontinuierliche und krisensichere Energieversorgung.



Entwicklung eines Passivhauses bis 2050 unter Anwendung innovativer Komponenten und voraussichtliche wirtschaftlich optimale Entwicklung des Heizwärmebedarfs (rote Linie)



Technisch absehbare Entwicklung für die Primärenergiebilanz: Neubauten werden zunehmend zu Energielieferanten, die erneuerbar erzeugte Energie überwiegt den Bedarf.

SOLARSIEDLUNG WISMARWEG

PASSIVHÄUSER IN MÜNSTER IM GLEISDREIECK

Das Grundstück des Wohnungsvereins Münster stellte für die Planer eine große städtebauliche Herausforderung dar: Innerhalb der Gabelung von zwei Bahnstrecken sollten Mietwohnungen gebaut werden. Östlich war ein Abstand von 30 m zum Grundstück gegeben, westlich etwa 100 m, und 200 m südlich laufen die Bahnlinien zusammen. Schallschutz war ein zentrales Anliegen des Entwurfs: Einerseits musste mit schweren Bauteilen der bauliche Schallschutz gelöst werden, auf der anderen Seite für die Mieter die Möglichkeit geschaffen werden, bei geschlossenen Fenstern zu wohnen und zu schlafen. Auf Grund dessen war ohnehin die Anforderung einer Zu-/Abluftanlage gegeben. Die Architekten machten aus der Not eine Tugend und konnten den Bauherrn leicht überzeugen, die noch fehlenden Verbesserungen zum Erreichen des Passivhaus Standards mit eher geringen



Dipl.-Ing. Architekt
Christoph Thiel

Mehrkosten einzuplanen. Darüber hinaus wurde für die Wärmeversorgung eine großvolumige Solarthermieanlage konzipiert, so dass die Wohnanlage in das Förderprogramm der Solarsiedlungen in NRW aufgenommen werden konnte. Mit nur sieben Prozent Mehrinvestition wurde ein energetisches Modellprojekt ermöglicht, das zudem für die Mieter ein hohes Maß an Behaglichkeit und Wohnkomfort bietet.



Gebäudehülle & Konstruktion

Das Gebäude wird intensiv durch die Wandkonstruktionen geprägt: Der nördlich situierte Eingangsbereich besteht aus zweischaligem Mauerwerk, einer Konstruktion, die im Münsterland nahezu unumgänglich ist. Dabei erzielte der Architekt eine relativ schlanke Lösung durch den Einsatz von Kalksandstein-Planelementen mit nur 15 cm Dicke, einer zweilagigen Polyurethan-Hartschaumstoffdämmung mit 18 cm und $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{mK})$, einem Fingerspalt von 2 cm sowie dem Verblendmauerwerk von 11,5 cm, das durch horizontal unterschiedliche Farbgebungen gestaltet wird – bis hin zu Farbwechseln bei der Verfüugung. Der U -Wert beträgt $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Wandkonstruktion auf der Gartenseite besteht aus den gleichen Planelementen. Darauf wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrolämmplatten, 20 cm dick, $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{mK})$, aufgebracht mit einem resultierenden U -Wert von



Nordansicht (Bauphase)



Holz-Alu-Fenster mit Dreischeibenverglasung und vorgesetzter Glasebene zur Integration des Verschattungselements

0,15 W/(m²K). Auf den Nord- und Westwänden beträgt die Dämmstärke 26 cm mit einem U-Wert von 0,12 W/(m²K).

Durch diese Konstruktionen wird ein hervorragender Schallschutz realisiert. Zur Bahnlinie nach Osten wird neben klein dimensionierten Fenstern eine schräge Stahlbetonwand eingesetzt, die nach oben hin in einen runden Bogen übergeht. Sie symbolisiert den Schallschutz zur Bahnlinie auch architektonisch. Die Vorsatzschale wurde mit einer Holzunterkonstruktion und einer Mineralwolldämmung 38 cm $\lambda = 0,035$ W/(mK) ausgeführt. Darauf kommt eine Schalung mit einer Stehfalzdeckung in Titanzink. Die Konstruktion weist einen U-Wert von 0,098 W/(m²K) auf.

Die Gebäude sind bis auf den Gebäudetechnikbereich nicht unterkellert. Die Bodenplatte ist eine Stahlbetonkonstruktion mit 25 cm. Sie liegt auf einer vorkonfektionierten 30 cm dicken Dämmung. Auf der Stahlbetonplatte befinden sich Ausgleichs- und Trittschalldämmung unter Estrich. Die Böden sind mit einem hochwertigen Parkett bzw. in den Feuchträumen und Küchen mit Fliesen belegt. Das Ergebnis für den U-Wert beträgt 0,10 W/(m²K).

Das Pultdach weist eine zimmermannsmäßige Sparrenkonstruktion mit 30 cm Mineralwolldämmung auf. Innenseitig schließt zunächst die luftdichtende Ebene mittels Dampfbremssfolie an und dann eine Installationsebene mit nochmals 6 cm Dämmung. Die Verkleidung erfolgte mit Gipskartonplatten. Oberhalb der Sparrenkonstruktion befinden sich eine Dachunterdeckplatte aus 6 cm dicken Holzweichfaserplatten sowie eine Betonsteindeckung auf Lattung und Konterlattung. Der U-Wert beträgt 0,10 W/(m²K). Das Flachdach ist als Warmdach auf einer Stahlbetondecke konzipiert.

Die Auswahl der Fenster erfolgte nach umfassenden Nachhaltigkeitskriterien.



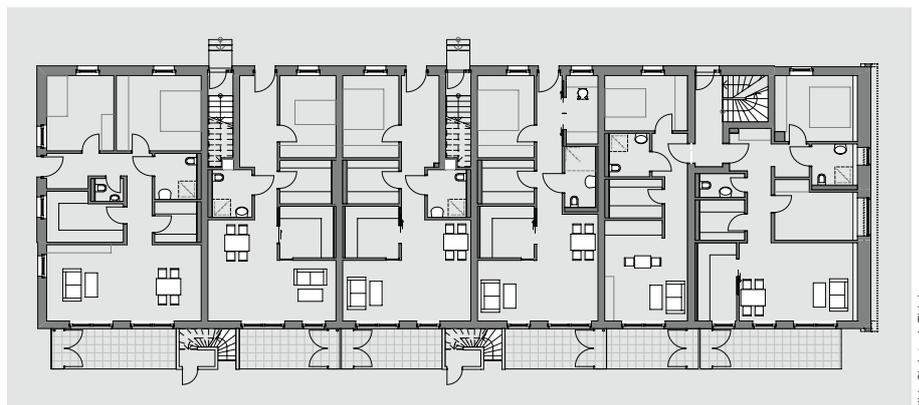
Teilansicht Nordwest



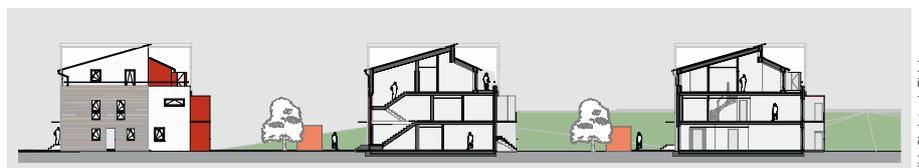
Ansicht Süd (Bauphase)



Rohbau



Regelgrundriss



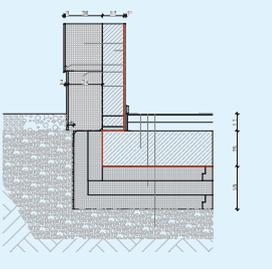
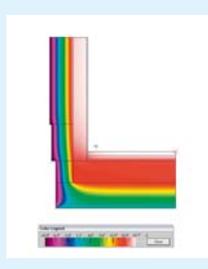
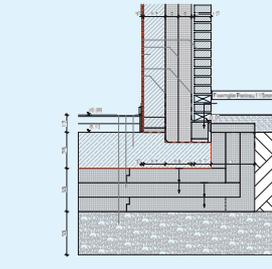
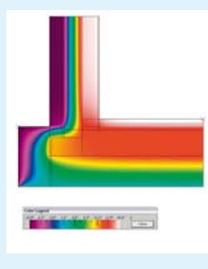
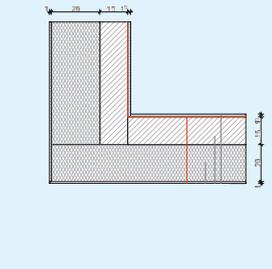
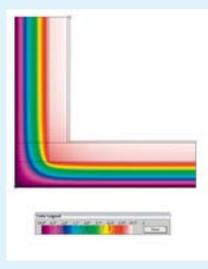
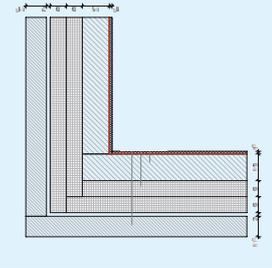
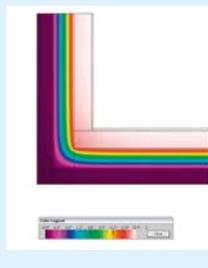
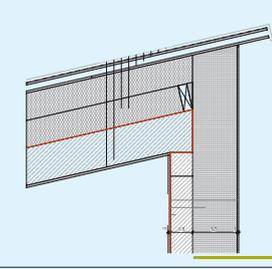
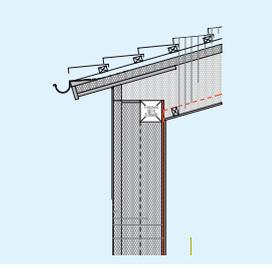
Schnitt

Langlebigkeit, Wartungsfreundlichkeit, Schallschutz und die Aspekte des winterlichen- und sommerlichen Wärmeschutzes wurden gleichermaßen betrachtet. Die Wahl fiel auf Holz/Alu-Verbundfenster mit Dreifachverglasung auf dem Innenverbund und einer hinterlüfteten Einfachverglasung außenseitig. Im Verbundzwischenraum befindet sich das elektrisch betriebene Verschattungselement. Die Werte für U_f betragen 0,89 W/(m²K), für $U_g = 0,59$ W/(m²K) mit einem Glasrandverbund $\Psi = 0,035$ W/(mK). Zum Erreichen eines guten g-Wertes von 0,57 musste bei den vier Scheiben Weißglas eingesetzt wer-

den. Der resultierende U_w -Wert beträgt 0,83 W/(m²K).

Für die Wärmebrücken erfolgten im Rahmen der PHPP-Berechnung Einzelermittlungen sowie Wärmebrückenberechnungen nach dem Wärmebrückenprogramm „Therm 5.2“ für die relevanten Details. In der Tabelle werden die Details für die zwei Sockelkonstruktionen, Außenecken und Dachabschlüsse den Isothermendarstellungen gegenüber gestellt und die berechneten Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ -Werte) benannt.

Wärmebrücken

Detail	Isothermendarstellung	ψ Wert
		Detail Sockel WDVS $\psi = -0,013 \text{ W/(mK)}$
		Detail Sockel Verblender $\psi = 0,018 \text{ W/(mK)}$
		Detail Außenwanddecke WDVS $\psi = -0,053 \text{ W/(mK)}$
		Detail Außenwanddecke Verblender $\psi = -0,068 \text{ W/(mK)}$
		Detail Pult Kopfbau $\psi = -0,050 \text{ W/(mK)}$
		Detail Traufe Hauptdach $\psi = -0,049 \text{ W/(mK)}$

Luft- und Winddichtheit wurden durch Blower-Door-Tests überprüft, wobei jeweils ein Baukörper mit den bis zu fünf Aufgängen in der Gesamtheit gemessen wurde, weil über die Lüftungsanlage ein Verbund zwischen den Häusern besteht. Es wurde der geforderte n_{50} -Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$ eingehalten.



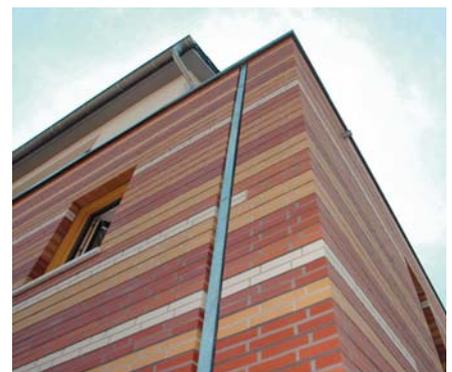
Lüftung, Heizung & Warmwasser

Die Lüftungszentralen sind zentral je Gebäude positioniert und werden mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Fabrikat Aerex betrieben. Die horizontale Verteilung verläuft im Bereich der abgehängten Decke der Dachgeschosswohnungen. Da es sich um Gebäude geringer Höhe handelt, sind die Brandschutzanforderungen an die Anlage eher gering. Es wurde jedoch ein Brandschutzkonzept mit erhöhten Sicherheitsstandards durchgeführt.

Die Wärmebereitstellung für Heizung und Warmwasser erfolgt durch einen Pelletsessel mit 40 kW Leistung in Verbindung mit einer Solarthermieanlage. Die Kollektoren mit einer Gesamtfläche von 100 m^2 sind auf den beiden nördlichen Gebäuden jeweils auf den Süddächern untergebracht. Die Solarspeicher haben ein Volumen von 6000 l .



Technikzentrale mit Pelletsessel



Fassadendetail Verblender

Resümee

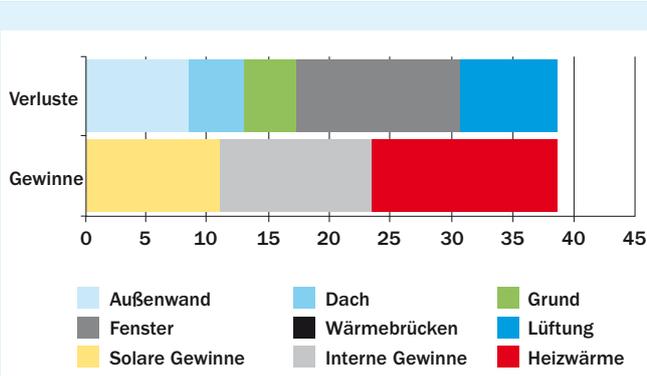
Bei der Wohnanlage wird eine Win-Win-Situation für alle Beteiligten erzielt: Der Wohnungsverein Münster kann als Bauherr hochqualitative Wohnungen in

einer ehemals städtebaulich schwierigen Situation anbieten, die Mieter bekommen zu sehr günstigen Mieten einen überdurchschnittlich komfortablen Wohnraum und die Architekten haben ein gestalterisch

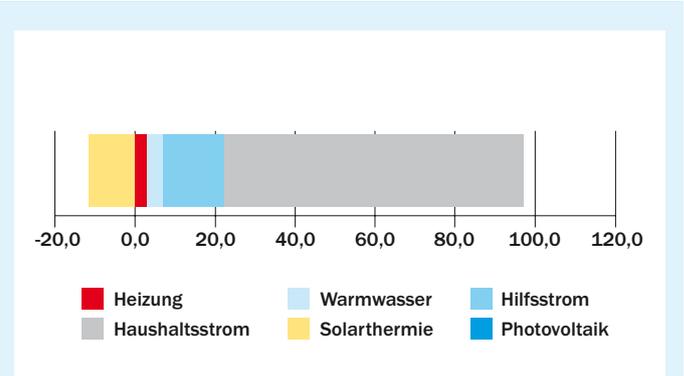
hochwertiges Projekt geschaffen mit hoher Zukunftsfähigkeit, das bereits während der Bauzeit eine große Zahl von Interessierten anzieht und Modellcharakter weit über Münster hinaus haben wird.

Projektdaten

Objekt	Solarsiedlung Wismarweg in Münster
Bauherr	Wohnungsverein Münster von 1893 eG
Wohn-/Nutzfläche	WF: 3337 m ² (39 Mietwohnungen von 49 m ² bis 122 m ²)
Konstruktion	
Außenwand	Zweischaliges Mauerwerk, Verblender mit Kerndämmung: 1,5 cm Innenputz, $\lambda = 0,70$ W/(mK), 15 cm Kalksandstein-Planelemente, $\lambda = 1,10$ W/(mK), Kerndämmplatte aus 2 x 9 cm Polyurethan-Hartschaumstoff, $\lambda = 0,024$ W/(mK), 2 cm Fingerspalt, $\lambda = 0,108$ W/(mK), 11,5 cm Verblendmauerwerk, $\lambda = 1,10$ W/(mK), U-Wert = 0,123 W/(m²K) 1,5 cm Innenputz, Mauerwerk mit WDVS, $\lambda = 0,70$ W/(mK), 15 cm Kalksandstein-Planelemente, RDK = 1, $\lambda = 1,10$ W/(mK), 20 bis 26 cm Polystyrol-Dämmung, verschiedene Dämmstärken je nach Fassadenausrichtung, $\lambda = 0,032$ W/(mK), 1 cm Außenputz, $\lambda = 0,7$ W/(mK), U-Wert = 0,152 bis 0,118 W/(m²K)
Bodenplatte	1 cm Parkett, $\lambda = 0,13$ W/(mK), 4,5 cm Estrich, $\lambda = 1,05$ W/(mK), 6 cm Dämmung, $\lambda = 0,035$ W/(mK), 25 cm Stahlbetonbodenplatte, $\lambda = 2,50$ W/(mK), 30 cm Polyurethan-Dämmung (Lohr-Element), $\lambda = 0,038$ W/(mK), U-Wert = 0,10 W/(m²K)
Dach	Pultdach: 1,25 cm Gipskarton, Installationsebene mit 6 cm Mineralwolle, $\lambda = 0,035$ W/(mK), Dampfbremsfolie, Sparren und 30 cm Mineralwollendämmung, $\lambda = 0,035$ W/(mK), 6 cm Dachunterdeckplatte, $\lambda = 0,045$ W/(mK), 4 cm Grundlattung, Dachdeckung mit Konterlattung, U-Wert = 0,10 W/(m²K)
Fenster	Holz/Alu-Verbundfenster mit Dreifachverglasung mit integriertem Sonnenschutz, witterungsgeschützt durch eine vierte Glasscheibe, $U_f = 0,89$ W/(m ² K), $U_g = 0,59$ W/(m ² K), g-Wert 0,57, Glasrandverbund $\psi = 0,035$ W/(mK), $U_w = 0,83$ W/(m ² K), Schallschutzwert 43 dB
Eingangstür	Holz/Aluminium-Haustür mit Passivhauszertifikat, Plattenkonstruktion im Werkstoffverbund Holz/Aluminium/Thermoschaum mit Holz- und Phenolplatteneinlagen, U_b -Wert = 0,86 W/(m ² K)
Wärmebrücken	Detaillierte Ermittlung der Wärmebrücken mit „Therm 5.2“
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} < 0,6$ h ⁻¹
Gebäudetechnik	
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Fabrikat: Aerex Lüftungsvolumen 1490 m ³ /h (30 m ³ /h pro Person bei Vollbelegung)
Heizung und Warmwasser	Pelletanlage 40 kW, Solarthermie 100 m ² Flachkollektoren mit Pufferspeicher (Volumen 6000 l), Fabrikat: Wagner
Übertragung Heizwärme	Über Lüftungsanlage (Nachheizregister) und Badheizkörper
Sanitärbereich	Frischwarmwasserstation, Besonderheit: Regenwassernutzung für die Toilettenspülung, Bunker aus dem 2. Weltkrieg dient als Zisterne
Baukosten	1538 €/m ² Wohn-/Nutzfläche (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.)
Baujahr	Fertigstellung 8/2010
Architekten	Architekturbüro Thiel, 48143 Münster
Planung Gebäudetechnik	KSK-Ingenieurplanung, 48167 Münster Ingenieurbüro Moorhenne & Partner GbR, 42277 Münster Ingenieurbüro Kunkel, 08058 Zwickau
Sonstiges	zertifiziert durch das Passivhaus Institut Darmstadt



Energetische Bilanzierung des Heizwärmebedarfs: Gewinne und Verluste [kWh/(m²a)]



Primärenergiebilanz (Bereiche Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom weisen eine Plusenergiebilanz auf)

RAUMLUFTQUALITÄT UND LÜFTUNG

Die Lüftung von Gebäuden erfüllt vor allem zwei Aufgaben:

- Frischluftzufuhr zum Ausgleich von Schadstoffbelastungen durch
 - Schadstoffe aus Baumaterialien, insbesondere Ausbaumaterialien, Einrichtungsgegenständen und Möbeln,
 - Luftverunreinigungen durch Hausstaub,
 - nutzerbedingte Belastungen aus Haushaltsgegenständen, Lagerung und Zubereitung von Lebensmitteln, Haushaltschemikalien,
 - Stoffwechselprodukte der Nutzer aus Atmung, Transpiration etc.
- Regulierung der Raumluftfeuchtigkeit durch
 - Begrenzung der relativen Luftfeuchte auf einen behaglichen und gesundheitsverträglichen Bereich von 30 bis 65 % relativer Feuchte,
 - Abtransport der in den Räumen anfallenden (Wohn-)Feuchte,
 - Vermeidung von Kondensatanfall und Schimmelbildung an Bauteilen.

Manuelle Fensterlüftung kann diesen Aufgaben nur bedingt gerecht werden. Durch Erfahrungen mit gut ausgeführten Lüftungsanlagen und zahlreiche Vergleichsmessungen hinsichtlich der Raumluftqualität hat sich in den letzten Jahren zunehmend die Fachmeinung etabliert, dass bei Neubauten und Modernisierungen grundsätzlich ventilatorgestützte Lüftungsanlagen installiert werden sollten. Dies spiegelt sich auch in der DIN 1964-6 wider. Sie verlangt grundsätzlich die Erstellung eines Lüftungskonzepts für Neubauten und für Renovierungen für den Fall, dass im Ein- und Mehrfamilienhaus mehr als 1/3 der vorhandenen Fenster ausgetauscht bzw. im Einfamilienhaus mehr als 1/3 der Dachfläche neu abgedichtet wird. Dabei wird unterschieden nach

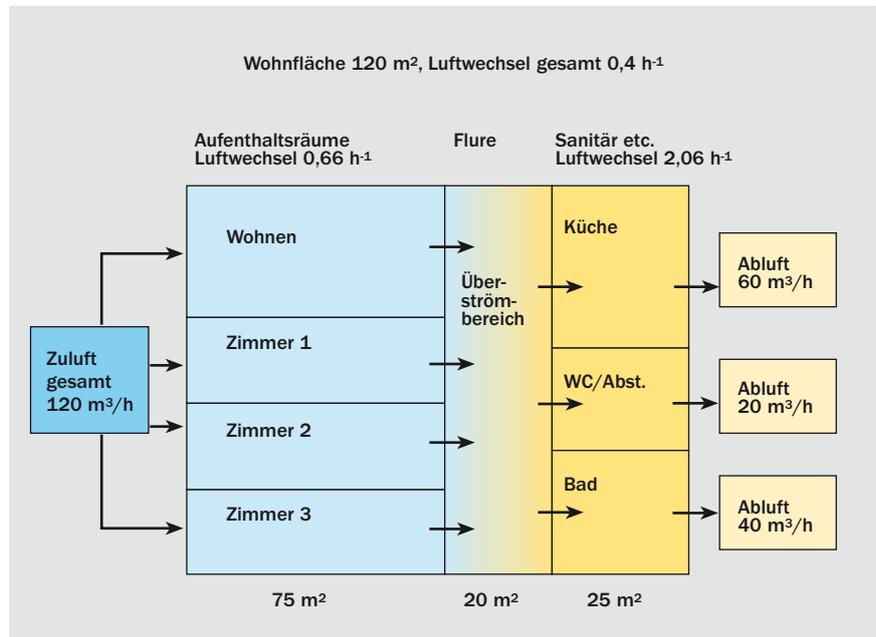
- Feuchteschutz: Unter üblichen Nutzungsbedingungen müssen die Anforderungen ständig und nutzerunabhängig sicher gestellt sein.
- Reduzierte Lüftung: zur Gewährleistung des hygienischen Mindeststandards. Diese Stufe muss ebenfalls weitestgehend unabhängig von den Nutzern sein.

- Nennlüftung: notwendige Lüftung zur Gewährleistung der hygienischen und gesundheitlichen Erfordernisse sowie des Bautenschutzes bei Normalnutzung der Wohnung. Dazu kann der Nutzer teilweise mit aktiver Fensterlüftung herangezogen werden.
- Intensivlüftung: Zum Abbau von Lastspitzen (z.B. durch Kochen, Waschen) kann der Nutzer ebenfalls teilweise mit aktiver Fensterlüftung herangezogen werden.

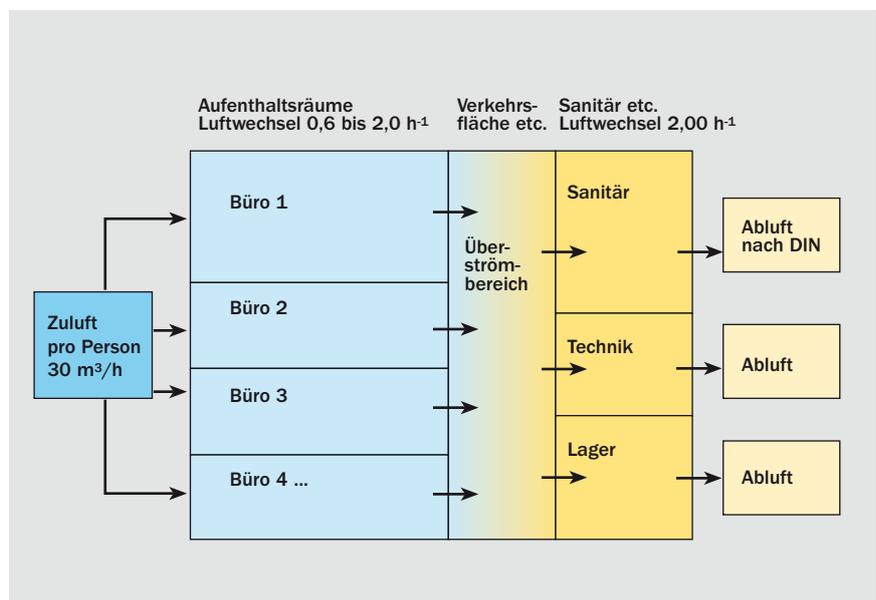
Die Anforderungen sind so formuliert, dass eine wirkliche Planungssicherheit vor allem durch ventilatorgestützte Systeme erzielt wird.

Bei der Auslegung von Lüftungsanlagen müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Ausschlaggebend ist der Kohlendioxidgehalt der Raumluft, weil dieser Wert durch die Nutzer verursacht und



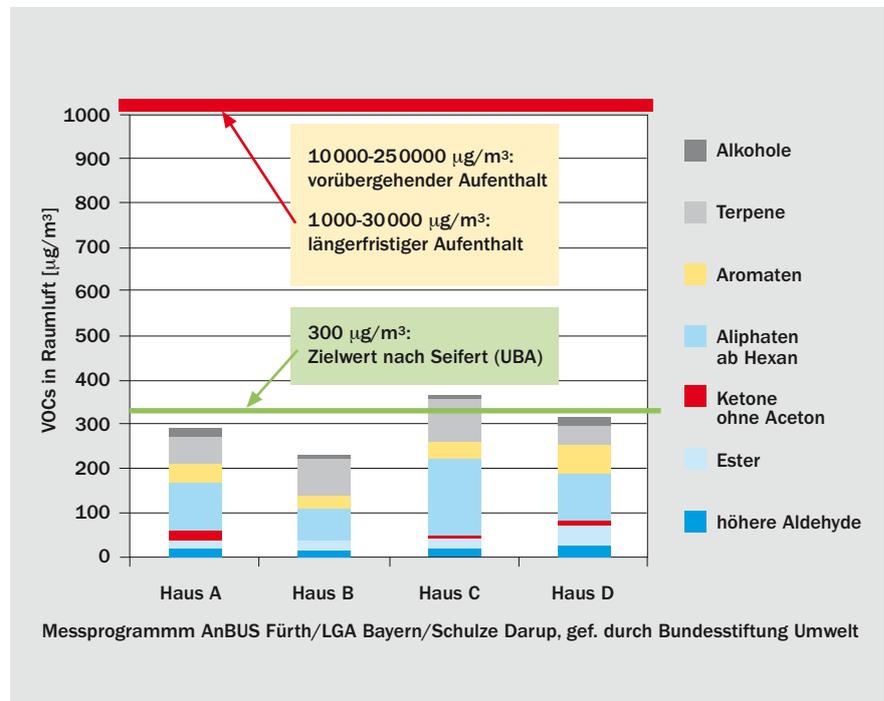
Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung: Auslegungsschema für eine Wohnung



Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung: Auslegungsschema für ein Büro

nicht veränderbar ist. Ein CO₂-Gehalt von 1000 ppm (Pettenkofer-Wert) bzw. 1500 ppm nach Norm sollte nicht überschritten werden. Bei völliger Ruhe sind dazu für einen erwachsenen Menschen etwa 20 m³ Frischluft pro Stunde erforderlich, bei leichter Arbeit etwa 30 m³. Damit korrespondiert die Mindestanforderung DIN 1946 Teil 6 von 30 m³ Frischluft pro Stunde für jede Person bei normaler Betätigung.

- Schadstoffe und Gesundheit beeinträchtigende Einflüsse müssen so gering gehalten werden, dass durch den festgelegten Luftwechsel Restschadstoffe ausreichend abgeführt werden.
- Es muss dafür gesorgt werden, dass eine ausreichende Durchströmung jedes einzelnen Raumes entsprechend seiner Nutzung gegeben ist. Am Beispiel einer Wohneinheit mit 120 m² Wohnfläche wird das Lüftungskonzept dargestellt. Die frische Außenluft wird in die Aufenthaltsräume geführt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Räume möglichst vollständig durchlüftet werden und möglichst keine Kurzschluss-Luftströme entstehen. Der Zuluftbereich hat in diesem Fall eine Fläche von etwa 75 m², was bei 120 m³/h einem mittleren Luftwechsel von 0,66 h⁻¹ entspricht. Das entspräche bei manueller Lüftung einer ausgiebigen Querlüftung alle eineinhalb Stunden, was Mietern gerichtlich attestiert nicht zugemutet werden kann. Die Luft wird durch den Überströmbereich (Flure, Treppenraum, Nebenräume, ungenutzte Teile von offenen Wohnräumen) in die Abluftbereiche geleitet. Die Lüftungsanforderungen werden dort vollständig erfüllt: Küche 40 bis 60 m³/h, Bad 40 m³/h und WC 20 m³/h. Der Luftwechsel über die gesamte Fläche beträgt im vorliegenden Fall etwa 0,4 h⁻¹. Bei kleineren Wohneinheiten mit höherer Belegungsdichte pro m² ist von höheren Raten auszugehen, bei großzügigen Wohnungen oder Häusern mit geringer Personenbelegung kann bis zu einem Wert von 0,3 h⁻¹ reduziert werden.



Messergebnisse Passivhäuser Nürnberg: Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) [1]. Die Ergebnisse liegen sehr viel niedriger als der strenge Zielwert.

- Bei Nicht-Wohnnutzungen gilt das Prinzip in gleicher Form: Qualität und Energieeffizienz eines Lüftungssystems hängen davon ab, wie geschickt Zuluftbereich (Arbeitsbereich, Aufenthaltsräume), Überströmzone und Abluftbereich festgelegt werden (Sanitär-, Neben-, Technikräume und vor allem Räume mit hoher interner Wärmelast zur Reduktion der sommerlichen Kühllast).

Lüftungsanlagen sollten den gewünschten Luftwechsel regelungstechnisch in möglichst einfacher Form erfüllen. In Abhängigkeit von Nutzung und Belegungsdichte kann die geförderte Luftmenge geändert werden. Bei Wohnnutzung reicht im Allgemeinen eine Zwei- bis Drei-Stufen-Regelung mit Auslegungsvolumen, abgesenktem Betrieb und Bedarfslüftung, wobei letztere auch durch manuelle Fensterlüftung leistbar ist, um kostengünstige Konzepte, z.B. im Geschosswohnungsbau, zu erhalten.

Bei komplexeren Anlagen kann die Stimmigkeit der Regelung sehr stark über das Funktionieren des Energiekonzepts entscheiden. So kann bei Büronutzung

außerhalb der Betriebszeiten eine starke Absenkung bis hin zur Abschaltung gewählt werden.

Für Schulen sollte eine genaue Überprüfung des Bedarfs durchgeführt werden. Es gibt mehrere gut gelungene Lüftungskonzepte mit Auslegungsvolumina von 15 bis knapp über 20 m³ pro Stunde und Schüler. Großzügigere Anlagen verteuern die Investitionskosten deutlich und sind hinsichtlich der Luftbewegungen und Geräuschentwicklung deutlich schwieriger zu planen. Beachtung finden muss in diesem Fall die Unterbringung z.B. von Mänteln und Jacken, die bei feuchtem Wetter zu einer hohen Feuchtebelastung im Raum führen können, wenn sie in den Klassenzimmern untergebracht werden. Sinnvoll ist die Abluftabsaugung direkt unter bzw. hinter der Garderobe.

Bei zahlreichen Raumluftmessungen wurde belegt, dass durch ventilatorgestützte Lüftungsanlagen die Raumluftqualität signifikant verbessert wird.

Die Abbildung zeigt die Messwerte von vier Passivhäusern, bei denen hervorragende Raumluftqualität festgestellt wurde.

MEHRFAMILIENHAUS
ERDMANNSTRASSE 14-16

PASSIVHÄUSER IN HAMBURG-OTTENSEN

Ein paar hundert Meter östlich des Bahnhofs Altona im Herzen des Hamburger Stadtteils Ottensen wurde nördlich der Erdmannstraße ein ehemals gewerblich genutztes Hofgrundstück im Blockinneren durch den Altonaer Spar- und Bauverein mit hochwertigen verdichteten Geschosswohnungen bebaut. Die Planung durch Beata Huke-Schubert, die zahlreiche Gemeinschaftsbauvorhaben in Hamburg begleitet hat, und Steffen Berge mit großem Erfahrungshintergrund im nachhaltigen und energieeffizienten Bauen. Das Ergebnis stellte eine hochqualitative Lösung dar, die Bezug nimmt auf die gründerzeitliche städtebauliche Situation und zugleich attraktiven innerstädtischen Wohnraum schafft. Es werden ruhige Wohnungen für unterschiedliche Nutzergruppen mit Stadthauskonzepten für Familien verbunden. Die Freiflächen im Blockinneren bilden eine Ruhezone inmitten des urbanen Umfeldes.



Beata Huke-Schubert



Steffen Berge



Gebäudehülle & Konstruktion

Die statische Funktion der Gebäude wird durch die Kalksandstein-Schottenwände übernommen. Die Außenwände wurden nicht tragend aus Kalksandstein mit 11,5 cm Dicke ausgeführt. Auf Grund zahlreicher Durchdringungen der ursprünglich geplanten Luftdichtheitsebene des Innenputzes wurde zur erhöhten Sicherheit eine adaptive Dampfsperre auf der Außenseite des Mauerwerks als einfach aufzubringende Luftdichtheitsebene gewählt. Diese wurde direkt mit den Fenstern verklebt. Die Vorhangfassade wurde zur Reduzierung der Wärmebrückeneffekte mittels TJI-Trägern mit Mineralwolldämmung abgedeckt und durch eine diffusionsoffene Unterspannbahn erstellt. In Abhängigkeit von den Brandschutzanforderungen wurden darauf zementgebundene Spanplatten (B1) bzw. Eternit Duripaneel 22 m (A2) montiert. Auf einer Unterkonstruktion aus Alu-Z-Profilen mit 3 cm Hinterlüftungsebene erfolgte

Die Blockkernbebauung ermöglicht einen Durchgang zwischen dem Straßenzug Am Born und der Erdmannstraße. Für alle Gebäude galt ein hochwertiger energetischer Standard. Ein T-förmiger Baukörper mit Südausrichtung zur Erdmannstraße wurde als Passivhaus ausgeführt. Die vier Geschosse zuzüglich eines Staffelgeschosses beinhalten 34 Wohneinheiten mit 2880 m² Wohnfläche sowie drei Gewerbeeinheiten im Erdgeschoss der Erdmannstraße mit 390 m² Nutzfläche.



Hofansicht

die Bekleidung mit 8 mm Resoplan. Die eingesetzten Brandschutzriegel bestehen aus nicht brennbaren Materialien mit Zinkblechverkleidung.

Im Bereich der Gebäudeteile mit Putzfassade erhielt die 11,5er Kalksandsteinwand ein Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol und in Brandschutzbereichen mit Mineralwolle mit einer Dämmdicke von 30 cm. Der U -Wert beträgt im Mittel aller Außenwandkonstruktionen $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Stahlbeton-Kellerdecke weist eine Dämmlage aus 20 cm Polystyrolämmung $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ in Verbindung mit einer zusätzlichen Trittschalldämmung 1 cm unter dem Estrichaufbau auf. Daraus ergibt sich ein U -Wert von $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Das Flachdach wurde als Warmdach auf der Stahlbetondecke über dem obersten Geschoss aufgebracht und mit einer 40 cm dicken PS-Lage gedämmt, die gleichzeitig der Ausbildung des Gefälles dient. Darüber befindet sich die Dachbahn mit einer Bekiesung. Die Gesamtkonstruktion hat einen mittleren U -Wert von $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Fenster wurden aus Holzrahmen mit gedämmten Aluminium-Deckschalen erstellt. Die Holzinnenansichten sorgen für hohe Wohnlichkeit und die Alu-Außenverkleidung für eine hohe Lebensdauer ohne großen Wartungsaufwand. Die Rahmenkennwerte sind sehr hochwertig, der Wert für U_f beträgt $0,71 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Dreischeibenwärmeschutzverglasung wurde mit einem U_g -Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in einem sehr wirtschaftlichen Bereich gewählt in Verbindung mit einem g -Wert von $0,52$. Dem Glasrandverbund von $\Psi = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ steht ein äußerst optimier-



Ansicht Südost aus der Erdmannstraße



Wohnbereich



Blick auf die Terrasse



Fassadengeteilte Balkons auf der Südseite

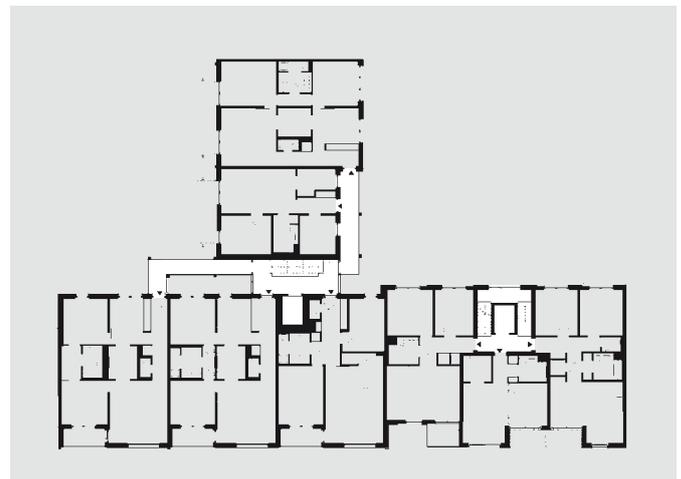
ter Wärmebrückenkoeffizient für die Einbausituation von $\Psi = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ gegenüber, so dass sich als Ergebnis aus diesen Kennwerten ein sehr günstiger U_w -Wert von $0,74 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergibt. Wichtig für diesen günstigen Wert ist die Wahl von angemessenen großen Verglasungsflächen bei der Gestaltung der Fenster unter Verzicht auf kleine Flügelformate. Die Übergänge von den Wohnungen zu den Außenflächen und Balkons wurden barrierearm mit minimierter Schwellenausbildung ausgeführt. Sie wirken durch den Übergang vom Parkett auf der Innenseite zu einem vergleichbaren Holzbelag auf den Balkons in jeweils gleicher Höheebene sehr großzügig.

Für das Verschattungskonzept hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes dienen Außenraffstores.

Der Blower-Door-Test ergab für die Luft- und Winddichtheit einen hervorragenden mittleren Wert für n_{50} von $0,36 \text{ h}^{-1}$. Dies ist auf die sorgfältige Detailkonzeption im Zuge der Werkplanung und die konsequente Umsetzung auf der Baustelle zurückzuführen. Gerade bei solch einem komplexen Gebäude ist es wichtig, dass die Details ein fehlertolerantes System darstellen, so dass kleine Schwächen in der Ausführung die Kennwerte nicht stark verschlechtern.

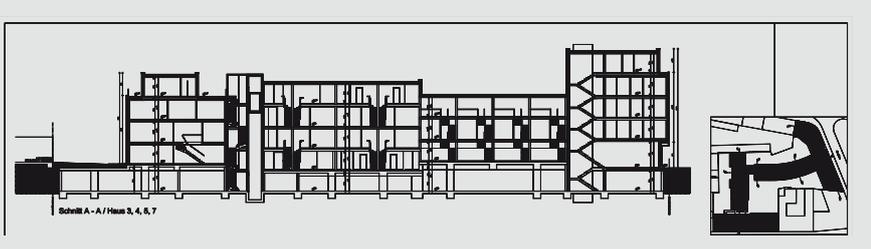


Erdgeschoss



Regelgeschoss OG

Bild: Huke-Schubert, Berge Architekten



Schnitt B-B



Lüftung, Heizung & Warmwasser

Für die innerstädtische Situation bietet sich eine Lüftungsanlage an. Durch die mechanisch betriebene Lüftung kann für die Bewohner Schallschutz und zugleich hohe Raumluftqualität gewährleistet werden. Selbstverständlich dürfen die Fenster jedoch geöffnet werden. In den Übergangszeiten und im Sommer gehört dies ohnehin zum Lüftungskonzept. Eine Zu-/Abluftanlage mit 85 % Wärmebereitstellungsgrad bringt pro Person stündlich 30 m³ frische Luft in die Wohnungen. Die Luft strömt über einen F-7-Filter, der Staubpartikel und einen großen Teil von Pollen herausfiltert und für hohe Raumluftqualität sorgt. Über drei Stufen kann die Luftmenge durch die Mieter eingestellt und den Erfordernissen angepasst werden.

Heizung und Warmwasser werden durch den städtischen Fernwärmeanschluss bereit gestellt. Die Heizwärmeverteilung erfolgt über eine zentrale Nacherwärmung der Zuluft in jeder Wohnung. Die Heizwärme wird über die Luft mit komfortabel niedrigen Temperaturen auf die Wohnungen übertragen. Die Temperatur kann durch die Benutzer individuell geregelt werden. Im Bedarfsfall stehen in jeder Wohnung ein bis zwei Heizkörper zusätzlich zur Verfügung, um den Komfort für die Bewohner auch bei längerer extremer Kälte zu sichern.

Bild: Huke-Schubert, Berge Architekten



Isometrie der Bebauungssituation

Der Frostschutz des Wärmetauschers im Lüftungsgerät erfolgt wie die Heizung über Fernwärme. Dabei muss durch die Regelung sicher gestellt sein, dass erst ab etwa -4 °C Außenlufttemperatur vor dem Gerät das Vorheizregister eingeschaltet wird. Bei richtiger Einstellung sind nur minimale Wärmemengen für den Frostschutz erforderlich, im Allgemeinen 0,2 bis 0,5 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.



Frischluf- und Fortluftleitung der Lüftungsanlage



Detail Fenstereinsatz

Foto: Huke-Schubert, Berge Architekten

Die Warmwasserbereitung wird über Wärmetauscher im Durchlaufsystem unter Auskopplung der Zirkulationslast betrieben. Ein Pufferspeicher sorgt dafür, dass die Leistungsanforderung aus dem Fernwärmenetz begrenzt bleibt, um auf diesem Weg niedrige Bereitstellungskosten zu sichern.

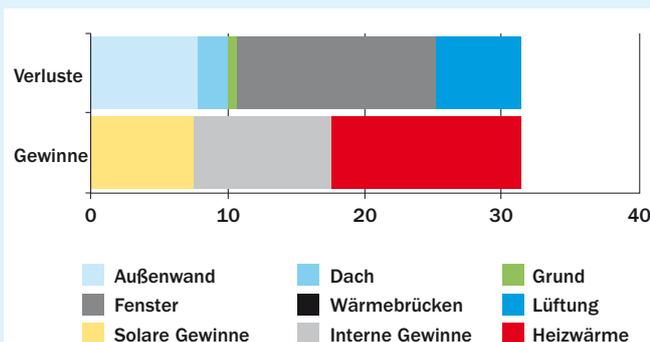
Resümee

Die gelungene städtebauliche und architektonische Gestaltung wertet den Stadtteil auf und schafft für die Bewohner mit den stimmigen Freiflächen ein lebenswertes Umfeld mit hoher Identifikationsmöglichkeit. Architekten und Bauherr haben gezeigt, dass es möglich ist, Energieeffizienz mit erstklassiger differenzierter Architektur zu verbinden.

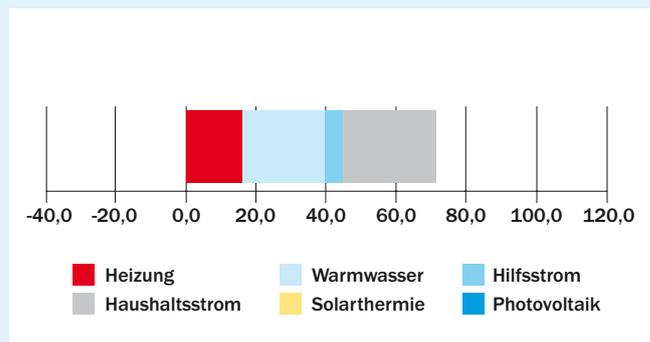
Auf der 14. Internationalen Passivhaustagung in Dresden wurde das Projekt im Rahmen des 2010 erstmals verliehenen „Architekturpreises Passivhaus“ mit dem Sonderpreis des BMVBS für Geschosswohnungsbau ausgezeichnet, der ebenso hoch dotiert ist wie der 1. Preis.

Projektdaten

Objekt	Passivhaus Erdmannstraße 14-16 in 22765 Hamburg
Bauherr	Altonaer Spar- und Bauverein eG, 22765 Hamburg
Wohn-/Nutzfläche	Wohnfläche 2 728 m ² /Nutzfläche 540 m ² (Gewerbe)
Konstruktion	
Außenwand	Aufbau 1: 1,5 cm Innenputz, 11,5 cm Kalksandstein, RDK = 1,4, Dampfsperre, Fabrikat: adaptiv Pro Clima Intello, Steico Wall TJI Träger mit 24 cm Mineralwolldämmung (in kleinen Teilbereichen geringer), $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, zementgebundene Spanplatte B1 und A2, Fabrikat: Eternit Duripaneel 22 m, diffusionsoffene Unterspannbahn, 3 cm Alu-Z-Profile als Hinterlüftungsebene, Bekleidung 8 mm Resoplan, Riegel aus Zinkblech Aufbau 2: 1,5 cm Innenputz, 11,5 cm Kalksandstein, RDK = 1,4, 30 cm WDVS Polystyrol mit Brandschutzbereichen in Mineralwolle, $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, organisches Putzsystem, U-Wert = 0,16 W/(m²K) i. M. aller Wandkonstruktionen
Kellerdecke	2,2 cm Parkett, 6 cm Estrich, 1 cm Trittschalldämmung, 20 cm Polystyrol-Dämmung, $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, PE Folie, 25 cm Stahlbeton, U-Wert = 0,16 W/(m²K)
Dach	7 cm Kies, Dachbahn, Fabrikat: Alwitra, 40 cm Polystyrol WLG 035 Gefälledämmung, Dampfsperre, Fabrikat: Alu- Bitumenbahn Icopal-Villatherm, 20 cm Stahlbeton, U-Wert 0,08 W/(m²K)
Fenster	Holzfenster mit gedämmten Aluminium-Deckschalen, Fabrikat: Menck Fenster GmbH, System Mira Therm Gutmann, U_f = 0,71 W/(m²K) , U_g = 0,60 W/(m²K) , g-Wert 0,52, Glasrandverbund $\Psi = 0,038 \text{ W/(mK)}$, U_w = 0,74 W/(m²K)
Eingangstür	Dreifachverglasung mit gedämmten Alurahmen, U_d = 0,08 W/(m²K)
Wärmebrücken	Wärmebrückenfreiheit über die Gesamtkonstruktionen
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} = 0,36 \text{ h}^{-1}$
Gebäudetechnik	
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Fabrikat: Lüfta Max, zentrale Anlage mit Dreistufenregelung in den Wohnungen. Dezentrale Nacherwärmung, zentrale Frostsicherung über Fernwärme
Heizung und Warmwasser	Fernwärmeanschluss; Ausgleich von Leistungsschwankungen über einen Pufferspeicher, Trinkwarmwasserbereitung über ein Durchlaufsystem mit Auskopplung der Zirkulationslast
Übertragung Heizwärme	Nachheizregister im Zuluftstrom wohnungsweise, ergänzend ein bis zwei Heizkörper je Wohnung
Baukosten	1.963 €/m ² Wohnfläche (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.), Kosten für die Kellernutzfläche sind enthalten
Baujahr	Fertigstellung 8/2009
Architekten	Huke-Schubert Berge Architekten, 22765 Hamburg
Planung Gebäudetechnik	Sun-Trieb, 34311 Naumburg-Altenstadt
Sonstiges	zertifiziert durch das Passivhaus Institut Darmstadt



Energetische Bilanzierung des Heizwärmebedarfs: Gewinne und Verluste [kWh/(m²a)]



Primärenergiebilanz (Bereiche Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom weisen eine Plusenergiebilanz auf)



Einfamilienhaus (2008), 90475 Nürnberg,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: Schulze Darup & Partner, 90475 Nürnberg,
www.schulze-darup.de



Feuerwehrtechnische Zentrale (2010), 31303 Burgdorf,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: Mosaik Architekten, 30167 Hannover,
www.mosaik-architekten.de



Einfamilienhaus (2009), 44137 Dortmund,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: BauWerk Architektengemeinschaft, 44137 Dortmund,
www.bauwerk-architekten.de



Mehrfamilienhaus (Sanierung 2009) – Passivhaus Aufstockung, 90439 Nürnberg, Außenwand: Kalksandstein mit WDVS,
Bauherr: wbg Nürnberg GmbH, Entwurf: Schulze Darup & Partner, Bauüberwachung: Aicher & Hautmann, Nürnberg



Eichendorff-Schule (2007), 31244 Peine,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: Jörg Thienemann, 31224 Peine, in Zusammenarbeit
mit Carsten Grobe, 30539 Hannover, www.architekt-thienemann.de



Grundschule Irisweg (2006), 50676 Köln
Außenwand: Kalksandstein mit Vorsatzschale
Entwurf: Heiermann Architekten, 50676 Köln,
www.heiermann-architekten.de



Bürogebäude (2004), 38259 Salzgitter,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: architecten gjh Guder – Jung – Hämmerli,
38228 Salzgitter, www.architekten-gjh.de



Mehrfamilienhaus (2007), 50733 Köln-Nippes,
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: MB PlanungsGmbH für passiv-solare Architektur,
50999 Köln, www.passiv-haus.de

Foto: Manfred Brausem



Kita Windröscheweg (2008), 30519 Hannover,
Außenwand: Kalksandstein mit Wärmedämmung und hinterlüfteter Holzverschalung, Entwurf: Stadt Hannover, FB Gebäudemangement, 30449 Hannover, Ausführung: Mosaik Architekten BDA, 30167 Hannover, www.mosaik-architekten.de



Kindertagesstätte Ricklinger Straße (2009),
30449 Hannover, Außenwand: Kalksandstein mit hinterlüfteter vorgehängter Fassade, Entwurf: vorrink wagner architekten bda, 30449 Hannover, www.vorrink-wagner.de



Erste Solarsiedlung in Münster „Das Passivhaus“ (2009),
Außenwand: Kalksandstein mit WDVS
Entwurf: ajp – architekten jörg petzold, 48161 Münster
www.ajp-muenster.de

ENERGIEPLUS KINDERGARTEN MIT SENIORENTREFF

MASSIVBAU MIT HOLZVERKLEIDUNG IN WIERN SHEIM

Als erste Kommune in Baden-Württemberg wurde Wiernsheim mit dem „European Energy Award in Gold“ geehrt. Mit 82 von 100 möglichen Punkten errang die Gemeinde den europaweit zweiten Platz gegen 530 Mitbewerber. In diesem Ort bewegt sich viel in Richtung Energieeffizienz und Nutzung Erneuerbarer Energien. Ein kommunales Förderprogramm unterstützt diese Ziele und bei Neuplanungen und Sanierungen wird ein möglichst energieeffizienter Standard angestrebt.

Als im Ortsteil Serres ein Kindergarten zur Planung anstand, wurde konsequent ein Plus-Energie-Konzept auf den Weg gebracht. Architekt Alfred Raible konzipierte den Entwurf von vorneherein als Passivhaus und ergänzte die effiziente Gebäudetechnik um regenerative Anteile in Form einer Photovoltaikanlage.

Die Nutzung des Gebäudes umfasst einen eingruppigen Kindergarten im Erdge-



Dipl.-Ing. FH Architekt
Alfred Raible

schoss. Im Obergeschoss befindet sich ein Gruppenbereich für Kleinkinder. Zusätzlich wurden Räume für einen Seniorentreff untergebracht.



Gebäudehülle & Konstruktion

Bei der Gestaltung der Wandflächen wird mit Farben und Materialien gearbeitet: Das Erdgeschoss erscheint als verputzter Bereich, wobei vor allem die orangefarbene Ausbildung des Mauerriegels am Eingang heraussticht. Darüber wölbt



Ansicht von Nordwest

Foto: Alfred Raible

sich halbtönenartig ein holzverkleideter Dachgeschossaufbau. Den Konstruktionen in beiden Geschossen ist gemein, dass sie mit Kalksandstein Rasterelementen gemauert sind. Zur Erzielung eines guten Schallschutzes wurde die 17,5 cm dicke Wand in Rohdichte 2,0 ausgeführt. Unter dem Putz verbirgt sich ein Wärmedämmverbundsystem mit 30 cm Polystyrol-Dämmung und einem resultierenden U-Wert von 0,11 W/(m²K).

Im Dachgeschoss besteht die Wand auf dem Mauerwerk aus Profilträgern und Zellulose-dämmung mit 30 cm Dicke verschalt mit 2 cm Holzweichfaserplatten. Daran schließt



Ansicht von Südwest



Foto: Alfred Raible

Südansicht

sich eine Lattung als Hinterlüftungsebene an, worauf die Sichtschalung aufgebracht wurde. Der U -Wert beträgt $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Bodenplatte ruht auf 44 Betonpfählen. Unter der Stahlbetonbodenplatte befinden sich 16 cm geschlossenzelliges Polystyrol, oberhalb eine PS-Dämmung mit 10 cm Aufbauhöhe unter dem Estrichaufbau und dem Linoleum als Oberboden. Die Konstruktion weist $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf.

Die Dachkonstruktion über dem Erdgeschoss wurde als Warmdachaufbau über einer Stahlbetondecke ausgeführt mit 35 cm EPS-Dämmung. Über dem Dachgeschoss befindet sich eine Holzkonstruktion mit folgendem Aufbau:

Gipskarton 1,25 cm, Luftschicht 2,5 cm, Dampfbremse, Mineralwolle 24 cm, Luftschicht 6 cm, Dachschalung aus Holz mit Dampfsperre und Mineralwolle 16 cm. Darüber befindet sich der Konstruktionsaufbau für die Blechdeckung mit auflaminierter Photovoltaikschicht. Der U -Wert beträgt für beide Dachkonstruktionen $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

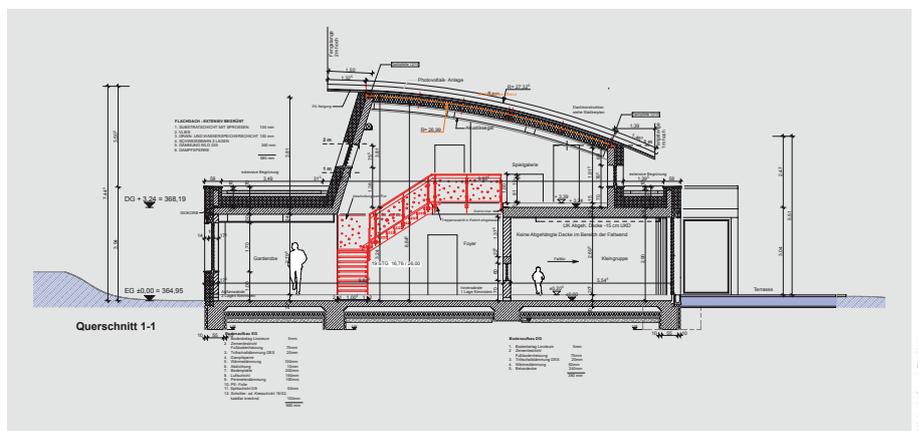


Bild: Alfred Raible

Schnitt

Die Fenster wurden zur Erzielung einer langen Haltbarkeit mit gedämmten Holz-Alu-Rahmen mit $U_f = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgeführt. Die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung weist für U_g den Kennwert $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sowie den g -Wert $0,52$ auf. Daraus ergibt sich ein resultierender Wert von $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Eingangstür wurde mit einer gleichwertigen Verglasung und ebenfalls mit gedämmten Holz-Alurahmen ausgeführt.

Für die Wärmebrücken erfolgten eine detaillierte Ermittlung der Längen sowie Wärmebrückenberechnungen für die relevanten Details.

Luftdichtheitsdetails erhielten bei der Planung eine hohe Priorität. Bei der Bauüberwachung und Qualitätssicherung lag ebenfalls ein Schwerpunkt auf diesem Aspekt, so dass beim Blower-Door-Test

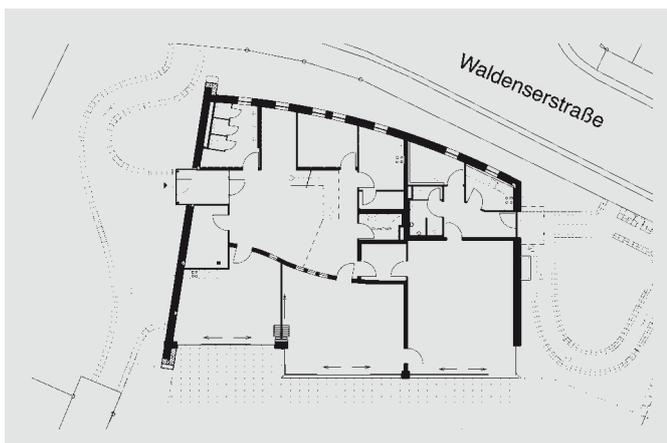


Bild: Alfred Raible

Grundriss EG

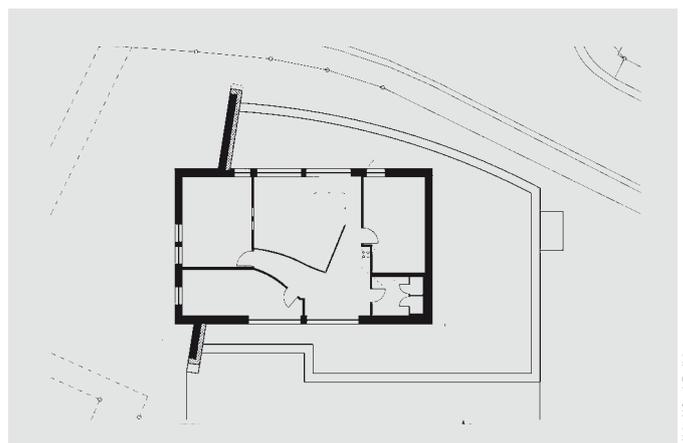
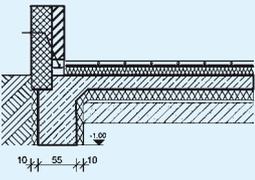
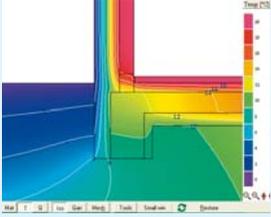
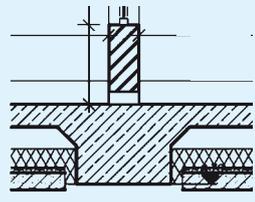
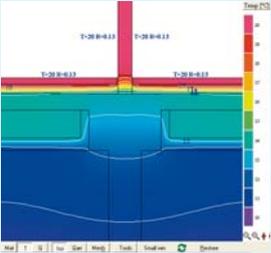
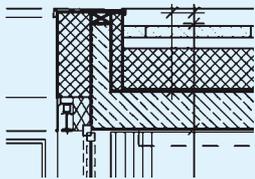
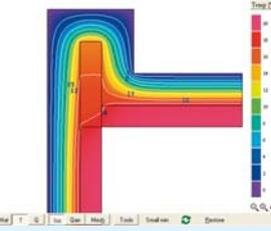
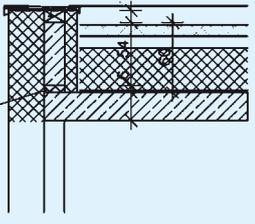
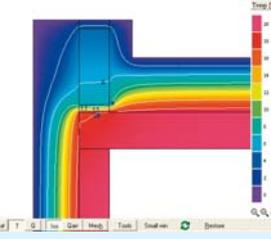


Bild: Alfred Raible

Grundriss OG

Wärmebrücken

Detail ¹⁾	Isothermendarstellung ²⁾	Ψ Wert
		Detail Sockel Attika $\Psi = 0,023 \text{ W/(mK)}$
		Detail Innenwand zur Bodenplatte $\Psi = 0,15 \text{ W/(mK)}$
		Detail Oberer Abschluss der Wandscheibe Südwest $\Psi = 0,037 \text{ W/(mK)}$
		Detail Attika mit thermisch getrenntem Aufbau $\Psi = 0,026 \text{ W/(mK)}$

¹⁾ Details: Architekt

²⁾ Isothermen: Seeberger



Rohbau

der Passivhaus Kennwert von $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ unterschritten werden konnte.



Lüftung, Heizung & Warmwasser

Für die Lüftung wurde eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Fabrikat Robatherm mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 87 % in Verbindung mit einem 120 m langen Erdreichwärmetauscher in 2 m Tiefe eingebaut. Das Lüftungsgerät befindet sich zusammen mit der Heizung im Dachgeschoss des Gebäudes.

Eine Sole-/Wasserwärmepumpe mit einer Heizleistung von 10,6 kW versorgt das Gebäude mit Heizwärme, die über eine Fußbodenheizung mit einer Systemtemperatur von 35/29 °C auf die Räume übertragen wird. Zwei Bohrungen mit jeweils 80 m Tiefe sorgen für den erforderlichen Wärmeübergang des Erdabsorbers. Mit der Anlage ist ebenfalls eine Kühlung der Räume möglich.

Plusenergiekonzept

Der hohen Effizienz bei Gebäudehülle und Anlagentechnik steht die Gewinnung von regenerativen Energien mittels Photovoltaik gegenüber. Auf das gewölbte Blechdach wurden Dünnschicht-Photovoltaikzellen auf laminiert mit einer Leistung von 10 kW_{peak}. Der jährliche Stromertrag beträgt laut Planung knapp 10000 kWh pro Jahr. Bei der Gegenüberstellung der Primärenergiekennwerte für Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie und Strom und dem Ertrag aus Photovoltaik ergibt sich daraus eine Plusenergiebilanz. Das Gebäude stellt mehr Energie bereit als es verbraucht.



Heizung: Wärmepumpe



Lüftungsgerät

Resümee

Eine digitale Anzeige im Eingangsbereich des Kindergartens weist die aktuellen Erträge der Photovoltaikanlage aus. Für die Eltern und Betreuerinnen ein gutes Gefühl, die tägliche Bilanz zu sehen. Mit ein wenig Erklärung kann den Kindern erfahrbar gemacht werden, dass sie schon heute in einem Haus leben, das für sie morgen zur Selbstverständlichkeit wird. Dass dabei Wohlfühlen ganz groß geschrieben

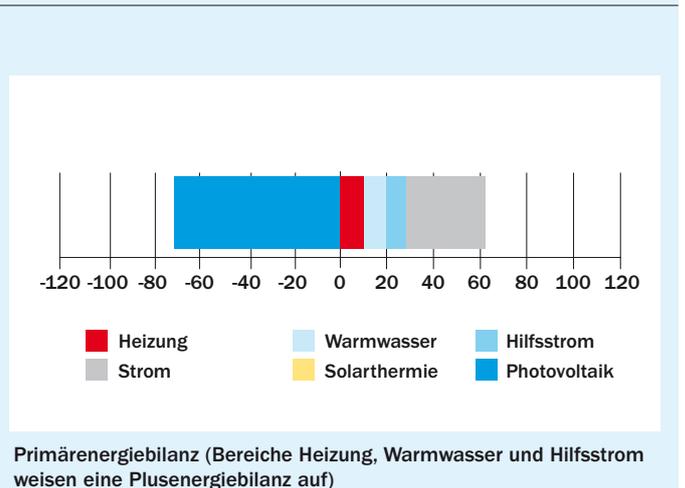
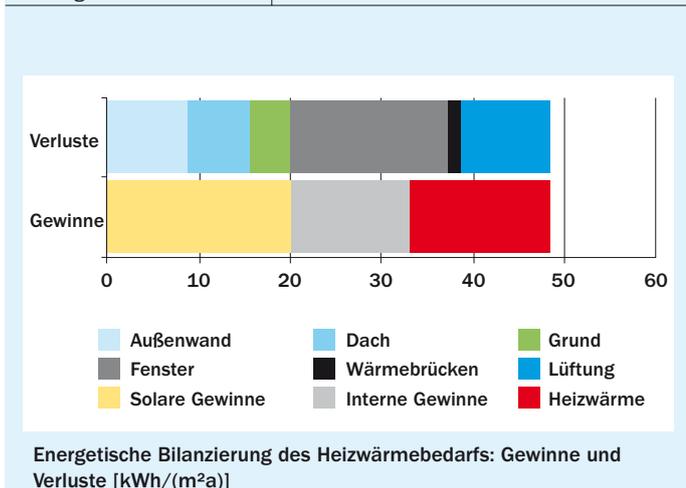
ist, dafür hat die Planung des Architekten gesorgt mit der hochwertigen Gestaltung, den warmen Oberflächen der rundum gedämmten Gebäudehülle, den angenehm großen Fenstern und der ständig frischen Raumluft – diese direkt erfahrbaren Qualitäten machen den kleinen Nutzern erst recht Spaß. Und vielleicht haben sie ja bald ein paar Anregungen, wenn ihre Eltern auf die Idee kommen, selbst ein Gebäude zu bauen oder zu modernisieren.



Gruppenraum des Kindergartens

Projektdaten

Objekt	EnergiePlus Kindergarten mit Seniorentreff in 75446 Wiernsheim
Bauherr	Gemeinde Wiernsheim, vertreten durch BM Oehler
Wohn-/Nutzfläche	NF: 495 m ² , beheizte Fläche nach PHPP: 382 m ²
Konstruktion	
Außenwand	1,5 cm Innenputz, 17,5 cm Kalksandstein Rasterelemente, RDK = 2,0, WDVS mit 30 cm Polystyrol-Dämmung, $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, Putz, U-Wert = 0,11 W/(m²K)
Bodenplatte	2,0 mm Linoleum, 7 cm Estrich, 10 cm Polystyrol-Dämmung, $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, 0,5 mm Bitumenbahn, 24 cm Stahlbeton, 16 cm EPS, U-Wert = 0,12 W/(m²K)
Dach	1,25 cm Gipskarton, 2,5 cm Luftschicht, Dampfbremse, 24 cm Mineralwolle, $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, 6 cm Luftschicht, 1,9 cm Holz-Dachschalung, 16 cm Mineralfaser-Dampfsperre, $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$, Blechdeckung mit auflaminierter Photovoltaikschiene, U-Wert = 0,10 W/(m²K)
Fenster	Dreifachverglasung mit gedämmten Holz-Alurahmen U_f = 0,68 W/(m²K) , U_g = 0,6 W/(m²K) , g-Wert 0,52, Glasrandverbund $\psi = 0,032 \text{ W/(mK)}$, U_w = 0,8 W/(m²K)
Eingangstür	Dreifachverglasung mit gedämmten Holz-Alurahmen, U_w = 0,8 W/(m²K)
Wärmebrücken	Detaillierte Ermittlung der Wärmebrücken, Wärmebrückenberechnung der Details
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
Gebäudetechnik	
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Fabrikat: Robatherm
Heizung und Warmwasser	Heizung mit Wärmepumpe, geplante Arbeitszahl 4,0, Warmwasser dezentral elektrisch
Übertragung Heizwärme	Wärmeübertragung über die Lüftungsanlage, Fußbodenheizung in den Gruppenräumen
Photovoltaik	Photovoltaikanlage 10 kW _{peak}
Baukosten	675 €/m ³ Wohn-/Nutzfläche (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.)
Baujahr	Fertigstellung 11/2009
Architekten	Architekturbüro Alfred Raible, 70806 Kornwestheim
Planung Gebäudetechnik	Ingenieurgesellschaft Pforzheim, 75179 Pforzheim
Sonstiges	zertifiziert durch das Passivhaus Institut Darmstadt



DÄMMSYSTEME VON WANDKONSTRUKTIONEN

Kalksandstein-Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) bzw. Kalksandstein-Thermohaut

Eine hochwirtschaftliche Außenwandkonstruktion kann mittels schlankem Kalksandsteinmauerwerk in Verbindung mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf der Außenseite erzielt werden. Durch die klare Funktionstrennung kann das Mauerwerk die Belange Statik, Wärmespeicherung und sommerlichen Wärmeschutz sowie vor allem den Schallschutz hervorragend abdecken. Das WDVS erfüllt sehr

kostengünstig die energetischen und bauphysikalischen Aspekte sowie den Witterungsschutz.

Als Dämmstoff kommen zahlreiche Produkte in Frage wie Polystyrol-Partikelschaum, Mineralfasern, Polyurethan und Mineralschaum. Auch Holzweichfaserplatten und andere biogene Materialien sind bei einigen Systemherstellern als Dämmstoff einsetzbar. Grundsätzlich kann in WDVS-Systeme auch transparente Wärmedämmung einbezogen werden. Die Dämmdicken sind bei vielen Systemherstellern bis deutlich über 30 cm möglich, so dass U -Werte weit unter $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erzielt werden können.

Die Dämmplatten werden z.B. mittels eines Klebers auf dem Mauerwerk befestigt, wozu der tragende Untergrund tragfähig, trocken, staub- und fettfrei sowie ausreichend eben sein muss. Wände aus Kalksandstein-Mauerwerk gelten ohne weiteren Nachweis auch für ausschließlich verklebte WDVS als ausreichend tragfähig.

Die außenseitigen Putzsysteme bestehen aus Unterputz mit Bewehrungsgewebeeinlage und Oberputz. Bei den Materialien kann zwischen Kunstharzputzen und mineralischen Putzen unterschieden werden, wobei letztere im Allgemeinen kunststoffmodifiziert bzw. kunststoffvergütet sind. Bei der Dicke kann zwischen Dünn- und Dickputzen gewählt werden. Das Bewehrungsgewebe (Glasgewebe) im Putzsystem hat die Aufgabe, die in jedem mineralischen Baustoff auftretenden Rissbreiten auf ein unschädliches Maß zu beschränken.

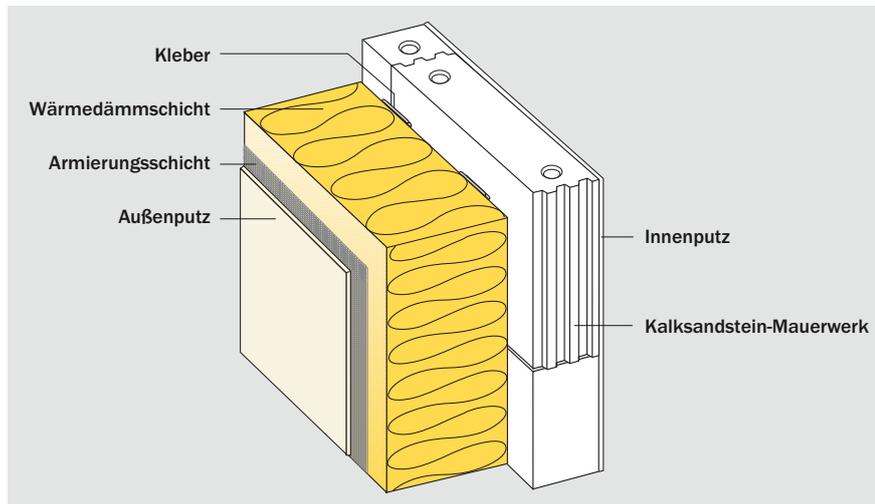
Weitere Angaben zum Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz sowie zur Stoßfestigkeit, Verklebung und Dehnfugen sind unter www.kalksandstein.de erhältlich.

Zweischalige Außenwände

Zweischalige Außenwände bestehen aus einer massiven Mauerschale auf der Innenseite der Konstruktion, der Wärmedämmschicht und dem massiven Verblendmauerwerk. Es besteht eine klare Trennung der Funktionen. Das Mauerwerk auf der Innenseite hat vor allem statische Aufgaben und dient durch seine Masse der Wärmespeicherung, was vor allem dem sommerlichen Wärmeschutz zu Gute kommt. Die innen liegende Dämm- und ggf. Luftschicht bestimmt die energetisch-bauphysikalischen Aspekte der Konstruktion. Die Außenschale ist vor allem für den Witterungsschutz zuständig und erfüllt diese Aufgabe insbesondere in Regionen mit problematischen Witterungsverhältnissen hervorragend. Schallschutz wird vor allem durch das Zusammenwirken von Innen- und Außenmauerwerk bestimmt.

Es werden folgende zweischalige Kalksandstein-Außenwandkonstruktionen unterschieden:

- Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht und Wärmedämmung
- Zweischaliges Mauerwerk mit Kern-dämmung



Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf Kalksandstein-Mauerwerk



Purenitelement im Wärmedämmverbundsystem zur wärmebrückenoptimierten Befestigung eines Brüstungsstabs an einem Fenster

● Zweischaliges Mauerwerk mit Kern-
dämmung und verputzter Vormauer-
schale

Die baurechtlichen Aspekte werden für zweischaliges Mauerwerk in DIN 1053-1 und in der Bauregelliste A, Teil 1 sowie in den Technischen Regeln des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) geregelt. Für einzelne Konstruktionskomponenten können darüber hinaus Prüfzeugnisse (z.B. für Drahtankervarianten) oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (z.B. für Flachstahlanker oder Kerndämmmaterialien) erforderlich werden.

Die zugelassenen Anker ermöglichen eine Dämmdicke bis zu 20 cm, was in Verbindung mit hochwertiger Dämmung mit λ knapp über 0,02 W/(mK) zu passivhaustauglichen U-Werten führt.

Nähere Informationen zur Kerndämmung, Wärmedämmung und Luftschicht, Wärme-, Feuchte-, Witterungs- und Schallschutz sowie zu den Ankern für die Verblendschale, Abfangungen und Dehnfugen sind unter www.kalksandstein.de zu erhalten.

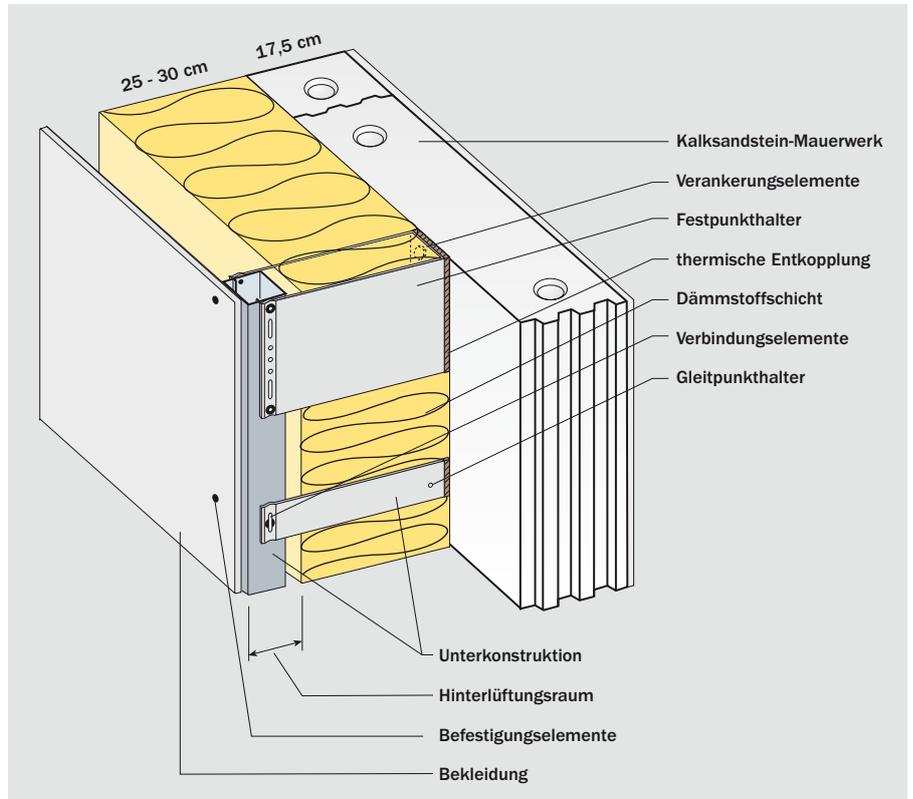
**Vorgehängte hinterlüftete Außenwand-
bekleidungen – Vorhangfassaden**

Vorhangfassaden ermöglichen weite Gestaltungsmöglichkeiten mit einer hohen Anzahl von Fassadenmaterialien in Verbindung mit hoch witterungsbeständigen Konstruktionslösungen.

Als Bekleidungselemente werden mineralische Platten, Metalle, Glas, Holzwerkstoffe, Holzverkleidungen und zahlreiche weitere Produkte angeboten.

Die Befestigung der Bekleidungselemente erfolgt in Abhängigkeit von dem Bekleidungsmaterial und dem Format und muss möglichst wärmebrückenfrei erfolgen. Deshalb wird im Metallsektor zunehmend umgestellt von Aluminium auf Edelstahlsysteme, die möglichst thermisch getrennt sind. Alternativ können Holzkonstruktionen zum Einsatz kommen. Die sich aus der Befestigung ergebenden Ψ -Werte müssen bei der U-Wert-Berechnung von vorneherein mit einbezogen werden. Die Befestigungsmittel können dabei als Gestaltungselemente für die Fassadengestaltung genutzt werden.

Die Wärmedämmung erfolgt bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden in

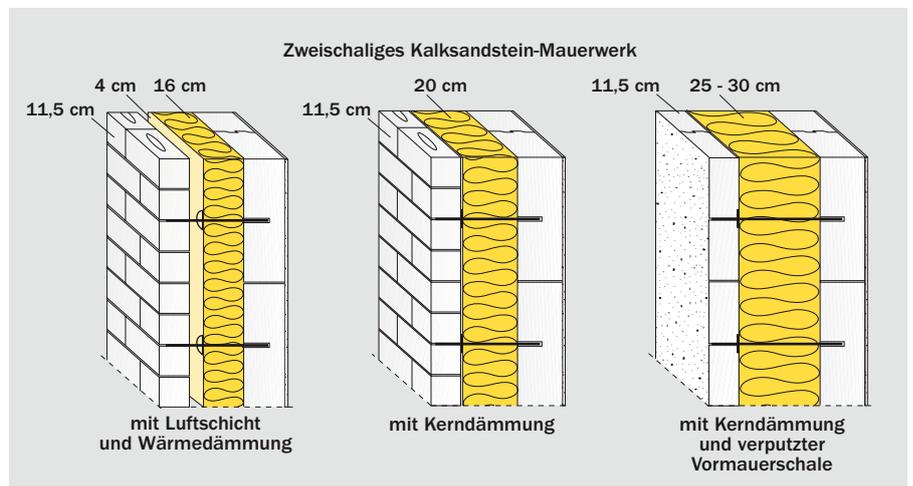


Schema für eine Vorhangfassade auf Kalksandstein-Mauerwerk

vielen Fällen mit Dämmstoffen aus Mineralfasern, es können aber auch zahlreiche weitere Materialien, insbesondere aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe sinnvoll eingesetzt werden, soweit es dem Brandschutz nicht widerspricht. Zwischen Dämmstoff und Hinterlüftungsebene sollte eine Trennschicht eingebracht werden, damit Abrieb und Fasern nicht in die Außenluft gelangen.

chend bemessen sein. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Verankerungselemente ist der zulässige Verankerungsgrund mit Angabe der zulässigen Kräfte für jeden Verankerungs- und Dübeltyp angegeben, wobei sich Wände aus Kalksandstein-Mauerwerk wegen der hohen Festigkeit als sehr guter Verankerungsgrund erweisen, was zu wirtschaftlich günstigen Systemlösungen führt.

Der tragende Untergrund muss für die Verankerung der Unterkonstruktion ausrei-



Konstruktionsmöglichkeiten für zweischaliges Mauerwerk

Vakuum-Isolations-Paneele (VIP-Dämmung)

Vakuumdämmung ermöglicht eine etwa fünfmal geringere Dämmschichtdicke als übliche Dämmstoffe bei gleichem Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Wert). Sie basiert auf der Entwicklung des Physikers James Dewar, der im Jahr 1890 den Zwischenraum von doppelwandigen Glasgefäßen auf 10^{-6} mbar extrahierte – das Prinzip der Isolierkanne. Soll dieses Prinzip auf ebene Flächen im Baubereich übertragen werden, muss vor allem das Problem der Druckkräfte gelöst werden, die aufgrund des Vakuums entstehen. Bei Vakuum-Isolations-Paneeelen geschieht dies mittels nanoporöser Füllmaterialien aus gepresstem Pulver, Glasfasern oder offenporigem Schaum. Durch die extrem kleinen Hohlräume von etwa 100 nm (= 0,0001 mm) reicht ein mäßiges Vakuum von 1 mbar, um die Wärmeleitung über das Gas in diesen Materialien zu unterdrücken.

Am günstigsten verhalten sich nanoporöse Pulverkerne aus pyrogener Kieselsäure. Erst bei Nachlassen des Vakuums auf 100 mbar verdoppelt sich die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung. Bei vollständigem Versagen liegt der λ -Wert immer noch bei 0,02 W/(m²K). Hochbarrierefolien aus mehreren Lagen verschiedener Kunststoffe mit dünner Metallbeschichtung hüllen das Material ein. Auf der Grundlage von Tests wird mit solchen Konstruktionen für das Vakuum eine Standzeit von 30 bis 50 Jahren belegt.

VIP-Elemente sind deutlich teurer als konventionelle Dämmung und werden deshalb sinnvollerweise vor allem in Sonderbereichen eingesetzt: zur Wärmebrückenreduktion in schwierigen Fällen, als Paneel für Fenster und Türen und beim flächensparenden Bauen. Bei industrieller Vorfertigung können im Baubereich zahlreiche weitere Anwendungsgebiete erschlossen werden, sowohl im Fertigungsbereich, bei hochwertigen Bauteilen als auch in der Gebäudetechnik. Es muss mit vorkonfektionierten Platten gearbeitet werden und die Hülle darf nicht beschädigt werden. Die Detailplanung muss sehr präzise erfolgen. Befestigungen müssen in den Stoßbereichen der Platte liegen. Zudem bilden die Ränder der Platten erhöhte Wärmeübergänge – insbesondere, wenn Fugen verbleiben. Dies wird am besten durch eine versetzte zweite Lage ausgeglichen.



WDVS-Sockelausbildung



Anschluss Verblendmauerwerk



Modell einer zweischaligen Außenwand mit VIP-Dämmung



VIP-Dämmung im Bereich der Fenster

U-Werte [W/(m²K)] verschiedener Dämmdicken in Abhängigkeit von λ [W/(mK)] des Dämmmaterials

λ [W/(mK)]	U-Werte [W/(m ² K)] bei Dämmdicke [cm]					U-Werte [W/(m ² K)] bei VIP-Dämmung [cm]		
	35	30	25	20	16	8	5	4
0,007						0,085	0,133	0,165
0,008						0,097	0,151	
0,022			0,085	0,106	0,139			
0,025		0,081	0,097	0,120	0,148			
0,032	0,089	0,103	0,122	0,151				
0,035	0,097	0,112	0,133	0,165				
0,040	0,110	0,127	0,151					
0,045	0,123	0,142						

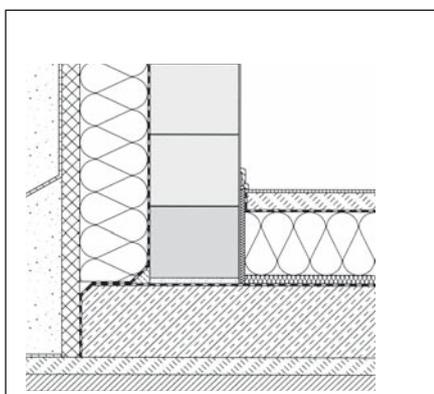
WÄRMEBRÜCKEN

Die Energieeinsparverordnung ermöglicht den pauschalen Ansatz von Wärmebrücken bei der energetischen Berechnung. Die ermittelten U -Werte werden nach DIN V 4108-6 um $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erhöht. Bei Anwendung von Wärmebrückendetails, die im Beiblatt 2 dargestellt werden, kann der Ansatz auf $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ halbiert werden. Beide Lösungen sind für den Nachweis von Passivhäusern nicht geeignet, da dort im Allgemeinen deutlich günstigere Wärmebrückenlösungen angewandt

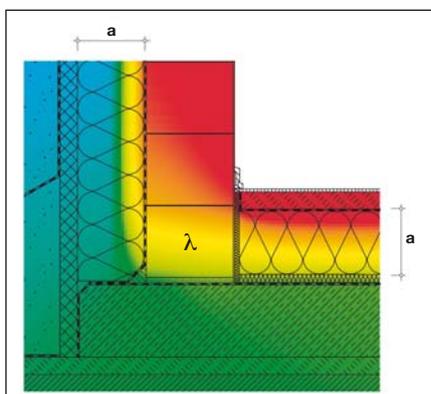
werden müssen. Dies gilt sowohl, um die Passivhaus-Anforderungen zu erzielen, als auch, um bauphysikalisch einwandfreie Lösungen zu erhalten. Die Bauteillängen der einzelnen Wärmebrücken müssen in einem detaillierten Rechengang ermittelt werden. Sie werden jeweils mit dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ multipliziert und aufsummiert. Sind die Ψ -Werte für die angewandten Konstruktionen bekannt – z.B. aus einem Wärmebrückenkatalog –, ist der Aufwand eher gering. Die Berechnung von individuellen Wärmebrücken erzeugt Kosten

in Höhe von 150 bis 400 € pro Wärmebrücke. Im Passivhaus Projektierungs Paket werden die Wärmebrücken im Arbeitsblatt „Flächen“ ermittelt und die Längen und Ψ -Werte eingetragen. Das Ergebnis wird dann selbsttätig in den weiteren Rechengang eingebunden, z.B. für die Berechnung der Heizwärme und der Heizwärmelast.

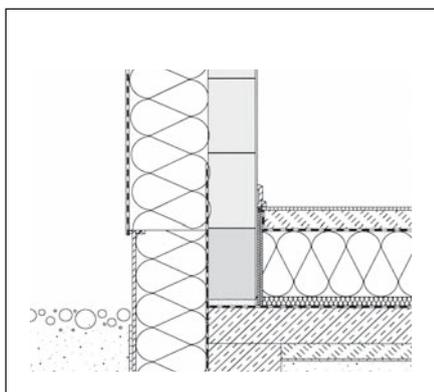
Weitere Informationen über www.kalksandstein.de



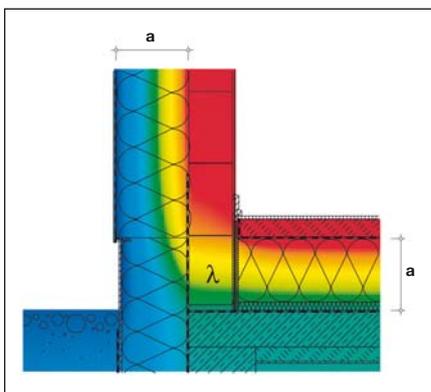
Anschluss Bodenplatte – Außenwand



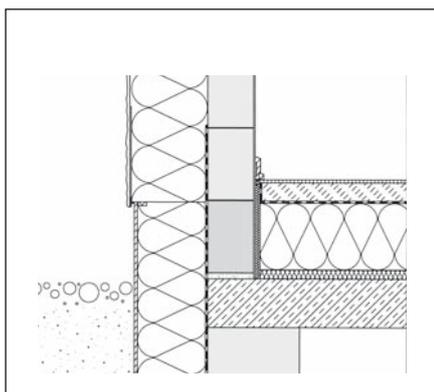
λ [W/mK]	a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
0,99	$\Psi =$ 0,181	$\Psi =$ 0,172	$\Psi =$ 0,162
0,33	$\Psi =$ 0,066	$\Psi =$ 0,069	$\Psi =$ 0,070



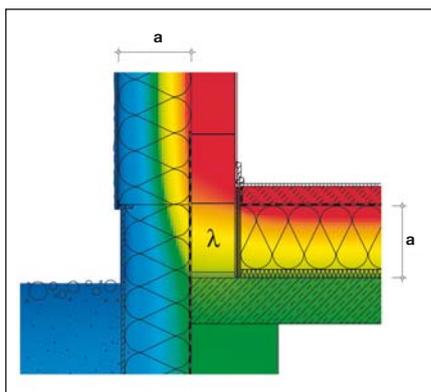
Anschluss Bodenplatte – Außenwand, nicht unterkellert



λ [W/mK]	a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
0,99	$\Psi =$ 0,079	$\Psi =$ 0,072	$\Psi =$ 0,065
0,33	$\Psi =$ 0,008	$\Psi =$ 0,010	$\Psi =$ 0,012

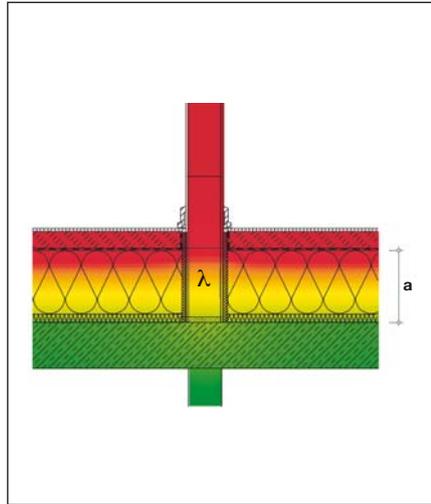
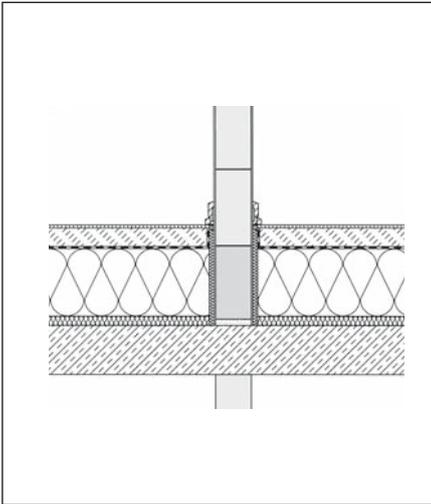


Anschluss Kellerdecke – Außenwand, unbeheizter Keller



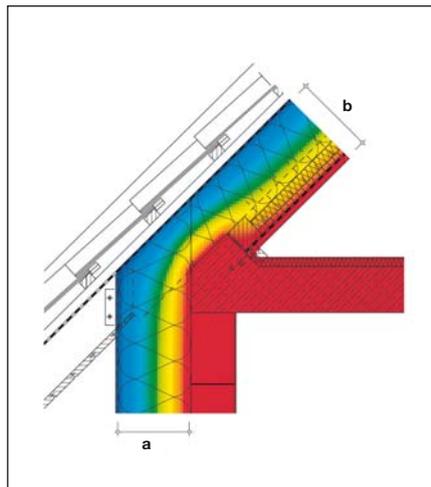
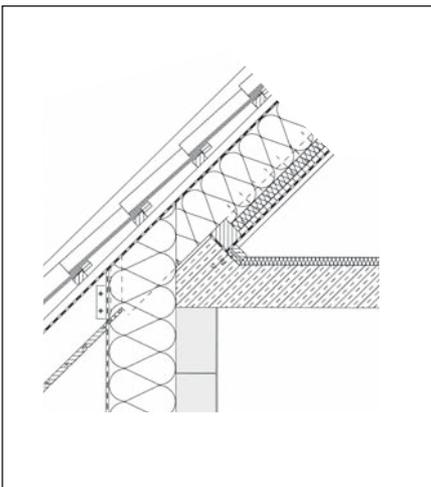
λ [W/mK]	a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
0,99	$\Psi =$ 0,076	$\Psi =$ 0,069	$\Psi =$ 0,063
0,33	$\Psi =$ 0,012	$\Psi =$ 0,012	$\Psi =$ 0,013

WÄRMEBRÜCKEN



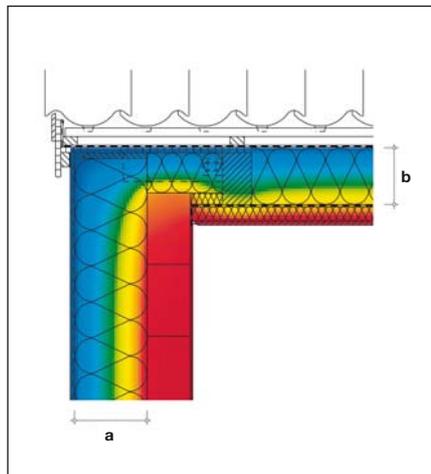
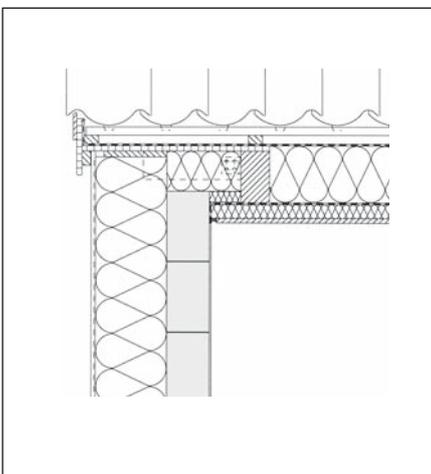
λ [W/mK]	a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
0,99	$\psi =$ 0,269	$\psi =$ 0,243	$\psi =$ 0,221
0,33	$\psi =$ 0,125	$\psi =$ 0,107	$\psi =$ 0,094

Anschluss Kellerwand – Innenwand EG, unbeheizter Keller



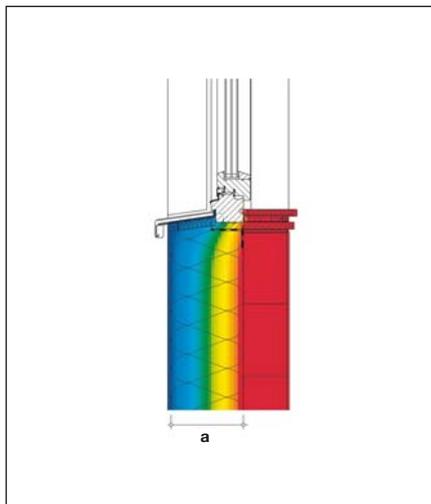
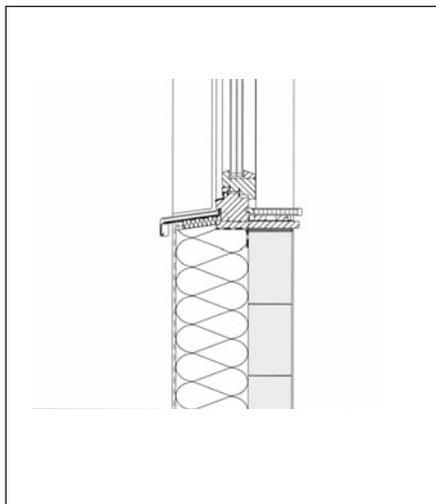
	a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
b = 20 cm	$\psi =$ - 0,084	$\psi =$ - 0,080	$\psi =$ - 0,076
b = 24 cm	$\psi =$ - 0,073	$\psi =$ - 0,067	$\psi =$ - 0,061
b = 28 cm	$\psi =$ - 0,060	$\psi =$ - 0,052	$\psi =$ - 0,044

Traufe – Außenwand



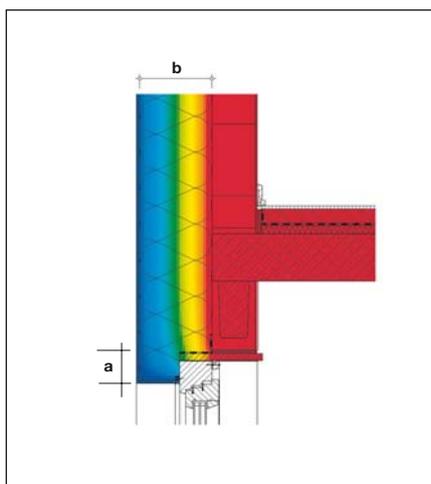
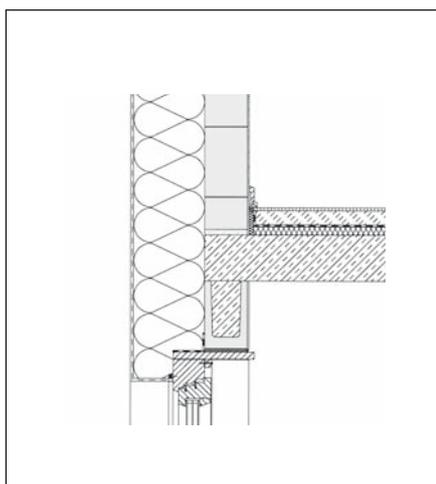
	a = 25 cm	a = 30 cm	a = 35 cm
b = 25 cm	$\psi =$ - 0,014	$\psi =$ - 0,022	$\psi =$ - 0,028
b = 30 cm	$\psi =$ - 0,016	$\psi =$ - 0,023	$\psi =$ - 0,029
b = 35 cm	$\psi =$ - 0,016	$\psi =$ - 0,022	$\psi =$ - 0,028

Ortgang – Außenwand



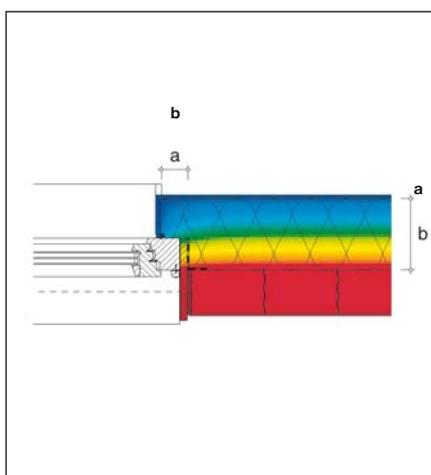
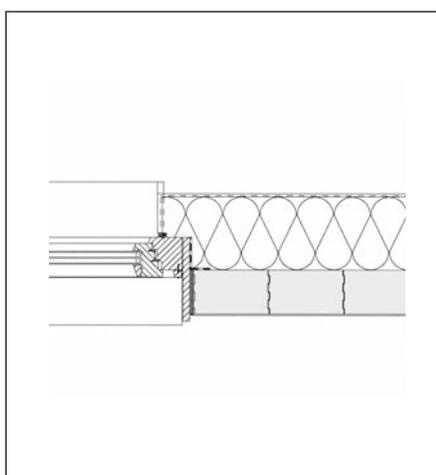
a = 20 cm	a = 25 cm	a = 30 cm
$\Psi = -0,067$	$\Psi = -0,064$	$\Psi = -0,061$

Fenster – Brüstung



	a = 0 cm	a = 2 cm	a = 4 cm
b = 20 cm	$\Psi = -0,022$	$\Psi = -0,013$	$\Psi = -0,003$
b = 25 cm	$\Psi = -0,027$	$\Psi = -0,017$	$\Psi = -0,006$
b = 30 cm	$\Psi = -0,030$	$\Psi = -0,020$	$\Psi = -0,009$

Fenster – Sturz



	a = 2 cm	a = 4 cm	a = 6 cm
b = 20 cm	$\Psi = -0,071$	$\Psi = -0,078$	$\Psi = -0,085$
b = 25 cm	$\Psi = -0,069$	$\Psi = -0,077$	$\Psi = -0,085$
b = 30 cm	$\Psi = -0,067$	$\Psi = -0,075$	$\Psi = -0,084$

Fenster – Leibung

FENSTER

Transparente Flächen bilden die wärmetechnisch schwächsten Bauteile eines Gebäudes mit dem höchsten Wärmedurchgang. Dies gilt für die längste Zeit der Heizperiode – für die Nächte und die strahlungsarmen Tage. Durch die solare Einstrahlung kann jedoch in der Gesamtbilanz ein Wärmegewinn durch die Fensterfläche gegeben sein. Voraussetzung dafür ist eine günstige Ausrichtung, weitgehende Verschattungsfreiheit, eine optimierte Größe der Fensterflächen und eine sehr gute Ausführung von Verglasung, Rahmen und Einbaudetails.

Nahezu alle Hersteller bieten Fenster mit Passivhaus Qualität an, ein großer Anteil dieser Fenster ist vom Passivhaus Institut zertifiziert [1]. Der U_w -Wert liegt dabei unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, im eingebauten Zustand unter $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Ermittelt werden die Werte für ein Standardfenster von $1,23/1,48 \text{ m (b/h)}$. Folgende Aspekte sind bei den Fenstern zu beachten:

- Verglasung mit $U_g \leq 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- wärmebrückenminimierter Randverbund der Verglasung mit einem thermisch optimierten Abstandshalter aus Kunststoff oder Edelstahl (mit einer sehr geringen Wandstärke unter $0,2 \text{ mm}$) und einem daraus resultierenden Verlustkoeffizienten Ψ_g im Bereich von $\leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$,
- Rahmenausführung mit einem möglichst niedrigen Fensterrandverbundkoeffizienten Ψ_p
- hoher Glaseinstand des Randverbundes in den Rahmen,
- Wärmebrückenreduzierung beim Einbau durch hohe Rahmenüberdeckung mit Dämmung.

Da der Randverbund den kältesten Bereich des Fensters bildet, haben großflächige Fenster bei gleicher Ausführung die besten wärmetechnischen Eigenschaften. Bei Fensterteilungen, Sprossen und kleinen Fensterformaten liegen die U_w -Werte durchaus um $0,1$ bis $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ schlechter. Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs wird im Rahmen der PHPP-Berechnung der Einzelnachweis der Fenster durchgeführt [2]. Fenstergrö-

ßenoptimierung im Vorentwurfsstadium sollte allerdings nicht nur hinsichtlich der thermischen Optimierung durchgeführt werden.

Ebenso wichtig sind Formate, die kostengünstig gefertigt werden können, was von Hersteller zu Hersteller variieren kann. Vorteilhaft für das Erreichen des Passivhaus-Standards ist ein möglichst günstiger Energiedurchlassgrad der Scheiben – vor allem der südausgerichteten Fenster – von mindestens $0,5$, im Optimalfall $0,6$. Zudem ist es sehr hilfreich, die Verschattungssituation genau zu betrachten und beim Entwurf zu optimieren: Dabei sind neben Verschattungen aus der umgebenden Topografie, Gebäuden und Bäumen auch gebäudeeigene Aspekte wie Überstände, Versprünge sowie die Tiefe der Fensterleibungen zu beachten. Ein nicht unwesentlicher Bonus kann sich in der Berechnung ergeben, wenn seitliche Solarstrahlung genutzt werden kann, indem die Glasebene möglichst weit nach außen positioniert wird oder die Leibungen seitlich angeschrägt sind und dadurch die schräg einfallende Solarstrahlung besser nutzbar wird.

Passivhausfenster verbessern den bisher bauphysikalisch schwächsten Punkt von Gebäuden so grundlegend, dass bei üblichen Fensterhöhen kein thermischer Ausgleich durch Heizkörper vor den Fenstern zur Erzielung ausreichender Behaglichkeit mehr erforderlich ist. Bei sehr kalten Außentemperaturen fallen die Werte an der



Sonderlösung mit beliebigen Formen

Innenseite der Scheiben kaum unter 16 bis $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Aufgrund dessen ist es möglich, bei Passivhäusern die Heizwärmezufuhr vollständig von den bisher gängigen Behaglichkeitsanforderungen zu trennen. Die Wärmezufuhr kann also auch über die Lüftungsanlage oder Heizkörper auf der Innenseite der Gebäude erfolgen.

Fenster erhalten beim Passivhaus als Gestaltungselemente neue Aspekte – die beschriebenen Anforderungen können Auswirkungen auf den Entwurf haben. Viele gebaute Passivhäuser zeigen inzwischen, dass die Architektursprache dadurch nicht eingeschränkt, sondern dass durch sie bei konsequenter Anwendung eher noch mehr gestalterischer Freiraum gegeben wird.

Verglasungs-Standards

Bezeichnung	U -Wert ¹⁾ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Füllung	Metalloxid-Beschichtung	g -Wert Energiedurchlass	T_L Lichtdurchlass	Oberflächentemperatur ²⁾
Einfachverglasung	5,2/5,8	nein	nein	0,92	0,94	-1,8 °C
Zweifach-Isolierverglasung	2,6/3,0	Luft	nein	0,77	0,79	9,8 °C
Zweifach-Wärmeschutzverglasung	1,1/1,2	Argon	ja	0,60	0,76	15,4 °C
Dreifach-Wärmeschutzverglasung	0,6/0,7	Argon	ja	0,50–0,55	0,66	17,5 °C
Dreifach-Wärmeschutzverglasung	0,5/0,6	Krypton	ja	0,43–0,48	0,66	18,1 °C
Dreifach-Wärmeschutzverglasung	0,6/0,7	Krypton	ja	0,60	0,75	17,5 °C
Zweifach-Vakuumbverglasung	0,5	Vakuum	ja	0,60	0,75	18,1 °C

¹⁾ Messwerte/Werte nach Bundesanzeiger

²⁾ Oberflächentemperatur der Scheibe innen bei $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ Außentemperatur und $20 \text{ }^\circ\text{C}$ Raumlufttemperatur

LUFT- UND WINDDICHTHEIT

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) fordert Luftdichtheit in § 6 und präzisiert die Anforderungen in Anlage 4: „Wird bei Anwendung des § 6 Absatz 1 Satz 3 eine Überprüfung der Anforderungen nach § 6 Abs. 1 durchgeführt, darf der nach DIN EN 13 829: 2001-02 bei einer Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom – bezogen auf das beheizte oder gekühlte Luftvolumen – bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen 3,0 h⁻¹ und mit raumluftechnischen Anlagen 1,5 h⁻¹ nicht überschreiten.“ Ansonsten wird auf den Stand der Technik verwiesen. In DIN 4108, Teil 7 wird die Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen behandelt und es werden Planungs- und Ausführungsempfehlungen gegeben.

Bei Passivhäusern gelten erhöhte Anforderungen an die Luftdichtheit: Der n₅₀-Wert beträgt ≤ 0,6 h⁻¹. Eine luft- und winddichte Ausführung bewirkt für den Nutzer zahlreiche Vorteile:

- Vermeidung von baukonstruktiven Schäden, die aufgrund von Kondensatanfall bei Abkühlung der durchströmenden Luft in Leckagebereichen entstehen können
- funktionsfähige Wärmedämmung, deren Wirkung nicht durch Luftströme reduziert wird
- effizienter Luftschallschutz ohne Senkung des Schalldämm-Maßes durch Undichtheiten



Blower-Door-Messung

- höhere Luftqualität ohne unkontrollierte Luftströme, die Schadstoffe und Fasern aus Konstruktionen oder durch die Thermik aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Mikroorganismen) eintragen
- gezielter Luftwechsel durch Lüftungsanlagen statt Luftaustausch durch Winddruck oder Thermik (hoher Luftaustausch nur in unerwünschten Wettersituationen wie bei starkem Wind und in sehr kalten Witterungsperioden)
- nahezu vollständiger Luftwechsel über den Wärmetauscher der Zu-/Abluftanlagen – Leckage-Luftwechsel von 0,1 h⁻¹ entsprechen Lüftungswärmeverlusten von etwa 5 bis 7 kWh/(m²a)
- thermischer Komfort durch Vermeidung von Zugerscheinungen, Kaltluftseen und vertikaler Temperaturschichtung
- verringerter Heizenergieverbrauch.

Der Nachweis der Dichtheit eines Gebäudes nach DIN EN 13829 wird mittels eines Blower-Door-Tests durchgeführt. Durch einen Ventilator in einer dicht eingebauten Blower-Door wird eine Druckdifferenz erzeugt. Der resultierende Luftvolumenstrom für die Unterdruck- als auch Überdruckmessung wird für die Druckdifferenz von 50 Pascal ermittelt. Gewöhnlich liegen die beiden Werte eng beieinander, sofern kein Klappenventil-Effekt einer Leckage vorliegt oder die Windeinflüsse zu hoch sind. Der Mittelwert ist der gemessene n₅₀-Wert. Bei Unterdruck können mittels Anemometer, durch Nebel oder Infrarot-Thermografie Leckagen festgestellt werden. Die Kosten von Blower-Door-Messungen liegen für eine Wohneinheit bzw. ein Haus bei etwa 300 bis 600 € und umfassen die Installation der Messtechnik, die Begehung des Gebäudes zur Feststellung der Leckagen sowie ein Messprotokoll, in dem der n₅₀-Wert dargestellt wird.

Der Test sollte ausgeführt werden, sobald alle luftdichtenden Bauteile eingebaut sind, jedoch bevor die darüber liegenden Verkleidungen ausgeführt werden, üblicherweise nach Fenstereinbau, Ausführung der Dampfbremse und des Innenputzes. Sind Handwerker erstmals bei solch einem Bauvorhaben involviert, ist es empfehlenswert, sie zur Messung einzuladen. Die Erfahrung zeigt, dass die Nachbesserung von Luftundichtheiten während des Blower-Door-Tests am zielführendsten ist. Selbst detaillierte Mängelprotokolle können Handwerkern nicht in der Deutlichkeit die Leckagen nahe bringen, wie dies mit Anemometer

oder Nebelröhrchen während des Tests gezeigt werden kann.

Undichtheiten treten üblicherweise an folgenden Stellen auf:

- nicht verputzte Flächen und Durchdringungen im Außenmauerwerk und doppelschaligen Haustrennwänden, z.B. hinter Vorwandinstallationen, Anschlüssen von Trockenbauwänden, unsaubere Putzanschlüsse zum Boden im Bereich des Estrichs etc.
- Anschlüsse zwischen massiven Bauteilen und Leichtbaukonstruktionen; hierbei ist zu beachten, dass Anschlüsse auch bei den vorhersehbaren Setzungen und Bewegungen dicht bleiben müssen.
- Anschlüsse von Dichtungsmaterialien innerhalb von Leichtbaukonstruktionen
- jede Form von Durchdringung bei Holzkonstruktionen, z.B. Anschluss von Pfetten, Zangen etc. bei Dachstühlen, Anschlüsse von Gauben, Deckenaufslagern etc.
- Fensteranschlüsse zum Rohbau rundum sowie Fugen zwischen Stockrahmen und Fensterflügel; besonders anfällig sind Haustüren an den oberen und unteren Anschlagsseiten; Dichtheit ist im Allgemeinen nur durch Abschließen der Haustür zu erreichen.
- Elektro Dosen und Leerrohre, welche die dichtende Putzebene von Außenbauteilen durchdringen oder innerhalb des Gebäudes in einen unbeheizten Bereich führen (z.B. Leerrohre zum Keller)
- Installationsleitungen von Sanitär, Heizung und Lüftung, die dichten Ebenen durchstoßen; auf eine schadensträchtige Entwässerungs-Dachentlüftung kann z.B. mittels einer internen Entlüftung verzichtet werden.

Diese Liste stellt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Gute Ergebnisse werden nur dann erzielt, wenn bereits beim Entwurf auf ein einfaches Gebäudekonzept mit möglichst wenigen Materialübergängen geachtet wird, bei der Werkplanung die Details hinsichtlich der Dichtheit optimiert werden und bei der Bauüberwachung gezielt die Handwerker zur sorgfältigen Arbeit angehalten werden.

NEUBAU IM PASSIVHAUS STANDARD

HERMAN-NOHL-SCHULE IN OSNABRÜCK

„Du bist willkommen! – Wir machen dich stark!“ Das ist der Leitsatz an der Herman-Nohl-Schule, einer öffentlichen Förderschule mit dem Schwerpunkt „Emotionale und soziale Entwicklung“. Dort werden 130 Schülerinnen und Schüler in der Primarstufe (1. bis 4. Schuljahrgang) und im Sekundarbereich (5. bis 9. Schuljahrgang) von gut dreißig Lehrkräften und Sozialpädagogen unterrichtet.

Der Entwurf von ReindersArchitekten nimmt direkten Bezug auf die pädagogische Ausrichtung der Herman-Nohl-Schule in Osnabrück. Neben der Umsetzung des vorgegebenen Raumprogramms war die konsequente Trennung von Primarbereich und Sekundarbereich eine wesentliche Vorgabe. Dies wird durch einen nach Süden ausgerichteten aufgefächerten Entwurf aus zwei autarken Gebäudeteilen mit getrennter Erschließung und eigenen Pausenhof- und Freiflächen erreicht. Eine zentrale Aula bildet den Verbindungspunkt zwischen den Gebäudeflügeln in Verbin-



ReindersArchitekten: Dipl.-Ing. Bettina Purschke-Haack, Dipl.-Ing. Axel Winter und Dipl.-Ing. Klemens Hölscher

dung mit der Nutzung als Pausen-Aufenthaltsbereich und als Cafeteria.

Alle Klassenräume und Aufenthaltsräume wurden konsequent nach Süden ausgerichtet, so dass solare Gewinne sinnvoll genutzt werden können und zugleich der sommerliche Eintrag durch das stimmige Verschattungskonzept gering gehalten werden kann. Getreu der passiven Solar-

architektur werden Nebenräume (WC- und Technikräume) nach Norden angeordnet und Fensterflächen in diesem Bereich minimiert.

Der pädagogische Anspruch stellt sich auch im Entwurf dar: Es sollen gesunde und behagliche Räume geschaffen und den Schülern zugleich der Wert von Ökologie und Energieeffizienz erfahrbar gemacht werden. All diese Aspekte entsprechen den Ansätzen der Passivhaustechnik.



Gebäudehülle & Konstruktion

Die Außen- und Innenwände des Gebäudes wurden mit Kalksandsteinmauerwerk errichtet, z.T. aus statischen Gründen in Verbindung mit Stahlbetonstützen. Die Konstruktion der Außenwände besteht aus Kalksandstein, $d = 24$ cm, mit außenseitigem Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol mit einer Dicke von 30 cm. Der sich daraus ergebende U -Wert beträgt $0,10$ $W/(m^2K)$. Innenwände wurden nach Statik sowie nach den Anforderungen des Schallschut-



Südostansicht

zes ausgelegt. So wurden zwischen den Klassenräumen Wände mit 24 cm Dicke und hoher Rohdichte ausgeführt, zwischen unterschiedlichen Funktionsbereichen mit sehr hohen Schallschutzanforderungen mit 30 cm Dicke.

Der Bodenplattenaufbau besteht aus dem Bodenbelag, dem Estrich mit 8,4 cm Aufbauhöhe der Trittschall- und Wärmedämmung mit 6 cm, der Feuchtigkeitsabdichtung aus Bitumenbahn und Stahlbeton 45 cm auf Glasschaumschotter 50 cm mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,17 \text{ W/(mK)}$. Der U -Wert liegt bei $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Das nach Süden geneigte Dach ist mit Tonziegeln gedeckt und fast vollständig mit einer Photovoltaikanlage versehen. Die Tragkonstruktion besteht aus FJI Stegträgern 406 mm, einer kostengünstigen Passivhauskonstruktion mit ausreichend Dämmdicke für die Zellulosedämmung mit $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$. Darunter befindet sich raumseitig OSB-Schalung als luftdichtende Ebene, eine gedämmte Installationsebene mit 4 cm Aufbauhöhe, die mit einer doppelten Lage Gipskartonplatten verkleidet ist. Das Dach weist einen sehr guten U -Wert von $0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ auf.

Die Fenster wurden als Holz-/Alukonstruktion mit gedämmtem Rahmen und Dreifach-Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Der Rahmen- U -Wert beträgt $U_f = 0,73 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und wurde in Verbindung mit Dreischeibenverglasung mit Argonfüllung $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und einem g -Wert von 0,52 ausgeführt. Der resultierende U_w für die Fenster beträgt im Mittel $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die Außentüren des Gebäudes wurden in gedämmter thermisch getrennter Aluminiumkonstruktion erstellt mit nur geringfügig schlechteren Kennwerten als die Fenster.

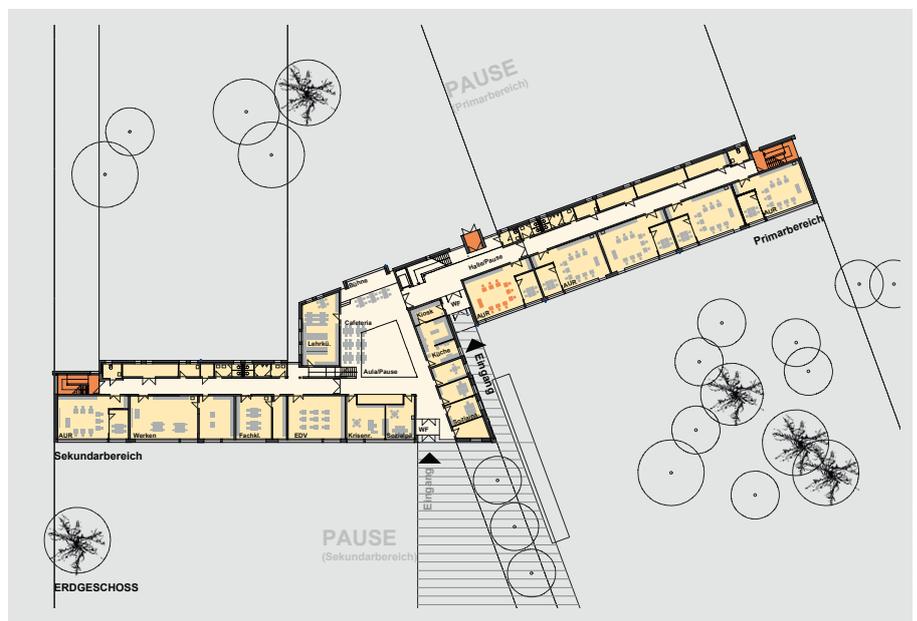
Der Blower-Door-Test zum Nachweis der Luft- und Winddichtheit führte zu einem n_{50} -Wert von $0,4 \text{ h}^{-1}$.



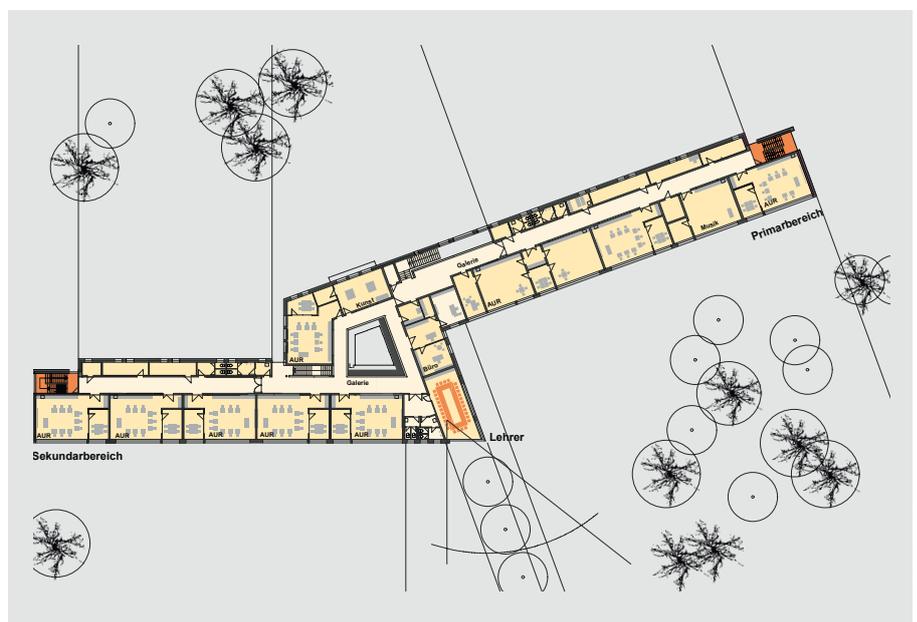
Klassenzimmer



Südansicht - westlicher Bereich des Sekundarbereichs



Grundriss EG



Grundriss OG



Rohbau

Foto: ReindersArchitekten



Detailfoto Fenster



Technikzentrale: Lüftung



Foyer



Lüftung, Heizung & Warmwasser

Die Gebäudetechnik für die Schule befindet sich äußerst platzsparend im obersten Teildreieck des Pultdaches über dem Flur des Obergeschosses und kann durch eine Einschubtreppe komfortabel zur Wartung erreicht werden. Die dort untergebrachte Lüftungsanlage wurde auf Betreiberwunsch bewusst mit einem erhöhten Luftwechsel von 40 m³ pro Stunde und Person ausgelegt, um sicher zu gehen, dass auch bei schwierigen Klassensituationen eine hygienisch und olfaktorisch gute Raumluftqualität gegeben ist. Für jedes der beiden Gebäudeteile wurde eine eigene Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mit einem regenerativen Wärmetauscher mit 91 % Wärmebereitstellungsgrad installiert.

Die Lüftungsanlage ist nur während der Nutzungszeiten in Betrieb und schaltete sich morgens zwei Stunden vor Schulbeginn ein.

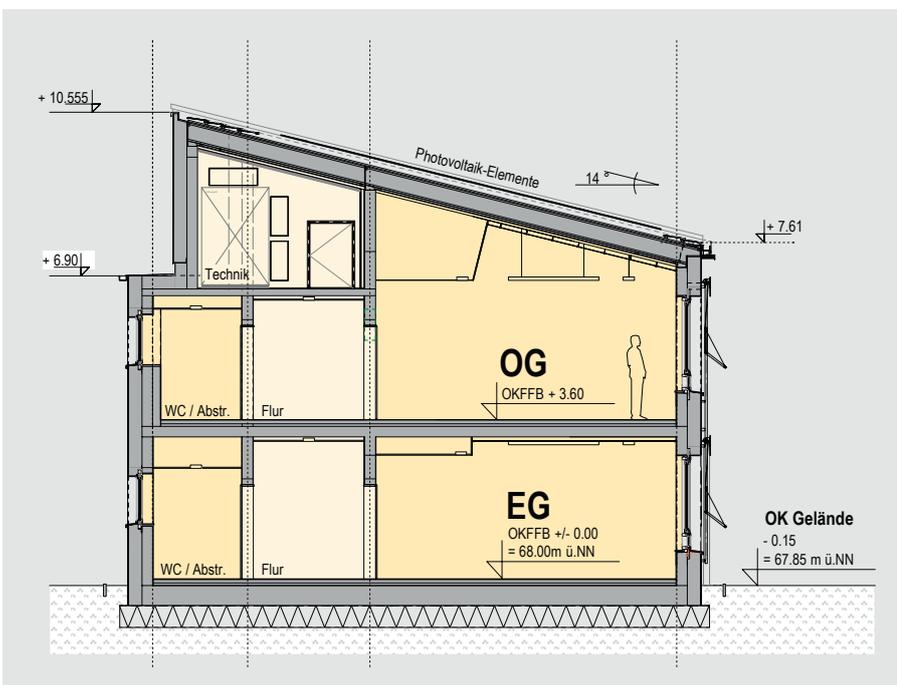
Die Lüftungsverteilung erfolgt horizontal jeweils in den rückwärtigen Bereichen der Klassenräume. Die Zuluftelemente sind direkt an dieser Leitung positioniert. Die Abluftelemente sind direkt unterhalb der Garderoben in den Klassenräumen untergebracht, um Feuchte von den Jacken und Mänteln bei Regensituationen direkt abzusaugen.

Die Heizwärmeverteilung erfolgt ausschließlich über die Lüftungsanlage. Die Rückmeldung seitens der Nutzer aus dem ersten Nutzungsperiode hierzu ist äußerst positiv: Trotz des sehr kalten Winters war eine hohe Behaglichkeit gegeben.

Über eine Gas-Brennwerttherme wird eine Heizleistung von ca. 45 kW bereit gestellt. Das entspricht einer Heizlast von 13 W pro m² Nutzfläche. Die dezentrale Warmwasserbereitung geschieht auf Grund des sehr geringen Bedarfs über Elektro-Durchlauferhitzer.

Der sommerliche Wärmeschutz erfolgt einerseits durch das bereits beschriebene Konzept der konsequenten Südausrichtung in Verbindung mit durchgängigen Verschattungssystemen mit Raffstores auf der Außenseite der Fenster. Dazu kann eine freie Nachtlüftung gezielt durchgeführt werden, was laut Aussage des Hausmeisters zu sehr angenehmen Innentemperaturen während des Schulbetriebs auch bei hochsommerlichen Außenverhältnissen führt.

Die Besichtigung des Gebäudes erfolgte in einer Hitzeperiode mit 35 °C Tagestemperaturen in den Mittagsstunden. Trotz Urlaubszeit und damit verbundener Stilllegung der Verschattung war bei unverschatteten Fenstern je nach Lage des Raumes eine Temperatur 7 bis 12 °C unterhalb der Außenlufttemperatur im Gebäude anzutreffen.



Schnitt

Bild: ReindersArchitekten

Das Dach wurde großflächig mit Photovoltaik-Modulen versehen, indem die Fläche an einen Investor vermietet wurde. Die installierte Leistung beträgt ca. 140 kW_{peak} und führt bei einem spezifischen Ertrag von zurückhaltend angesetzten 900 kWh pro kW_{peak} zu einem jährlichen Stromeintrag von 126 000 kWh, das sind 38,7 kWh pro m² Nutzfläche Endenergie und somit gut 100 kWh/(m²a) Primärenergieertrag.

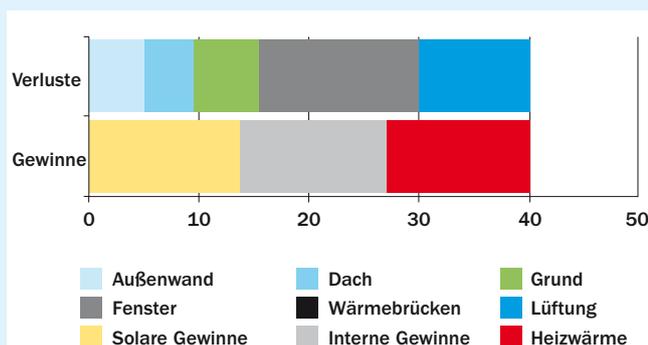
Resümee

Die neue Herman-Nohl-Schule ist ein gutes Beispiel dafür, wie durch gelungene Architektur in Verbindung mit einem engagierten Schulkonzept für Schüler und Lehrer eine fruchtbare Atmosphäre geschaffen werden kann. Auf den Besucher macht die Schule beim Betreten einen offenen und freundlichen Eindruck, der sich auch in der Gestaltung der Klassenzimmer fortsetzt. Es

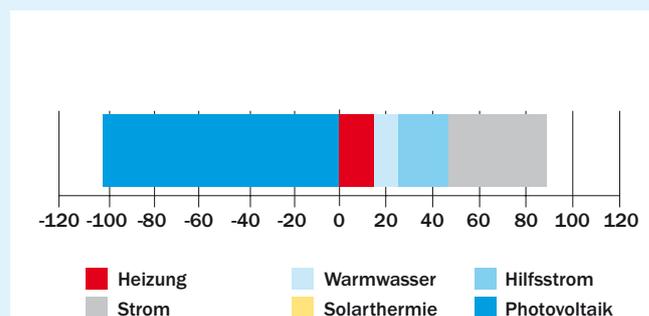
ist spürbar, dass sich Schüler und Lehrer in diesen Räumen wohl fühlen und beste Voraussetzungen für ein konstruktives Miteinander gegeben sind.

Projektdaten

Objekt	Herman-Nohl-Schule in 49090 Osnabrück
Bauherr	Stadt Osnabrück, Eigenbetrieb Immobilien + Gebäudemanagement, FB Schule + Sport, 49074 Osnabrück
Wohn-/Nutzfläche	Nutzfläche 3442 m ²
Konstruktion	
Außenwand	1,5 cm Innenputz, 24 cm Kalksandsteinmauerwerk, Außenverkleidung mit 30 cm WDVS, $\lambda = 0,032 \text{ W/(mK)}$; U-Wert = 0,10 W/(m²K)
Bodenplatte	1,5 cm Fliesen, 8,4 cm Estrich, 6 cm Trittschall-PSP-Dämmung, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 0,5 mm Bitumenbahn, 45 cm Stahlbeton, 50 cm Glasschaumschotter, $\lambda = 0,17 \text{ W/(mK)}$, U-Wert = 0,2 W/(m²K)
Dach	PV-Module, Tonziegel, Lattung/Konterlattung 40/60 mm, diffusionsoffene Vordeckbahn, diffusionsoffene Schalung aus DWD-Platten, FJI Stegträger/Zellulosedämmung 406 mm, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 1,25 cm OSB-Schalung als luftdichtende Ebene, Installationsebene mit Lattung und 4 cm Steinwoll-Dämmung, $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$, 2,5 cm Gipskartonplatten, U-Wert = 0,09 W/(m²K)
Fenster	Dreifachverglasung mit gedämmter Holz-/Alukonstruktion U_f = 0,73 W/(m²K) , U_g = 0,6 W/(m²K) , g-Wert 0,52, Glasrandverbund $\Psi = 0,034 \text{ W/(mK)}$, U_w = 0,8 W/(m²K)
Eingangstüren	gedämmte Aluminiumrahmenkonstruktion
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$
Gebäudetechnik	
Lüftung	2 x Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Fabrikat: Menerga, Lüftungsvolumen jeweils ca. 6500 m ³ /h (40 m ³ /h pro Person bei Vollbelegung); regenerativer Energietauscher mit Wärmebereitstellungsgrad = 0,91
Heizung und Warmwasser	Gas-Brennwerttherme ca. 45 kW Heizleistung; dezentrale Warmwasserbereitung über Elektro-Durchlauferhitzer
Übertragung Heizwärme	Die Beheizung des Gebäudes erfolgt ausschließlich über die Lüftungsanlage.
Sanitärbereich	Einsparung von Trinkwasser durch Einsatz von Wasserlosen Urinalen
Elektrokonzept	Beleuchtung der einzelnen Räume über Präsenzmelder, Brandmeldeanlage, Sicherheitsbeleuchtung
Photovoltaik	Photovoltaikanlage mit ca. 140 kW _{peak} auf dem Dach
Einsatz erneuerbarer Energien	Plusenergiebilanz auf Grund des Einsatzes einer Photovoltaikanlage
Baukosten	1400 €/m ² Nutzfläche (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.)
Baujahr	Fertigstellung 2/2010
Architekten	ReindersArchitekten BDA, 49080 Osnabrück
Planung Gebäudetechnik	Ing. Ges. Ostendorf + Partner, 49477 Ibbenbüren
Passivhausbetreuung	Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe, Hannover



Energetische Bilanzierung des Heizwärmebedarfs: Gewinne und Verluste [kWh/(m²a)]



Primärenergiebilanz (Bereiche Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom weisen eine Plusenergiebilanz auf)

WOHNEN FÜR SENIOREN IM PASSIVHAUS STANDARD

KLAUS-BAHLSSEN-HAUS IN HANNOVER

Die vierzehn Teilnehmer des Wettbewerbs zum Klaus Bahlsen Haus hatten ein sehr umfangreiches Raumprogramm für ein Seniorenwohnheim mit besonderen Anforderungen auf einem sehr engen Grundstück unterzubringen. Das Gebäude in direkter Nähe zum Ortszentrum Bothfeld in Hannover sollte vier Hausgemeinschaften für insgesamt 48 pflegebedürftige Personen bereitstellen und den Bewohnern das Gefühl vermitteln, weiterhin in einer Wohnung zu leben, jedoch in Verbindung mit den notwendigen Pflegeangeboten. Für die Architekten Pfitzner und Moorkens war ein Hauptanliegen, dass alle Zimmer ausreichend Sonne erhielten, so dass eine Ost-West-Ausrichtung der Gebäude als Grundprinzip gewählt wurde. Zwei parallele zweigeschossige Baukörper mit je zwei Wohngruppen werden durch einen quer liegenden Eingangsbereich verbunden. Die jeweils zwölf Bewohner der vier Wohngruppen sollen möglichst unabhängig mit eigener Küche und Essbereich zusammen



Fotos: (pfitzner moorkens) architekten

Architekten Hubert Pfitzner, Maria Pfitzner und Serge Moorkens

leben. Das Kochen wird in einigen dieser Gruppen zu großen Teilen selbst erledigt – mit Unterstützung des Heimpersonals.

Die Flurflächen der Wohngruppen sind trotz der knapp bemessenen Fläche sehr offen und vielseitig nutzbar gestaltet. Der Gang öffnet sich zum Küchen- und Essbereich, zum Gemeinschaftsbereich mit Sitzgelegenheit und Fernsehraum. Ein vielfältig nutzbarer zweigeschossiger Raum mit Verbindung zur unteren bzw. oberen Ebene grenzt an eine wintergartenähnliche helle Situation mit Sitzgruppe. Es besteht Raum für Hausgemeinschaften, deren Alltagslichkeiten sich an familiären Abläufen orientieren. Es kann Gemeinschaft gelebt werden bei ausreichenden Angeboten an Privatsphäre mit Rückzugsmöglichkeiten.

Die Passivhausanforderung kam erst nach Abschluss des Wettbewerbs als zusätzliche Anforderung hinzu. Eine kostengünstige Lösung wurde auf dem Weg gefunden, dass die opaken Bauteile mit ihren jeweiligen Anschlüssen jeweils hinsichtlich ihrer U - und Ψ -Werte optimiert wurden. Für die Fenster waren Simulationen mittels Passivhaus Projektierungs Paket erforderlich, um möglichst günstige Formate und Flächenanteile zu erhalten. Unterstützt wurden die Architekten durch das Büro Grobe, das große Erfahrung im Bau von Passivhäusern aufweist.



Gebäudehülle & Konstruktion

Die Außenwandkonstruktion besteht aus Kalksandstein, $d = 17,5$ cm mit einem Wärmedämmverbundsystem, $d = 26$ cm mit $\lambda = 0,035$ W/(mK) und einem U -Wert von $0,13$ W/(m²K). Tragende Innenwände wurden ebenfalls aus Kalksandsteinmauerwerk erstellt. Die Außenwände im Untergeschoss bestehen aus WU-Beton mit 20 cm Perimeterdämmung.



Foto: Frank Aussteier

Ansicht Südwest



Ansicht von Norden

Die Bodenplattenkonstruktion besteht aus dem raumseitigen Belag, Estrich, 2 cm Trittschalldämmung und 8 cm PS-Wärmedämmung auf der Bitumenabdichtung. Die Bodenplatte besteht aus Stahlbeton auf 30 cm Schaumglasschotter mit einem λ -Wert von 0,14 W/(mK), der auf einer Geotextilbahn aufgebracht wurde. Im Kellergeschoss befinden sich unterhalb der Bodenplatte XPS-Dämmschaumplatten 12 cm $\lambda = 0,035$ W/(mK)). Der U -Wert liegt bei 0,17 W/(m²K).

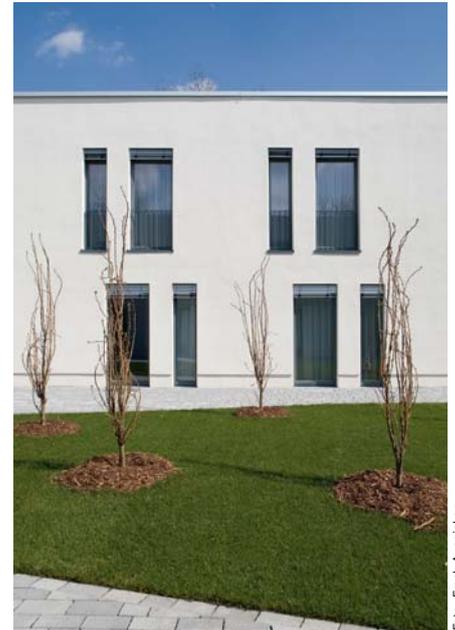
Die Flachdachkonstruktion wurde als Warmdach ausgeführt auf einer Stahlbetondecke mit 22 cm extrudiertem Polystyrol als Wärmedämmung mit einem λ -Wert von 0,031 W/(mK). Die darauf befindliche Gefälledämmung ist mit $\lambda = 0,040$ W/(mK) ausgeführt. Auf dem anschließenden Abdichtungssystem befindet sich ein extensiv begrüntes Dach. Die Attikaaufkantung besteht aus einer Holzkonstruktion mit einer Schüttdämmung aus XPS-Granulat. Der U -Wert des Daches beträgt im Mittel 0,11 W/(m²K).

Für die beiden Baukörper mit den Wohngruppen wurden die Fenster im Bereich der Lochfassade als Holz-/Alukonstruktion mit gedämmtem Rahmen und Dreifach-Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Im Bereich der flächigen Verglasung wurde mit einer Pfosten-Riegel-Konstruktion gearbeitet. Der Rahmen weist im Mittel $U_f = 0,8$ W/(m²K) auf, die Verglasung $U_g = 0,7$ W/(m²K) in Verbindung mit einem g -Wert von 0,51. Der resultierende Wert für die Fenster liegt bei $U_w = 0,85$ W/(m²K). Kleinere Fenster stellen sich durch den hohen Rahmenanteil und die Auswirkung des Randverbands auf die kleinere Verglasungsfläche etwas ungünstiger dar.

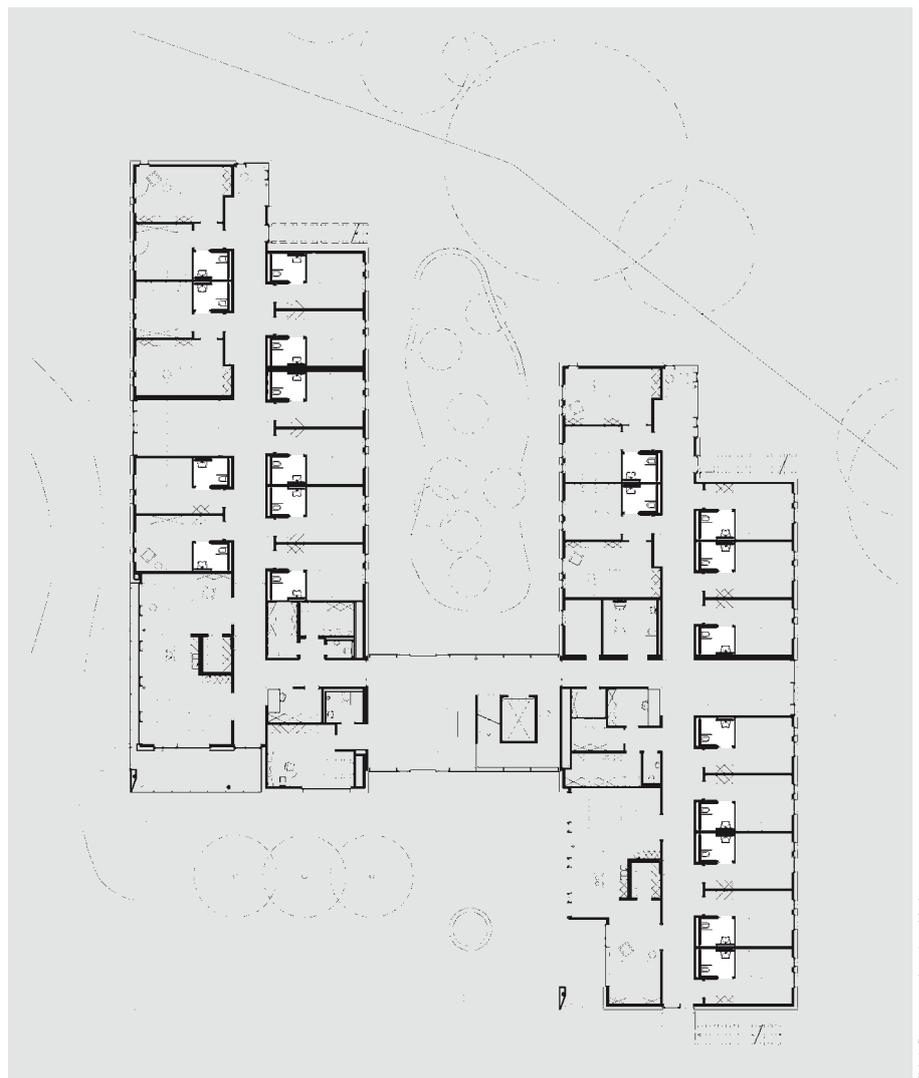
Die Wärmebrückenoptimierung war insbesondere deshalb für die Planer eine große Herausforderung, weil die Ursprungspannung nicht vom Passivhausstandard ausgegangen war. Schwierigster Punkt war der wärmebrückenminimierte Anschluss des



Nordansicht



Fenster im Wohnbereich



Grundriss EG



Rohbau

Foto: (piltzner moorkens) architekten



Einbau eines Fensters: barrierearme Schwelle



Technikzentrale

Balkontisches im Südwesten des Baukörpers, der inklusive des Sonnenschutzes freitragend vor der Fassade aufgestellt wurde und mit nur wenigen gezielten Fugenausbildungen gestalterisch als flächige Putzebene abschließt. In der Bilanz wird für die Anschlussdetails des Gebäudes Wärmebrückenfreiheit erzielt.

Luft- und Winddichtheit konnten aufgrund der vorgegebenen Details und der sorgfältigen handwerklichen Arbeit mit einem

sehr günstigen n_{50} -Wert von $0,38 \text{ h}^{-1}$ beim Blower Door Test nachgewiesen werden.



Lüftung, Heizung & Warmwasser

Die Planung eines Seniorenheims ist allein deshalb äußerst kostengünstig in Passivbauweise möglich, weil ohnehin ein

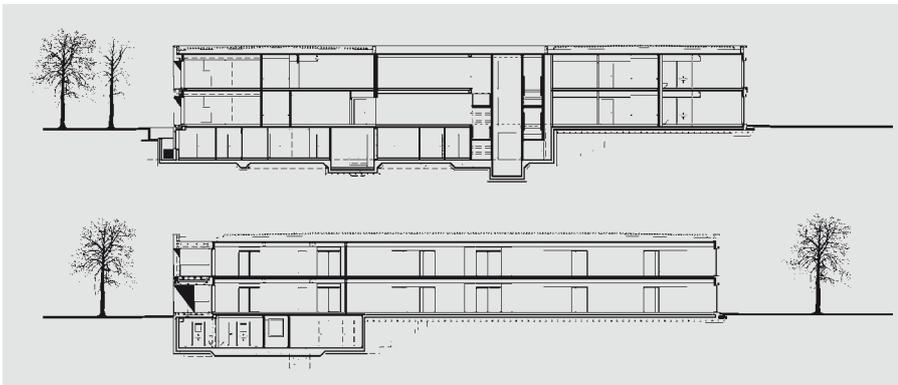
hochwertiges Lüftungssystem vorgesehen werden muss, um den Komfort zu sichern und Geruchsbelastungen zu vermeiden. Im Klaus-Bahlsen-Haus wurde eine zentrale Zu-/Abluftanlage mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 80 % eingebaut. Die stündliche Luftmenge beträgt 30 m^3 pro Person. Angesichts zusätzlicher Rege- lungsoptionen für Allgemeinbereiche und hinsichtlich des Betreuungspersonals führt das zu einer Gesamtauslegung der Anlage mit $5300 \text{ m}^3/\text{h}$. Das Vorheizregister für den erforderlichen Frostschutz wird über einen Sole-Erdreichwärmetauscher gespeist, der unter dem Gebäude verlegt ist.

Die Heizwärme wird über einen Fernwärmeanschluss der Stadt Hannover bereit gestellt mit einem sehr günstigen Primär- energiefaktor von 0,393. Die Wärme wird mit einem Nacherhitzer je Wohngruppe über die Lüftung auf die Räume übertragen. Zusätzlich ist in jedem Wohnraum ein zusätzlicher Heizkörper für Temperaturerhöhung bei Pflegearbeiten vorgesehen. Im üblichen Winterbetrieb werden diese Heizkörper jedoch nur sehr selten benutzt. Trinkwasser wird mittels Direkterwärmung über einen Heizwasserspeicher aufgewärmt.

Der sommerliche Wärmeschutz erfolgt mittels Verschattung der Fensterflächen in Verbindung mit manueller Nachtkühlung. Ein geringer zusätzlicher Effekt ist durch die Lüftungsanlage gegeben, die nachts kühle Luft einbringt und während des Tages mit einer Ansaugung im Schattenbereich für frische Außenluft mit möglichst niedriger Temperatur sorgt. Eine aktive Kühlung ist nicht vorgesehen.

Resümee

Im Garten des Seniorenheims befindet sich in Stein gehauen ein Mann mit Hund. Auf Nachfrage, wer dort abgebildet sei, entsteht unter den Angestellten der Einrichtung eine überraschend lang dauernde Diskussion mit eher offenem Ausgang. Nein, es sei nicht Klaus Bahlsen, das sei



Schnitt



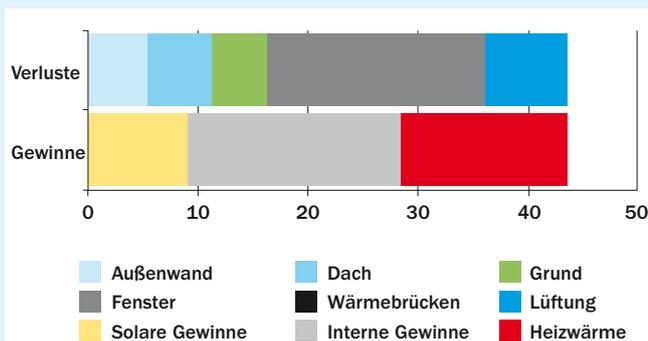
Fassadendetail: Balkontisch mit wärmebrückenoptimiertem Anschluss innerhalb der Putzfassade

ihm sicher nicht recht. Eine Ähnlichkeit konnte allerdings auch nicht verneint werden. Das Gebäude wurde zu seinem hundertsten Geburtstag fertig gestellt.

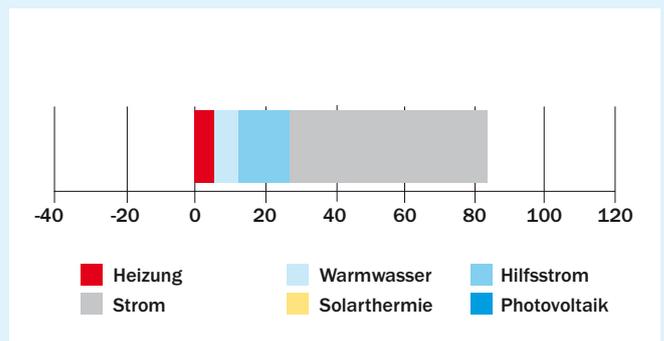
So mag er also inkognito viele Menschen begleiten, die in diesem wunderschönen Haus ihren zumeist letzten Lebensabschnitt verbringen.

Projektdaten

Objekt	Klaus-Bahlsen-Haus in 30659 Hannover
Bauherr	Landeshauptstadt Hannover Betrieb Städtische Alten- und Pflegezentren mit Unterstützung der Rut- und Klaus- Bahlsen-Stiftung
Wohn-/Nutzfläche	Nutzfläche ca. 2.220 m ² /Nettogeschossfläche ca. 3.130 m ² Bruttogeschossfläche ca. 3.600 m ² /Brutto Rauminhalt ca. 12.400 m ³
Konstruktion	
Außenwand	1,5 cm Gipsputz, 17,5 cm Kalksandstein, 26 cm WDVS, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$, $U = 0,128 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Untergeschoss: WU-Beton, 20 cm Perimeterdämmung, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$
Bodenplatte	Oberboden, Estrich, 2 cm Trittschall- und 8 cm Polystyrol-Dämmung, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$, Abdichtung Bitumenbahn, 30 cm Stahlbeton-Sohle, PE-Folie, 30 cm Schaumglasschotter, $\lambda = 0,14 \text{ W}/(\text{mK})$, KG: 12 cm XPS, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$, Geotextil-Bahn $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Dach	Stahlbetondecke, 22 cm EPS, $\lambda = 0,031 \text{ W}/(\text{mK})$, Gefälledämmung, $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{mK})$, 36 cm Gesamtdicke i. M., Abdichtungssystem, extensiv begrüntes Dach, $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fenster	Holz-Alu Pfostenriegel Fassade, Fenster Lochfassade, Dreifachverglasung, Holzprofile therm. getrennt, $U_f = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert = 0,51, $U_w = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Luftdichtheit	Blower-Door-Test: $n_{50} = 0,38 \text{ h}^{-1}$
Gebäudetechnik	
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit 80 % Wärmerückgewinnung, Fabrikat: Menerga, Luftmenge 5.300 m ³ /h (30 m ³ /h pro Person); Erdreich-Wärmetauscher mit Solewasser unter dem Gebäude
Heizung und Warmwasser	Fernwärmeeinspeisung der Stadt Hannover, Heizwasserspeicher mit Trinkwasserdirekterwärmung, Trinkwasserleitung in den WC-Zellen stagnationsfrei verlegt
Übertragung Heizwärme	Heizung über Luft, Nacherhitzer je Wohngruppe, zusätzliche Heizkörper für Temperaturerhöhung bei Pflegearbeiten
Sanitärbereich	Barrierefreie Ausstattung der WC-Zellen für die Bewohnerzimmer, Pflegearbeitskombinationen und Pflegebadewanne je Wohngruppe
Baukosten	1.880 €/m ² Nettogeschossfläche (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.)
Baujahr	2008
Architekten	(pfitzner moorkens) architekten, 30161 Hannover
Planung Gebäudetechnik	HLS: Planungsgruppe VA, Hannover Elektrofachplanung: Planungsgruppe VA Eletan GmbH, Hannover
Sonstiges	Projektsteuerung: Fachbereich Gebäudemanagement Hannover Statik: Drewes & Speth, Hannover Bodengutachten: ELH Ingenieure, Hannover Passivhausberatung: Carsten Grobe, Hannover Außenanlagen: Stadt Hannover Fachbereich Umwelt und Stadtgrün Beleuchtungsplanung: (pfitzner moorkens) architekten, Hannover



Energetische Bilanzierung des Heizwärmebedarfs: Gewinne und Verluste [kWh/(m²a)]



Primärenergiebilanz

ZU-/ABLUFTANLAGEN MIT WÄRMERÜCKGEWINNUNG

Die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste über eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ist eine der wesentlichen Maßnahmen, um den niedrigen Energieverbrauch eines Passivhauses zu erreichen und zugleich für die Bewohner einen hohen Komfort und gute Raumluftqualität zu erzielen. Durch die Lüftungsanlage wird die Wärme der Abluft über einen Wärmetauscher auf die hereinströmende Außenluft übertragen. Um den hohen energetischen und technischen Ansprüchen eines Passivhauses gerecht zu werden, müssen das Gerät und die damit verbundene Anlage folgende Kriterien [3] erfüllen.

- Behaglichkeitskriterium: Eine minimale Zulufttemperatur von 16,5 °C wird vom Gerät ohne zusätzliche Einrichtungen auch bei einer Außenlufttemperatur von -10 °C erreicht.
- Effizienzkriterium (Wärme): Effektiver trockener Wärmebereitstellungsgrad $\eta_{WBG,t,eff} \geq 75 \%$, am Laborprüfstand mit balancierten Massenströmen auf der Außen-/Fortluftseite gemessen.
- Effizienzkriterium (Strom): Elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes inklusive Steuerung, jedoch ohne Frostschutzheizung $\leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ bei einer externen Pressung von 100 Pa.
- Dichtheit und Dämmung: Leckvolumenströme $\leq 3 \%$ des mittleren Volumenstromes des Wohnungslüftungsgerät-Einsatzbereiches entsprechend den DIBt-Richtlinien sowohl für Unter- als auch Überdruck.

- Abgleich und Regelbarkeit: Disbalance von maximal 10 % für Außen- und Fortluftmassenstrom bei Aufstellung des Gerätes innerhalb der wärmegeprägten Gebäudehülle bzw. Zuluft- und Abluft-Massenstrom bei Aufstellung des Gerätes außerhalb der wärmegeprägten Gebäudehülle.
- Schallschutz: Schalldruckpegel im Aufstellraum $\leq 35 \text{ dB(A)}$, in Wohnräumen $\leq 25 \text{ dB(A)}$ und in Funktionsräumen $\leq 30 \text{ dB(A)}$.
- Raumlufthygiene: Das Zentralgerät einschließlich Wärmeübertrager sollte einfach zu inspizieren und zu reinigen sein. Der Filterwechsel kann vom Betreiber (kein Fachpersonal) selbst durchgeführt werden, Filterqualitäten: Außenluftfilter als Feinfilter (F7) mit frontständiger Anordnung und Abluftfilter als Grobfilter (G4). Filterüberwachung sollte durch Druckdifferenzmessung an den Filtern erfolgen in Verbindung mit halbjährlichem Filterwechsel. Wird das Gerät im Sommer nicht betrieben, sollte der Filter vor der Wiederinbetriebnahme gewechselt werden. Der Gerätehersteller hat entweder durch Gerätebestandteile oder durch obligatorisch beigefügtes Zubehör dafür Sorge zu tragen, dass die Raumlufthygiene nach dem neuesten Erkenntnisstand sichergestellt wird.
- Frostschutzschaltung: Auch bei winterlichen Extremtemperaturen (-15 °C) muss sowohl ein Zufrieren des Wärmeübertragers als auch das Einfrieren eines hydraulischen Nachheizregisters ausgeschlossen werden. Beim ungestörten Frostschutzbetrieb muss die reguläre Funktion des Gerätes

dauernd sichergestellt sein (keine Außenluftunterbrechungsschaltung).

Erdwärmetauscher

Durch einen Erdwärmetauscher, der die Außenluft vorwärmt, kann der Wirkungsgrad einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung verbessert und das Einfrieren des Wärmetauschers verhindert werden. Es kann handelsübliches Rohrmaterial, z.B. Kabelschutzrohre HDPE, KG-Rohr oder spezifisches Material für Erdwärmetauscher verwendet werden. Als Querschnitte sind in Abhängigkeit von der Luftmenge für den Bereich einer Wohneinheit DN 150 oder DN 200 zu wählen. Länge und Anordnung ergeben sich aus der Anforderung an die minimale Lufttemperatur am Wärmetauscher des Gerätes. 15 bis 40 m Rohrlänge werden üblicherweise für ein Einfamilienhaus ausgeführt. Je höher die Erdüberdeckung (möglichst > 2,00 m oder Führung unterhalb der Bodenplatte) und je besser leitend das umgebende Erdmaterial (z.B. gut verdichtetes lehmiges Material), desto günstiger der Wirkungsgrad. Die Leitungen sollten mit mindestens 2 % Gefälle zu einem Reinigungs- und Entwässerungsschacht verlegt sein, damit Kondensat ablaufen kann, und mit einem Ansaugfilter ausgestattet sein. Zudem ist sicherzustellen, dass jederzeit eine hygienisch einwandfreie Situation gegeben ist.

Eine gute Alternative stellt ein Sole-Luft-Wärmetauscher dar. Dabei wird eine Erdleitung mit Sole durchströmt und die so gewonnene Erdwärme vor dem Lüftungsgerät mittels Wasser-Luft-Wärmetauscher auf die angesaugte Außenluft der Lüftungsanlage übertragen. Die Anlage ist einfach herstellbar und mittels einer kleinen Umwälzpumpe gezielt regelbar.



Zentralgerät einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung für ein Einfamilienhaus



Lüftungszentrale für ein Bürogebäude mit über 5000 m² Nutzfläche

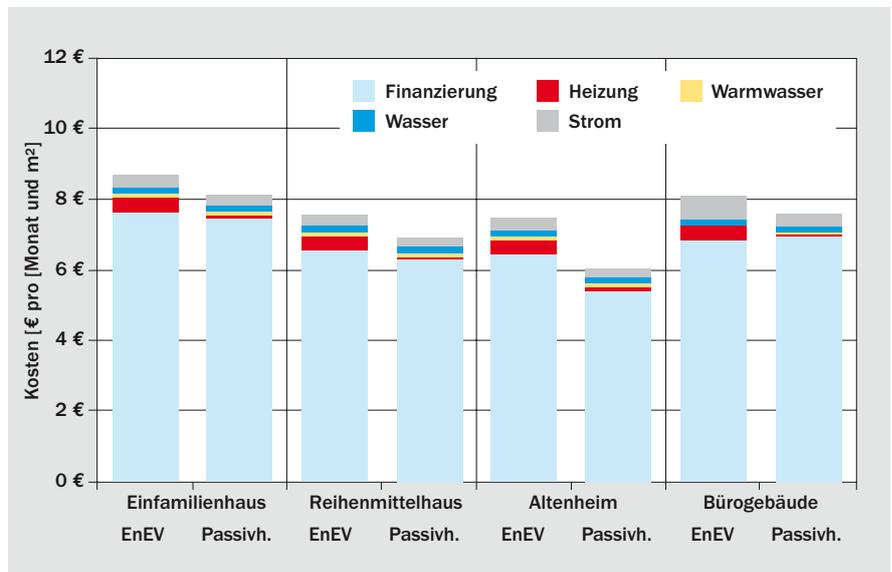
KOSTEN, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND FÖRDERUNG

Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern führt zu einer hohen Unsicherheit hinsichtlich der Energiepreisentwicklung der nächsten Jahre. Selbst ohne größere globale Konflikte können auf Grund hoher Nachfrage dramatische Preissteigerungen eintreten: Von 1998 bis 2008 stiegen die Rohölweltmarktpreise laut BMWI-Studie 2010 von 15 auf fast 100 Dollar pro Barrel mit besonders starken Preissprüngen im Jahr 2008. Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft noch deutlichere Ausschläge zu verzeichnen sein werden. Erst wenn wir unsere Energie auf regionaler bzw. nationaler Ebene weitestgehend regenerativ bereitstellen können, werden sich die Kosten verstreigen, wobei davon auszugehen ist, dass sich die Preise für erneuerbare Energien auf dem doppelten bis dreifachen Niveau des heutigen Preisniveaus einpendeln.

Neben dem Klimaschutzaspekt ist es vor allem eine volkswirtschaftliche Notwendigkeit, dass wir in wenigen Jahrzehnten eine weitestgehend regenerative und regional orientierte Energieversorgung erzielen. Voraussetzung dafür ist hohe Energieeffizienz. Der Gebäudebereich bietet sich dafür besonders gut an, denn dort sind Einsparungen bei sehr gutem Kosten-Nutzen-Verhältnis möglich. Dabei ist zu beachten, dass Investitionsentscheidungen für 30 bis 50 Jahre tragen müssen: Die Effizienzkomponenten eines Gebäudes sollten also so hochwertig sein, dass vor Ablauf der Abschreibungszeit vor allem für die Außenbauteile keine teuren Nachbesserungen erfolgen müssen.

Mehrinvestitionen

Das Passivhaus-Konzept ist deshalb so erfolgreich, weil einerseits konsequent auf Energieeffizienz und die Entwicklung optimierter Komponenten gesetzt wird. Auf der anderen Seite werden Techniken angewandt, die wirtschaftlich möglichst günstig zu bewerten sind. Voraussetzung ist eine Optimierung der Kosten bei der Gebäudeplanung. Für die Konstruktionen der gedämmten Hülle gilt die Maxime: Raum für Dämmung schaffen ohne konstruktiven Mehraufwand. Daraus resultieren höchst wirtschaftliche Beiträge für die Mehrinvestitionen. In der Tafel werden beispielhaft Kostenansätze dargestellt – wobei darauf hinzuweisen ist, dass auf dem Markt oftmals durch Angstpreise oder unangemessen hohe



Die monatliche Belastung für Finanzierungskosten und Betriebskosten von vier Gebäudetypen zeigt, dass aufgrund der KfW-Förderung für die ersten drei Beispielgebäude die Finanzierung bei Passivhäusern günstiger ist als für die EnEV-Varianten. Dazu kommen die Einsparungen durch die Betriebskosten, durch die unter dem Strich alle vier Gebäude in der Passivhaus-Ausführung günstiger darstellbar sind als im EnEV-Standard.

Angebote von Anbietern deutlich höhere Mehrinvestitionen entstehen.

Passivhausfenster kosten derzeit 25 bis über 40 % mehr als Standardfenster, die Tendenz ist jedoch deutlich fallend und wird in wenigen Jahren bei 15 bis 30 % Mehrinvestition liegen. Den Investitionen für die Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung sind die Kosten für eine Abluftanlage gegenüber zu stellen, die für die Raumlufthygiene ohnehin erforderlich ist. Den Mehrinvestitionen für die Passivhaustechnik stehen Einsparungen gegenüber:

- Die Heizwärmeübertragung kann aufgrund der minimierten Heizleistung unter 10 W/m² durch die Lüftungsanlage übernommen werden oder mit reduziertem Aufwand für Leitungen und Heizflächen.
- Bei Kühlbedarf kann Betonkernaktivierung für Heizung und Kühlung gleichermaßen verwandt werden.
- Die Heizzentrale fällt deutlich kleiner aus als bei Vergleichsbauten, und die Technik ist deutlich kostengünstiger.
- Da die Kühllast ebenfalls deutlich gesenkt werden kann, ist für zahlreiche Anwendungen bei gleich bleibend hohem thermischem Komfort der Verzicht

auf herkömmliche teure Klimatechnik möglich.

- Aufgrund des geringeren Technikeinsatzes reduzieren sich Funktionsflächen z.T. deutlich.

Wirtschaftlichkeit

Beispielrechnungen auf der Grundlage der Investitions-Kennwerte aus der Tafel führen für ein Einfamilienhaus (125 m² WF) zu Mehrinvestitionen gegenüber einem Haus nach EnEV-Standard in Höhe von 11.000 bis 12.000 € (90 €/m²), bei einem vergleichbaren Reihemittelhaus sind es weniger als 9.000 € (70 €/m²). Relevant ist jedoch nicht die Betrachtung der Investitionskosten, sondern die der daraus resultierenden monatlichen Belastung inklusive der Betriebskosten. Im Bild wird das Ergebnis für die beiden Gebäude dargestellt: Aufgrund der KfW-Förderung (s.u.) liegen die Finanzierungskosten für die Passivhaus-Ausführung günstiger als für die EnEV-Variante.

Nochmals günstiger können Funktionsbauten abschneiden, wenn ohnehin erforderliche Maßnahmen oder Komfortanforderungen durch Synergieeffekte der Passivhaus-Technik belegt werden können: So bieten Senioren- und Pflegeheime extrem günstige Voraussetzungen, da einerseits hoch effiziente Lüftungstechnik ohnehin erforderlich ist und zudem

sehr günstige Rahmenbedingungen durch die KfW-Förderung gegeben sein können. Zahlreiche Bürogebäude sind in Passivbauweise ohne den Einsatz klassischer aufwendiger Klimatechnik mit höchstem Komfort errichtet worden. Dort können hohe Einsparungseffekte erzielt werden, welche die Mehrinvestitionen im Bereich der Gebäudehülle mehr als aufwiegen.

Es ist erfreulich festzustellen, dass in den letzten Jahren viele kostengünstige Passivhäuser mit hoher architektonischer Qualität erstellt worden sind. Die Vereinigung von Ökonomie und Ökologie hat im Bereich der Passivhäuser bereits stattgefunden.

Förderung

Passivhäuser werden durch die KfW Förderbank im Rahmen des Programms Energieeffizient Bauen (Programm 153) gefördert. Die Rahmenbedingungen sind im Internet unter www.kfw-foerderbank.de einzusehen. Weiterhin sollte für jedes Bauvorhaben recherchiert werden, ob Landesprogramme oder kommunale Fördermöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Eine umfassende Recherche von Förderprogrammen bietet der BINE-Informationssdienst www.bine.info mit dem Programm „FISKUS“ sowie die Fördermitteldatenbank für Endverbraucher der fe.bis GmbH unter www.foerderdata.de.

Investitions-Kennwerte bei optimierter Planung

	Dämmdicke/Standard		Mehrinvestition ¹⁾ /m ² Konstr.-Fläche	
	EnEV	Passivhaus		
Außenwand	14–18 cm	24–30 cm	9,90 €	0,70–1,00 €/m ² für 1 cm Dämmdicke zzgl. konstruktiver Aufwand 0,20 €/m ²
Dach	20–25 cm	30–40 cm	11,90 €	0,60–0,90 €/m ² für 1 cm Dämmdicke zzgl. konstruktiver Aufwand 0,15 €/m ²
Bodenplatte	12–16 cm	20–25 cm	11,00 €	0,70–1,20 €/m ² für 1 cm Dämmdicke zzgl. konstruktiver Aufwand 0,30 €/m ²
Fenster	$U_w = 1,1-1,3$	$U_w = 0,8$	40–100 €	25 bis 40 % Mehrinvestition für Passivhaus-Fenster
Wärmebrücken				bei optimierter Planung kostenneutral
Luft-/Winddichtheit	3,0/1,5 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹		Qualitätssicherung auch bei EnEV-Standard erforderlich
Lüftung	Abluft ²⁾	Zu/Abluft WRG	25–45 €	Mehrinvestition pro m ² Wohn-/Nutzfläche gegenüber der Abluftanlage
Heizung			bis zu -20 €	Minderkosten pro m ² Wohn-/Nutzfläche; Einsparung von Funktionsfläche

¹⁾ Baukosten Kostengruppe 300+400 nach DIN 276 ohne Mehrwertsteuer

²⁾ Aus Hygiene- und Komfortgründen sollte grundsätzlich ventilatorgestützte Lüftung durchgeführt werden; Abluftanlage 15–30 €/m²

NUTZERVERHALTEN

Passivhäuser sind äußerst nutzerfreundlich und komfortabel. Die Bewohner schätzen die hohe Behaglichkeit aufgrund der guten Gebäudedämmung. Zudem werden die Lüftungsanlagen als angenehm empfunden. „Die Luft ist frisch und klar, wenn ich nach Hause komme,“ ist die durchgängig positive Auskunft von Passivhaus-Bewohnern, die seit einiger Zeit in ihrem neuen Haus mit Lüftungsanlage wohnen „Nicht wie früher, als ich jedes Mal beim Nachhausekommen die Fenster aufreißen musste.“

Das Öffnen der Fenster ist natürlich nach wie vor möglich und in der Übergangszeit sowie im Sommer eindeutig sinnvoll und geboten. Zahlreiche Untersuchungen belegen aus sozialwissenschaftlicher und technischer Sicht, dass Passivhäuser von ihren Bewohnern angenommen werden. Sie kommen ohne hohen Eingewöhnungsaufwand mit den Gegebenheiten bestens zurecht. Eine kurze Anleitung für die wenigen Besonderheiten ist hilfreich. Dort sollten z.B. folgende Punkte beschrieben werden:

- Lüftungsanlage: Einstellung des Luftwechsels, Filterwechsel, zusätzliche Fensterlüftung außerhalb der Heizzeit
- Heizung: Umgang mit der Restwärmebereitstellung, Einfluss der Raumtemperatur
- Dichtheit der Gebäudehülle: z.B. Wartung von Fenstern und Haustüren
- Nutzen der Komfortfaktoren des Passivhauses.

Das System Passivhaus ist fehlertolerant hinsichtlich des Verhaltens der Bewoh-

ner. Durch gelegentliches manuelles Lüften oder erhöhte Raumtemperaturen steigt der Energieverbrauch nur in sehr geringem Maß. Das wird belegt durch zahlreiche Untersuchungen über den Heizenergieverbrauch von Passivhäusern. Zwei Beispiele mit Messzyklen über zehn Jahre werden in Diagrammen zusammengestellt.

AUSBLICK

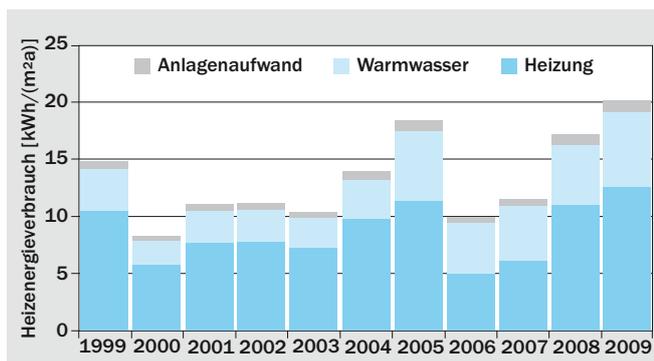
Die Passivhaus-Technologie hat in den letzten Jahren zu einem energetischen Quantensprung geführt. Wie schön wäre es, wenn sich im Verkehrsbereich mit ähnlichem Tempo die Entwicklung vom 10-Liter-Auto nicht nur zum 5- und 3-Liter-Gefährt vollzogen hätte, sondern sogar das 1,5-Liter-Auto schon auf dem Markt wäre. Bei den Gebäuden sind wir innerhalb von 25 Jahren vom 20-Liter- zum 1,5-Liter-Haus gelangt. Das Faszinierendste daran ist die Tatsache, dass die zugrunde liegenden Techniken durchweg einfach und in der Breite anwendbar sind. Zudem ermöglichen sie ein großes Maß an Kreativität. Dies betrifft sowohl die architektonische Gestaltung als auch die Vielfalt der technischen Lösungskonzepte.

Die weitere Entwicklung wird spannend bleiben. Es ist überhaupt nicht davon auszugehen, dass sich die technischen Innovationen verlangsamen werden. In allen Bereichen sind weitere Entwicklungen abzusehen:

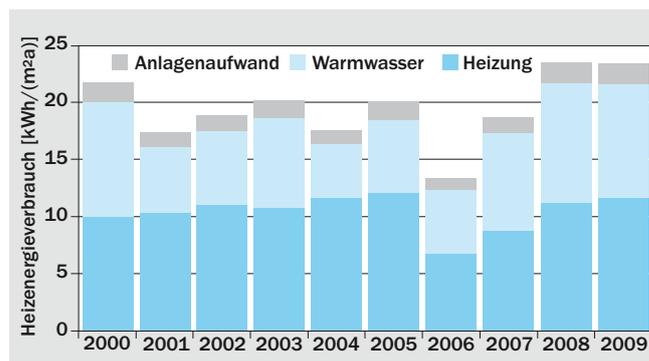
- Die Dämmung der Gebäudehülle im Bereich um $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wird durch die breite Markteinführung geeigneter Produkte einfacher und kostengünstiger. Wärmebrückenminimierung und Luftdichtungskonzepte werden zur Regel und durch entsprechende Produkte unterstützt. Dämm-Materialien

unterliegen einer weiteren Optimierung hinsichtlich ihrer energetischen Kennwerte sowie der Nachhaltigkeitsaspekte wie Primärenergiebilanz und Umweltverträglichkeit. Parallel zur sich gerade vollziehenden Markteinführung der Vakuumdämmung werden neue Dämmstoffe mit λ -Werten im Bereich von $0,020 \text{ W}/(\text{mK})$ entwickelt und in den nächsten Jahren in den Markt gelangen, wodurch deutlich schlankere Konstruktionen möglich sind.

- Verglasungen und Rahmenteknik waren der Motor für die energetische Fortentwicklung. Die Angebotspalette weitet sich seit Jahren aus. Dreischeibenverglasung ist mittlerweile ein äußerst kostengünstiges Standardprodukt und es verbietet sich für den Architekten, noch Zweischeibenverglasungen auszuschreiben, wenn er für den Bauherrn nicht einen irreparablen energetischen Mangel einbauen will. Standardrahmensystem nähern sich den Passivhaus-Kriterien an. Durch die Weiterentwicklung im Glassektor in Richtung Vakuumverglasung stehen in den nächsten Jahren spannende weitere Innovationen ins Haus.
- Für die Gebäudetechnik bietet die Energieeffizienz eine ungeheure Chance. Zukünftig liegt der Schwerpunkt nicht mehr auf dem Heizen, weil die Heizlast im Vergleich zu anderen energetischen Anforderungen im Gebäude zunehmend an Bedeutung verliert. Die klassischen Kesselkonzepte der letzten 50 Jahre werden durch völlig neue integrale Gebäudetechnikstrukturen abgelöst, bei denen Heizen, Kühlen, Warmwasser/Prozesswärme, Beleuchtung, Elektrogeräte und Hilfsenergien zunehmend durch intelligente Systeme mit hohen Synergien vernetzt werden.



Heizenergieverbrauch Einfamilien-Passivhaus Erlangen, Dorfmeisterweg



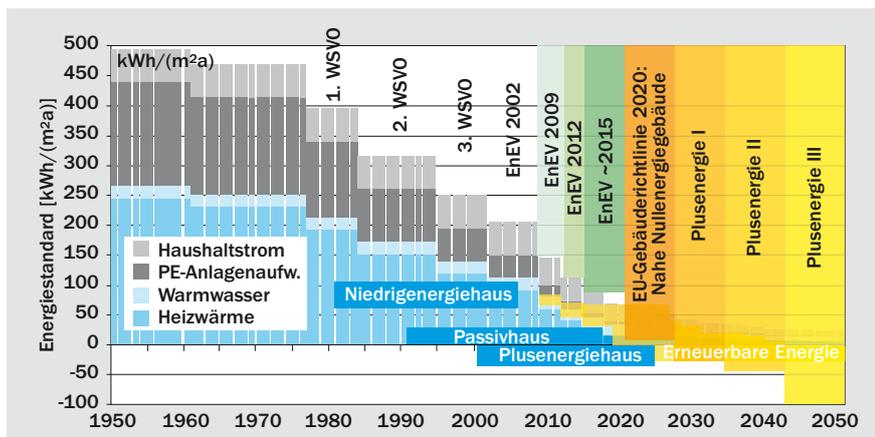
Heizenergieverbrauch von vier Doppelhaushälften (Mittelwert) in Passivbauweise in Nürnberg, Wachtelstraße

Innerhalb der Gebäudestrukturen wird zukünftig ein höherer Energieertrag regenerativ gewonnen als Energie verbraucht wird. Passivhaustechnologie ermöglicht auf wirtschaftliche Weise die Plus-Energie-Bilanz für den Gebäudesektor. Eine relevante ordnungsrechtliche Vorgabe dazu ist bereits durch die EU-Effizienzrichtlinie gegeben, die für die Jahre 2019/21 das „nearly zero emission building“ postuliert. In der Übersetzung auf die Anforderungen in Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass die EnEV-Anforderungen in den nächsten Jahren schrittweise den Passivhaus Standard erreichen und danach bis 2019/21 zusätzlich der Einsatz von erneuerbaren Energien ausgeweitet wird. In der Folge werden Plusenergiehäuser zum üblichen Neubau-Standard. Um die Klimaschutzziele bis 2050 erreichen zu können, wird der

Gebäudesektor bis dahin klimaneutral sein müssen.

- Erneuerbare Energien und Energiemanagement werden in einem freien Energiemarkt als zusätzlicher Motor für dezentrale Energieerzeugung wirken. Durch die Entwicklungen bei der Gebäudetechnik und die Plusenergie-Techniken werden Vernetzung und Lastmanagement zu einer krisensicheren dezentralen Energieversorgung führen. Sie basiert zunehmend auf erneuerbaren Energien im Wärme- und Stromsektor und ermöglicht effiziente Strukturen ohne hohe zentrale und kostenintensive Vorhaltungskapazitäten. Lastmanagement im Tages- und Jahresgang wird allerdings in den nächsten Jahren eine intensive Herausforderung für die Energiewirtschaft werden.

- Nachhaltige Gebäudeauslegung in Verbindung mit Facility Management wird im Immobiliensektor eine Selbstverständlichkeit werden. Die Versöhnung von Ökonomie und Ökologie ist eine immanente Folge dieser Entwicklung. Viele gebaute Projekte belegen dies. Es ist überdeutlich, dass minimalenergetische Anforderungen in spätestens zehn Jahren den üblichen Baustandard darstellen werden. Da unsere Investitionsentscheidungen im Immobilienbereich zu Festlegungen für 30 bis 80 Jahren führen, können nur weitsichtige Lösungen bei der heutigen Planung betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvoll sein. Im Bereich der energetischen Fortentwicklung des Gebäudebestands vollzieht sich seit einigen Jahren ebenfalls eine Entwicklung zu erhöhter Energieeffizienz bis hin zum Faktor 10: Das sanierte Gebäude verbraucht nur noch ein Zehntel der ursprünglichen Energiemenge. Während Zubau auch bei optimalen energetischen Standards immer noch eine zusätzliche Belastung der Umwelt darstellen wird, bietet der Sanierungsbereich die Möglichkeit, Verbesserungen zu bewirken und eine deutliche Entlastung des Ressourcenverbrauchs herbeizuführen. Als eine mögliche Handlungsoption sollte dabei der Ersatzneubau einbezogen werden. Eine Steigerung der Neubau- und Sanierungstätigkeit von derzeit knapp 2 % jährlich auf über 3 % des Gebäudebestandes bei energetisch sinnvollen Standards wird zudem einen wichtigen Konjunkturschub für die regional strukturierte Bauwirtschaft geben.



Mögliche Entwicklung der energetischen Standards bis 2050 für den Neubau; Anforderungsszenario zukünftiger Verordnungen

LITERATUR

[1] Auflistung passivhaus-zertifizierter Fenster durch das Passivhaus Institut Darmstadt. www.passiv.de

[2] Passivhaus Institut Darmstadt (Hrsg.): Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP), Darmstadt 2010

[3] Passivhaus Institut Darmstadt (Hrsg.): Anforderungen – Zertifizierung von Lüftungsanlagen, Kriterien für die Beurteilung der Eignung von Lüftungsanlagen als Passivhausgeeignete Komponente. www.passiv.de

[4] Schulze Darup, B.: Energieeffiziente Wohngebäude. – BINE Informationsdienst, 3. Auflage, Köln 2009

[5] Schulze Darup, B.: Umweltverträgliches Bauen und gesundes Wohnen. – Arbeitsblätter zum Wohnungsbau, Bände 6 und 7, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, 4. Auflage, München 2009

[6] Wolfgang Feist (Hrsg.) Passivhaus Institut Darmstadt: Protokollbände des Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser, Darmstadt

[7] Passivhaus Institut Darmstadt: Tagungsbände Internationale Passivhaus Tagung 2010

[8] Martina Feirer/Alexandra Frankel: Wir bauen uns ein Sonnenhaus. Eigenverlag, Chur 2008

[9] Pro Klima, Passivhaus Institut (Hrsg.): CEPHEUS-Projektinformation. Technischer Endbericht Nr. 35, Hannover/Darmstadt 2001

[10] Aktiv für mehr Behaglichkeit: Das Passivhaus. – Broschüre 7. Auflage, Passivhaus Dienstleistung GmbH, Darmstadt 2011

Unternehmen der deutschen
Kalksandsteinindustrie:

Baustoffwerke Dresden GmbH & Co. KG
Radeburger Straße 30
01129 Dresden

Kalksandsteinwerk Rückersdorf
GmbH & Co. KG
Oppelhainer Straße 1
03238 Rückersdorf

Baustoffwerke Havelland GmbH & Co. KG
Veltener Straße 12 – 13
16515 Oranienburg-Germendorf

DOMAPOR Baustoffwerke GmbH & Co. KG
Liepener Straße 1
17194 Hohen Wangelin

HANSA Baustoffwerke Parchim GmbH
Sternberger Chaussee 1
19370 Parchim

Nord-KS GmbH & Co. KG
Lüneburger Schanze 35
21614 Buxtehude

Baustoffwerk Kastendiek von Fehrn
GmbH & Co. KG
Ida-Gräper-Weg 1
26197 Ahlhorn

Kalksandsteinwerk Bösel GmbH & Co. KG
Am Kronsberg 10
26219 Bösel

Baustoffwerke Horsten GmbH & Co. KG
Hohemoor 59
26446 Friedeburg

Kalksandsteinwerk Bookholzberg GmbH + Co. KG
Übern Berg 44
27777 Ganderkesee

Schlamann Kalksandsteinwerk GmbH
Am Kalksandsteinwerk 2
31608 Marklohe

Kalksandsteinwerke Westfalen-Lippe
GmbH & Co. KG
Schlossfreiheit 3
32469 Petershagen

Wüseke Baustoffwerke GmbH
Sennelagerstraße 99
33106 Paderborn/Sennelager

Greffener Hartsteinwerk
ZN der Baustoffwerke Westfalen-Lippe GmbH
Harsewinkeler Straße 18
33428 Harsewinkel-Greffen

Xella Kalksandsteinwerk Griedel
GmbH & Co. KG
Außenliegend 10
35510 Butzbach

Kalksandsteinwerk Wendeburg
Radmacher GmbH & Co. KG
Straße zum Kalksandsteinwerk
38176 Wendeburg

Ruhrbaustoffwerke GmbH & Co. KG
Moselstraße 1
44579 Castrop-Rauxel

Cirkel GmbH & Co. KG
Flaesheimer Straße 605
45721 Haltern am See

KSPE Kalksandstein-Planelemente GmbH & Co. KG
Zum Vogelsberg 12
45721 Haltern am See

Xella Baustoffwerke Rhein-Ruhr GmbH
Dr.-Alfred-Herrhausen-Allee 16
47228 Duisburg

Xella Deutschland GmbH
Düsseldorfer Landstraße 395
47259 Duisburg

Kalksandsteinwerk Krefeld-Rheinhafen
GmbH & Co. KG
Bataverstraße 35
47809 Krefeld

Vestische Hartsteinwerke
GmbH & Co. KG
Hohe Geest 30 – 34
48165 Münster

Baustoffwerke Münster-Osnabrück
GmbH & Co. KG
Averdiekstraße 9
49078 Osnabrück

Höltinghauser Industrierwerke GmbH
Brinkmannstraße 32
49685 Höltinghausen

Emsländer Baustoffwerke GmbH & Co. KG
Rakener Straße 18
49733 Haren/Ems

KS Baustoffwerke Blatzheim GmbH & Co. KG
Industriegebiet Keltzer Busch
50171 Kerpen

EKW Eifeler Kalksandstein- und Quarzwerke
GmbH & Co. KG
Trierer Straße 50
54526 Landscheid/Niederkill

Trasswerke Meurin
Produktions- u. Handelsgesellschaft mbH
Kölner Straße 17
56626 Andernach

Rodgauer Baustoffwerke GmbH & Co. KG
Am Opel-Prüffeld 3
63110 Rodgau-Dudenhofen

Hessisches Bausteinwerk
Dr. Blasberg GmbH & Co. KG
Darmstädter Straße 5
64625 Bensheim

KG Kalksandsteinwerk Wiesbaden GmbH & Co.
Deponiestraße 11
65205 Wiesbaden-Amöneburg

Kalksandsteinwerke
Willersinn + Kleiner AG & Co. KG
Mittelpartstraße 1
67071 Ludwigshafen

E. Bayer Baustoffwerke GmbH + Co. KG
Entennest 2
73730 Esslingen

Heidelberger Kalksandstein GmbH
Malscher Straße 17
76448 Durmersheim

KS Produktions GmbH & Co. KG
An der L 540
76767 Hagenbach

Peter Kalksandsteinwerk KG
Rheinstraße 120
77866 Rheinau

Kalksandsteinwerke Birkenmeier GmbH
Industriestraße 5
79206 Breisach-Niederrimsingen

Kalksandsteinwerke Südbayern GmbH & Co. KG
Forststraße 19/21
86316 Friedberg/Derching

Kalksandsteinwerk Wemding GmbH
Harburger Straße 100
86650 Wemding

Zapf Kalksandsteinwerk Rangau
GmbH & Co. KG
Rangaustraße 52
90513 Zirndorf

Zapf Daigfuss XL Kalksandsteinwerk
GmbH & Co. KG
Günthersbühler Straße 10
90571 Schwaig

Zapfwerke GmbH & Co. KG
Günthersbühler Straße 10
90571 Schwaig-Behringersdorf

Megalith DAIGFUSS
KALKSANDSTEINWERKE GMBH
Röttenbacher Straße 15
91093 Heßdorf/Röhrach

Kalksandsteinwerk Amberg GmbH & Co. KG
Schafhofer Weg 8
92263 Ebermannsdorf

Dennert Baustoffwelt GmbH & Co. KG
Veit-Dennert-Straße 7
96132 Schlüsselfeld

UNIKA Kalksandsteinwerk Nordbayern
GmbH & Co. KG
Gewerbepark 11
96149 Breitengüßbach