

# KS-Funktionswände für nachhaltige Wohngebäude - oder „über sieben Brücken musst Du gehn“!

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Fanslau,  
Prof. Dr.-Ing. Martin Pfeiffer sowie  
Dipl.-Ing (FH) Julia Zedler  
Institut für Bauforschung e.V

Stand: 23.05.2007

Nachhaltige Gebäude müssen mit ihrer Bau- und Anlagentechnik heute kostengünstig, umweltgerecht und sozialverträglich sein.

In der Nachhaltigkeitsdebatte ist die Energieeffizienz eine maßgebende und immer bedeutender werdende Eigenschaft von ganzheitlichen Gebäuden. Rohstoffknappheit, problematische CO<sub>2</sub>-Emissionen und steigende Energiekosten zwingen zur Energie-Einsparung und damit zur Planung und zum Bau energieeffizienter Gebäude. Bei der Bewertung von Wohngebäuden in Bezug auf die Nachhaltigkeit müssen ökologische, ökonomische und soziologische Aspekte bewertet werden (s. Abb. 1).

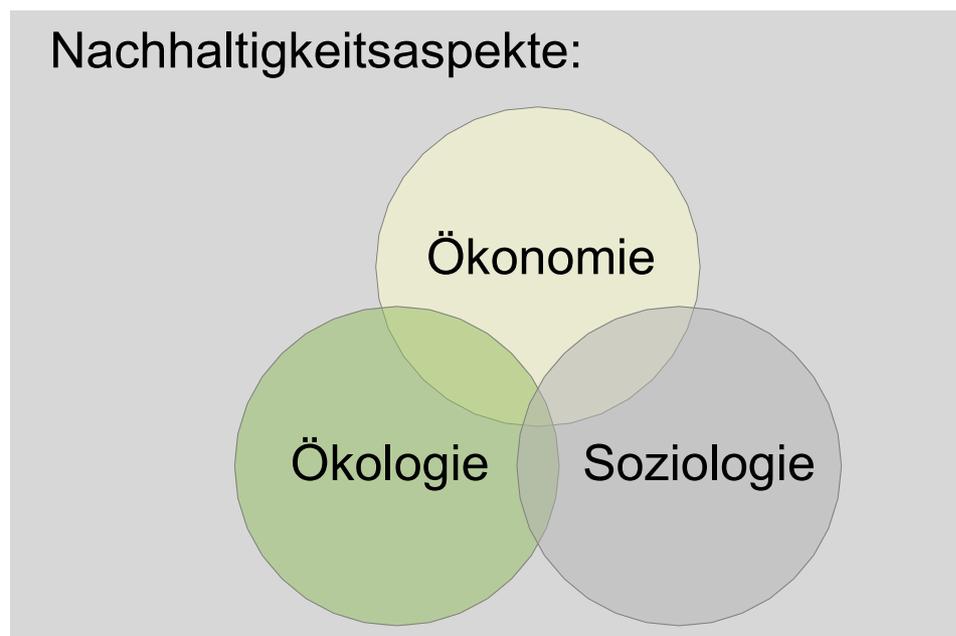
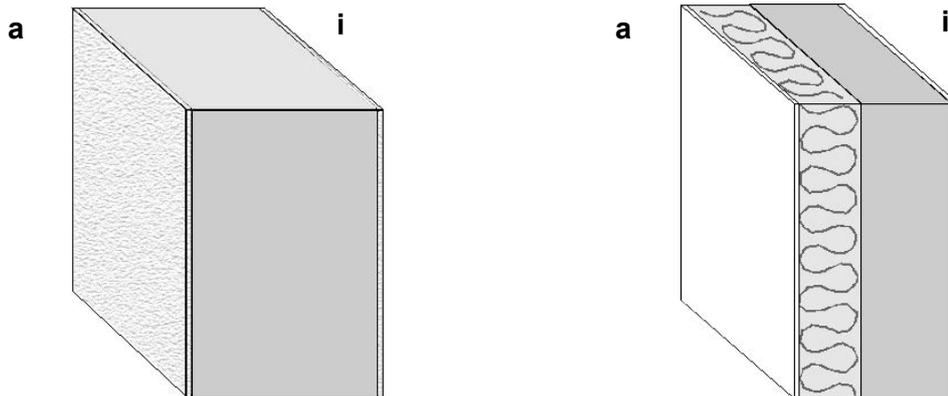


Abb. 1: Nachhaltigkeitsaspekte (IFB 2007)

Unter den Aspekt der Soziologie fallen Gebäudeeigenschaften, die Nutzungsgerechtigkeit im besonderen betreffend. Für Nutzer immer wichtiger werdende Aspekte sind der Schutz vor Lärm und Geräuschbelastung sowie der Schutz gegen Überhitzung im Sommer in Wohngebäuden. Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Nutzung eines Wohngebäudes ist die möglichst hohe Ausnutzung der Grundrissfläche durch „schlanke“ umgebende Wandkonstruktionen.

## Außenwände

Bei Außenwänden aus Mauerwerk existieren im Wesentlichen zwei Konstruktionsprinzipien - die monolithische und die funktionsgetrennte Außenwand. Diese unterscheiden sich dadurch, dass die monolithische Außenwand alle Funktionen mit einer Schicht z. B. aus Mauerwerk – die funktionsgetrennte Wand die äußerste Erscheinungsbildfunktion über eine Schicht, den Wärmeschutz über die Dämmschicht und alle weiteren Funktionen über eine Schicht z. B. aus Mauerwerk erfüllt (s. Abb. 2).



Prinzip-Isometrie zur monolithischen Außenwand

Prinzip-Isometrie zur funktionsgetrennten Außenwand

*Abb. 2: Isometrien einer monolithischen und einer funktionsgetrennten Außenwand (IFB 2007)*

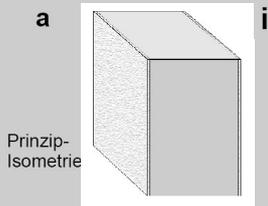
Eine monolithische Außenwand besteht demzufolge prinzipiell aus einer Baustoffschicht, mit der die gesamten Funktionen wie beispielsweise Wärme-, Schall-, Brandschutz und Statik erfüllt werden. Die Dicke einer monolithischen Außenwand richtet sich im Allgemeinen nach den Anforderungen des Wärmeschutzes. Eine funktionsgetrennte Außenwand trennt prinzipiell ihre Funktionen in unterschiedliche Schichten.

### **„Über sieben Brücken mußst Du gehn“ - 7 nachhaltige Anforderungen an Außenwände**

In Analogie zum deutschen Liedgut „über sieben Brücken mußst Du gehn“ hat das Institut für Bauforschung e.V. in seiner IFB-Studie „Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau“ [IFB-07] und für diesen Beitrag zusammengefasst, sieben Bewertungsbereiche zu Außenwänden für nachhaltige Wohngebäude methodisch dargestellt. Damit können Architekten, Ingenieure, Planer und Entscheider selbst beurteilen, wie welche Außenwandkonstruktion nach diesen 7 Bewertungsbereichen („Sieben Brücken“) bewertet werden kann (s. Abb. 3).

## Bewertungsmethode „Sieben Brücken“ zur Nachhaltigkeit von Außenwänden

Monolithische Aussenwand



Funktionsgetrennte Aussenwand

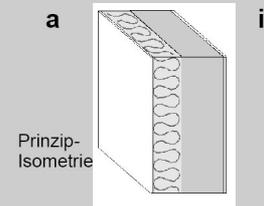


Abb. 3: „Sieben Brücken“ als Bewertungsschritte dieses Beitrages für nachhaltige Außenwände (IFB 2007)

## „1. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Energieeffizienz (ökologischer Aspekt)

Auf Grund der zunehmenden Bedeutung der Energieeffizienz von Wohngebäuden wurden und werden die wärmetechnischen Eigenschaften von monolithischen Außenwänden verbessert. Der Fokus bei der Entwicklung des monolithischen Mauerwerks liegt im Allgemeinen auf der Optimierung des Wärmeschutzes. Eine Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaft wird vorrangig durch eine Verringerung der Rohdichte angestrebt. Je geringer die Rohdichte ist, umso geringer ist auch der Wärmestrom durch das Mauerwerk.

Eine geringe Rohdichte wirkt sich prinzipiell nachteilig auf die schalltechnischen Eigenschaften der Außenwand aus. Die Rohdichte von Mauerwerk hat in diesem Zusammenhang eine hohe Bedeutung für den Schallschutz. Die Schalldämmung eines solchen massiven Bauteils ist vorrangig abhängig von der Rohdichte des Mauerwerks. Eine Verringerung der Rohdichte des Mauerwerks führt zwar zu einer Verbesserung des Wärmeschutzes aber gleichzeitig verschlechtert sich die Schalldämmung des Bauteils. Ein weiterer Aspekt sind die statischen Eigenschaften. Eine geringe Rohdichte bedeutet weniger tragenden Materialquerschnitt, was tendenziell zu einer Abnahme der Tragfähigkeit führt.

Bei der Erfüllung aller Anforderungen durch monolithisches Mauerwerk ist die Wahl des Mauersteins auch immer ein Kompromiss aus Wärmeschutz, Schallschutz und der Wanddicke. Besonders gegensätzlich wirken dabei die wärme- und schallschutztechnischen Eigenschaften. Insbesondere bei Wohngebäuden mit hohen Anforderungen an den Schallschutz (wie z.B. im mehrgeschossigen Wohnungsbau) wirkt sich dieser Aspekt besonders nachteilig aus (s. Abb. 4).



Abb. 4: Spannungsfeld „Energieeffizienz“ zu einer Außenwand (IFB 2007)

Eine funktionsgetrennte Außenwand, wie beispielsweise eine KS-Funktionswand, besteht aus einer wärmedämmenden Schicht aus einem Dämmstoff mit möglichst niedriger Wärmeleitfähigkeit und einer Mauerwerksschicht aus Mauersteinen mit hoher Rohdichte (Vollstein). Der Wärmeschutz wird bei der funktionsgetrennten Außenwand ausschließlich über die Wärmedämmung erreicht, die weiteren Anforderungen, wie Schallschutz, Brandschutz und Lastabtragung erfüllt die Mauerwerksschicht. Durch die funktionale Trennung kann der Wärmeschutz über die Dämmschicht den Anforderungen optimal angepasst werden ohne dass

die anderen Eigenschaften (z.B. Schallschutz) prinzipiell verändert werden. Dadurch kann eine Funktionswand einem möglichen Widerspruch, entgegenwirken (s. Abb. 4).

## **„2. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Energiebedarf und Emissionen (ökologischer Aspekt)**

Die wesentlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) in Deutschland werden bei Wohngebäuden über den Jahres-Primärenergiebedarf formuliert. Zusätzlich wird eine Anforderung an den spezifischen, auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche bezogenen, Transmissionswärmeverlust gestellt.

### **Primärenergiebedarf**

Energiemenge, die zur Deckung des Endenergiebedarfs benötigt wird – unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ entsteht. Zusätzlicher Energieaufwand entsteht bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe.

In Abhängigkeit von der Art der gewählten Anlagentechnik zur Warmwasserbereitung ergeben sich unterschiedliche Anforderungswerte zum Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude.

Der Primärenergiebedarf kann als Beurteilungsgröße für ökologische Aspekte, wie z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen, herangezogen werden, da in diesem Bedarf der gesamte Energieaufwand für die Gebäudebeheizung einbezogen wird.

Unter Einbeziehung der Anlagentechnik für Heizung und Warmwasser wird unter Berücksichtigung des Heizwärme- und des Warmwasserbedarfs der Endenergiebedarf ausgewiesen. Diese Größe kann mit dem tatsächlichen Energieverbrauch verglichen werden. Sie stellt somit eine Kennzeichnung für die energetische Qualität eines Wohngebäudes dar.

Über diese für den Endverbraucher interessante Kenngröße hinaus, wird die eigentliche Anforderung der EnEV an einen zulässigen Primärenergiebedarf gestellt. Dieser berücksichtigt auch die Verluste, die bei Erzeugung und Transport eines Energieträgers entstehen.

Wie eine Bewertung von ökologischen Aspekten zu Energiebedarf und Emissionen durchgeführt werden kann, wird in der IFB-Studie „Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau“ [IFB-07] am Beispiel eines Einfamilienhauses, welches die Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik für Wohngebäude insbesondere durch die Darstellung von Jahres-Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen aufzeigt, dargestellt.

Die folgende Abbildung 5 verdeutlicht, dass bei der Planung eines Einfamilienhauses mit einem A/Ve-Verhältnis = 0,68 im „Energetischen Standard KfW-60“ bei der Verwendung von einem „Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar, Zu- und Abluft“ und einem empfohlenen  $U_i = 0,30$  der Außenwand, ein Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_{T, \text{vorh}} = 56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  resultiert und die CO<sub>2</sub>-Emissionen = 705 KgCO<sub>2</sub>/a betragen.

Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik im Wohnungsbau													
IFB BAUFORSCHUNG Institut für Bauforschung e.V.		Zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,max} \leq 60$ [kWh/m <sup>2</sup> a]						Zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T,max} \leq 0,37$ [W/m <sup>2</sup> K]		Volumen(Außenmaß) $V_e = 671,84$ m <sup>3</sup> Nutzfläche $A_N = 215,0$ m <sup>2</sup> A/V <sub>e</sub> -Verhältnis 1/m $A/V_e = 0,68$		Standard <b>KfW-60</b>	Gebäudetyp <b>EFH</b>
Nr.	Anlagentechnik	Wärmedurchg.-koeffizient der Referenz AW [W/(m <sup>2</sup> K)]		Jahres-Heizwärmeverbrauch <sup>1)</sup> $Q_h$ [kWh/a]	Anlagenaufwandszahl (primärenergiebezogen) $e_p$ [-]	Jahres-Endenergiebedarf <sup>3)</sup> $Q_{WE,E}$ [kWh/a]	Hilfsenergiebedarf <sup>4)</sup> $Q_{HE,E}$ [kWh/a]	Jahresheiz-Energiekosten <sup>5)</sup> [€/a]	Jahresheiz-Energiekosten <sup>5)</sup> je m <sup>2</sup> [€/m <sup>2</sup> ]	Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,vorh}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T,vorh}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>10)</sup> [KgCO <sub>2</sub> /a]	
1	NT-Kessel, 70/55 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Brennwertkessel, 55/45 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar	0,13	<b>0,13</b>	8.059	1,20	10.384	505	704,-	<b>3,27</b>	<b>60</b>	0,25	<b>1.370</b>	
4	Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar, Zu- und Abluft	0,37	<b>0,30</b>	9.701	0,97	8.351	956	673,-	<b>3,13</b>	<b>56</b>	0,30	<b>705</b>	
5	Wärmepumpe <sup>7)</sup> , (Sole/Wasser), 35/28 °C	0,35	<b>0,30</b>	9.701	1,02	3.419	779	588,-	<b>2,73</b>	<b>59</b>	0,30	<b>2.813</b>	
6	Wärmepumpe <sup>7)</sup> , (Sole/Wasser), 35/28 °C, Zu- und Abluft	0,53	<b>0,30</b>	9.701	0,92	2.568	1.230	532,-	<b>2,47</b>	<b>53</b>	0,29	<b>1.738</b>	
7	Biomasse <sup>8)</sup> (Pellets) 55/45 °C	0,73	<b>0,30</b>	9.701	0,54	18.913	980	932,-	<b>4,33</b>	<b>31</b>	0,30	-	

Abb. 5: Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik für den „Energetischen Standard KfW-60“ und den „Energetischen Gebäudetyp“ Einfamilienhaus am rot gekennzeichneten Beispiel (IFB 2007)

Die folgende Abbildung 6 zeigt, dass bei der Planung eines kompakten Einfamilienhauses mit einem A/V<sub>e</sub>-Verhältnis = 0,60 im „Energetischen Standard KfW-40“ bei der Verwendung von einem „Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar, Zu- und Abluft“ und einem empfohlenen U<sub>i</sub> = 0,22 der Außenwand ein Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_{T, vorh} = 40$  kWh/m<sup>2</sup>a resultiert und keine CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgestoßen werden.

 <b>Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik im Wohnungsbau</b>											
		Zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,max} \leq 40$ [kWh/m <sup>2</sup> a] Zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T,max} \leq 0,30$ [W/m <sup>2</sup> K]						Volumen(Außenmaß) $V_e = 1,029$ m <sup>3</sup> Nutzfläche $A_N = 329,0$ m <sup>2</sup> $A/V_e$ -Verhältnis 1/m $A/V_e = 0,60$		<b>Standard</b> <b>KfW-40</b>	<b>Gebäudetyp</b>  <b>EFH</b>
Nr.	Anlagentechnik	Wärmedurchg.-koeffizient der Referenz AW	Jahres-Heizwärmeverbrauch <sup>1)</sup>	Anlagenaufwandszahl (primärenergiebezogen) <sup>2)</sup>	Jahres-Endenergiebedarf <sup>3)</sup>	Hilfsenergiebedarf <sup>4)</sup>	Jahresheiz-Energiekosten <sup>5)</sup>	Jahresheiz-Energiekosten <sup>5)</sup> je m <sup>2</sup>	Jahres-Primärenergiebedarf <sup>6)</sup>	Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust	CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>10)</sup>
		$U_r$ [W/(m <sup>2</sup> K)] empfohlen <sup>7)</sup> $U_r$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$Q_h$ [kWh/a]	$e_p$ [-]	$Q_{WE,E}$ [kWh/a]	$Q_{HE,E}$ [kWh/a]	[€/a]	[€/m <sup>2</sup> ]	$Q_{p,verb}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	$H_{T,verb}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	[KgCO <sub>2</sub> /a]
1	NT-Kessel, 70/55 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Brennwertkessel, 55/45 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Brennwertkessel, 55/45 °C, Solar, Zu- und Abluft	0,22	10.047	0,93	7.932	1.464	740,-	2,25	40	0,22	-
5	Wärmepumpe <sup>8)</sup> , (Sole/Wasser), 35/28 °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Wärmepumpe <sup>8)</sup> , (Sole/Wasser), 35/28 °C, Zu- und Abluft	0,15	8.938	1,02	2.572	1.883	624,-	1,90	40	0,19	947
7	Biomasse <sup>9)</sup> (Pelletts) 55/45 °C	0,73	10.527	0,62	22.987	1.501	1.189,-	3,61	28	0,23	-

Abb. 6: Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik für den „Energetischen Standard KfW-40“ und den „Energetischen Gebäudetyp“ Einfamilienhaus am rot gekennzeichneten Beispiel (IFB 2007)

### „3. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Planungssicherheit (ökonomischer Aspekt)

Die zunehmende Umweltproblematik und die wachsenden Energiekosten haben zur Folge, dass Gebäude zwangsläufig energieeffizienter geplant werden müssen. Dieser Planungsprozess wird nicht nur durch Regelungen des Gesetzgebers, sondern auch durch zunehmendes energieeffizientes Bewusstsein seitens der Bauherrenschaft beschleunigt. Bei den sich derzeit darstellenden Zukunftsprognosen wird deutlich, dass der heutige energetische EnEV-Standard zu Bau- und Anlagentechnik kurzfristig gehoben wird. In den nächsten Jahren werden daher auch die Anforderungen an die Planungssicherheit zur Energieeffizienz von Wohngebäuden steigen. Auf europäischer Ebene ist dazu schon ein wesentlicher Vorstoß erfolgt. Mit Blick in die Zukunft sind heute schon Gebäude, die dem „KfW-60-Standard“ entsprechen aus kosten- und umwelttechnischen Gründen, vernünftig. Mittelfristig werden die noch wesentlich energieeffizienteren „Passivhäuser“ planerisch angestrebt.

Bei monolithischen Außenwänden bestimmt z. B. hauptsächlich das Mauerwerk die Eigenschaften der Außenwand. Die Wahl eines Mauerwerks mit möglichst guten wärmedämmenden Eigenschaften muss unter Berücksichtigung der gesamten Anforderungen, wie z.B. Schallschutz, Tragfähigkeit, Nutzflächeneffizienz usw. erfolgen. Je höher die einzelnen Anforderungen sind, umso problematischer wird der planerische Einsatz von monolithischem Mauerwerk. Mit zunehmender Energieeffizienz von Wohngebäuden wird der planerische Anwendungsbereich von monolithischem Mauerwerk in Bezug auf diesen Aspekt zukünftig problematischer.

Die Gesamt-Energieeffizienz eines Wohngebäudes ergibt sich im Wesentlichen aus der energetischen Effizienz der Bau- und Anlagentechnik. Je effizienter eine der beiden Technologien ist, umso weniger effizient „darf“ die andere Komponente zur Erfüllung der Anforderungen sein. Wenn beispielsweise bei monolithischem Mauerwerk, auf Grund der beschriebenen Zusammenhänge, ein notwendiger Wärmeschutz nicht umgesetzt werden kann, muss mit verbesserten anlagentechnischen Maßnahmen die Gesamtenergieeffizienz des Wohngebäudes gesteigert werden, um so die gesteckten Anforderungen zu erreichen. Dies kann die Erstellungs- und Nutzungskosten eines Wohngebäudes erheblich erhöhen.

Entsprechend der dem Beitrag zugrundeliegenden IFB-Studie „Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau“ [IFB-07] sind Passivhäuser mit Außenwänden aus monolithischem Mauerwerk, gemäß der Definition vom Passivhausinstitut Darmstadt [PI-07], nicht realisierbar. Hauptproblem sind die Anforderungen aus den U-Werten der Außenwände. Das Konzept des Passivhauses vom Passivhausinstitut Darmstadt sieht für Außenbauteile einen U-Wert von  $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  vor. Die derzeit verfügbaren Mauersteine erreichen diesen Wert nicht. Um diesen Wert mit monolithischen Außenwänden zu erreichen müssten Wanddicken von über 50 cm eingesetzt werden.

Bei funktionsgetrennten Außenwandkonstruktionen, wie z. B. einer KS-Funktionswand, sind die vorgenannten „Zwänge“ bei der Dimensionierung des Wärmeschutzes unproblematischer. Durch die funktionale Trennung lässt sich der Wärmeschutz der Außenwand den jeweiligen Anforderungen anpassen, ohne dass dies problematische Auswirkungen auf andere Wandeigenschaften, wie z. B. Tragfähigkeit oder Schallschutz, hat. Durch diese Eigenschaft können mit funktionsgetrennten Außenwänden Wohngebäude vom EnEV- bis Passivhaus-Standard in Bezug auf den Wärmeschutz unproblematischer umgesetzt werden.

Die Anforderungen an Wohngebäude werden nach der EnEV mit der Eingrenzung des Primärenergiebedarfs festgelegt. Oftmals wird bei relativ schlechter energetischer Qualität einer betrachteten Außenwand zum Erreichen der Anforderungen, eine, aus primärenergetischer Sicht, günstige Anlagentechnik (z. B. Biomasse) eingesetzt. Dadurch ergibt sich ein niedriger Primärenergiebedarf, der dazu führt, dass die Anforderungen nach der EnEV erreicht werden. Am Heizwärmebedarf ändert sich beispielsweise aber nichts. Die Höhe eines Heizwärmebedarfes ist allerdings ausschlaggebend für die Heizkosten der Wohngebäudenutzer.

Ein Grundprinzip bei der Planung von energieeffizienten Wohngebäuden ist die Minimierung der Transmissionswärme- und Lüftungswärmeverluste. Daher sollte eine energetisch gut gedämmte und luftdichte Gebäudehülle im Vordergrund der Planung stehen.

Die Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik von Wohngebäuden lassen sich im Einzelnen durch die folgenden Diagramme [s. a. IFB-07] darstellen. Die jeweiligen Anforderungen an die Energieeffizienz spiegeln sich in den entsprechenden „Energetischen Standards“, die hier am Beispiel des „KfW-60- und KfW-40-Standards“ aufgezeigt werden, wider (s. Abb. 7 und 8).

In den Abbildungen zeigen sich die Auswirkungen beim Ansatz von unterschiedlichen Anlagentechniken (hier Anlage 1 bis 8) insbesondere auf den Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_{p,r}$ , die  $\text{CO}_2$ -Emissionen sowie die resultierenden Jahres-Heizenergiekosten.

Es lässt sich zu den Abbildungen zusammenfassend feststellen, dass die Wahl einer Anlagentechnik (hier Anlage 1 bis 8) direkten Einfluss auf die Höhe des Jahres-Primärenergiebedarfes  $Q_{P,r}$ , die  $CO_2$ -Emissionen sowie die resultierenden Jahres-Heizenergiekosten hat. Je effizienter die Anlagentechnik, desto geringer der jährliche Bedarf an Primärenergie [s. a. IFB-07].

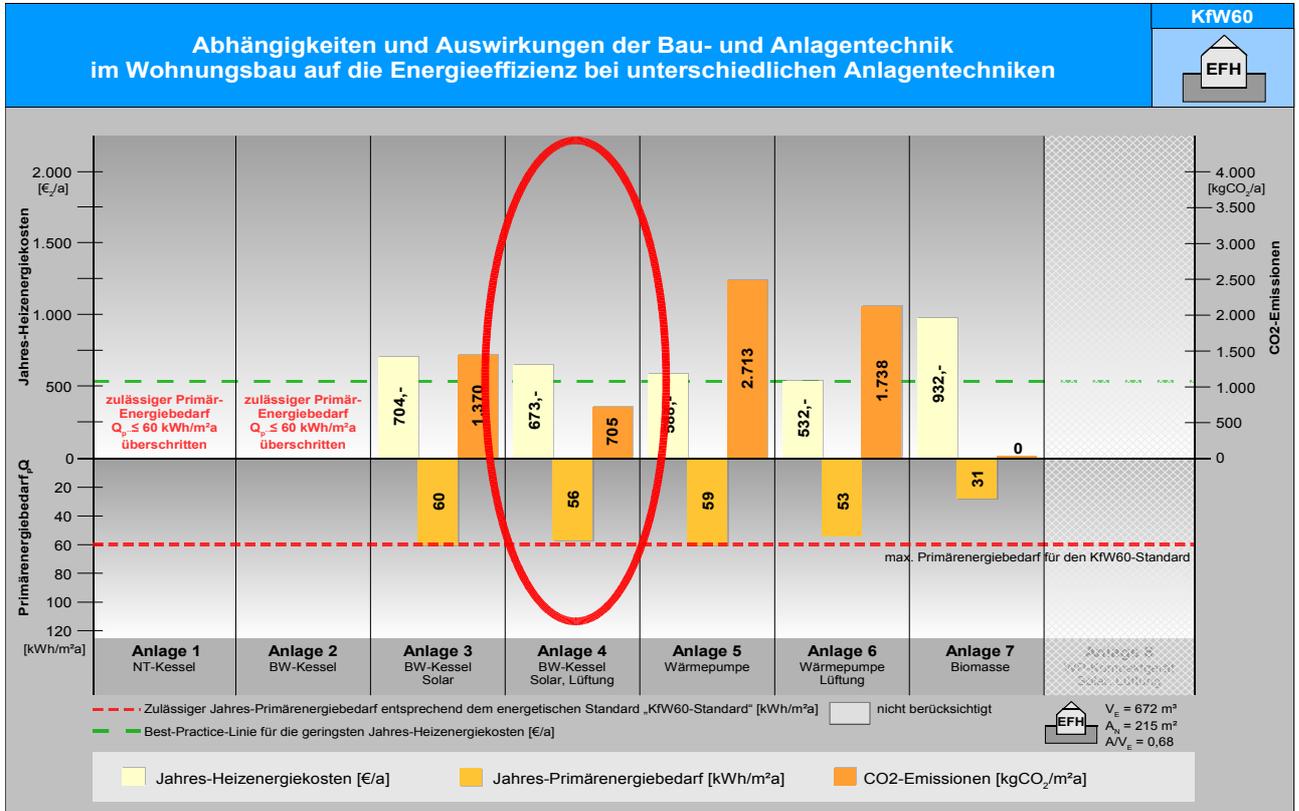


Abb. 7: Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik im Wohnungsbau, KfW-60-Standard, energetischer Gebäudetyp „EFH“ mit rot gekennzeichnetem Beispiel (IFB 2007)

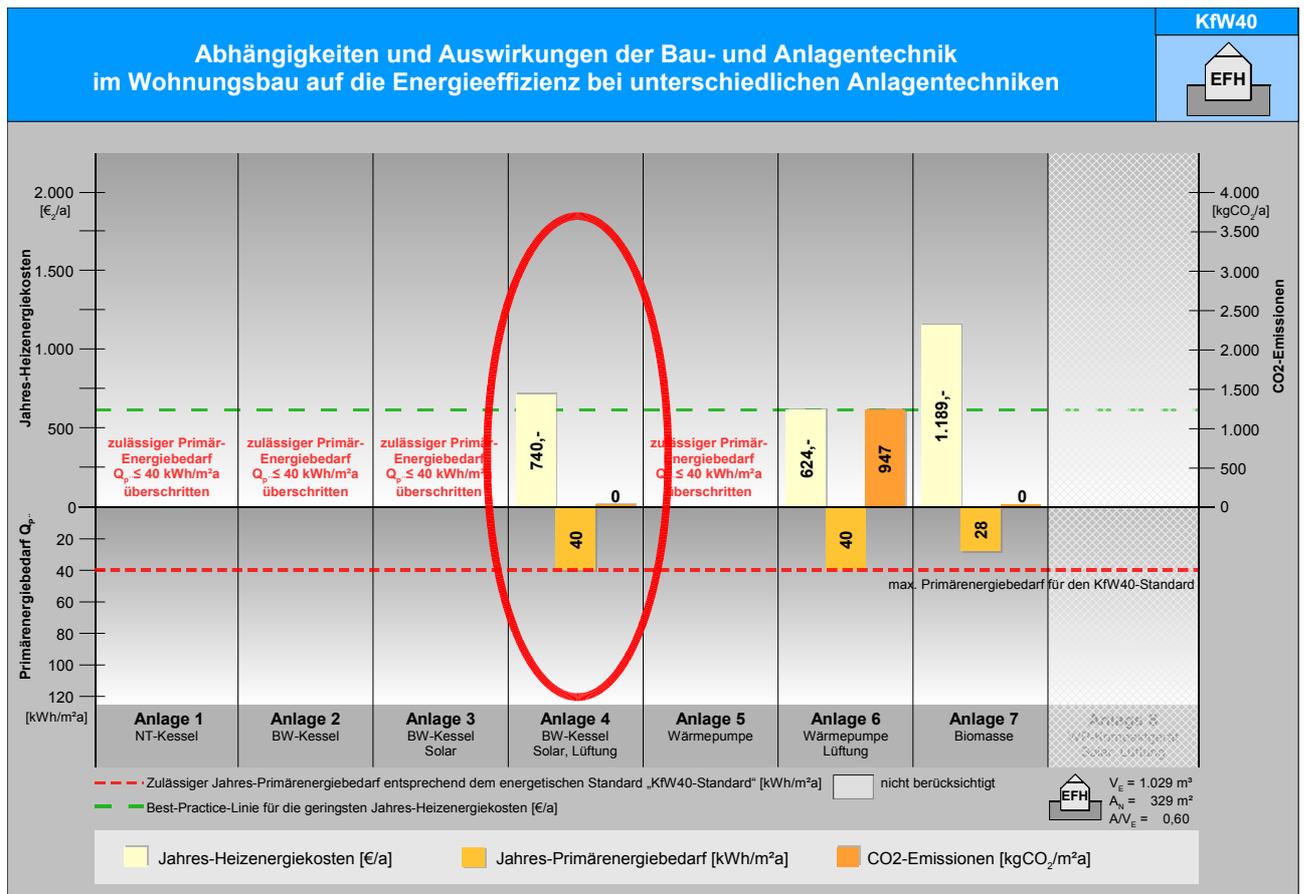


Abb. 8: Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeiten und Auswirkungen der Bau- und Anlagentechnik im Wohnungsbau, KfW-40-Standard, energetischer Gebäudetyp „EFH“ mit rot gekennzeichnetem Beispiel (IFB 2007)

Als ein Ergebnis der IFB-Studie ([IFB-07], „Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau“) zu den Einsatzmöglichkeiten von vier unterschiedlichen Außenwandtypen, die in der IFB-Studie betrachtet wurden, WK 1 und WK 2 (monolithische Wandkonstruktionen), WK 3 (Funktionswand) und WK 4 (zweischalige Wandkonstruktion) lassen sich insbesondere die Jahres-Heizenergiekosten als ausgewählte Betriebskosten über die Gebäudenutzungsdauer von 15 Jahren vergleichend gegenüberstellen.

Bezogen auf die Nutzfläche, die in Abhängigkeit zur Dicke der jeweiligen Wandkonstruktion steht, können aussagefähige Kennzahlen zur Dicke der Wandkonstruktion, zu den flächenbezogenen Energiekosten im Jahr, nach 15 Jahren sowie nach 80 Jahren ermittelt werden. Je nach gewählter Wandkonstruktion ändern sich die zu erwartenden Energiekosten entsprechend den in Abb. 9 „Einsatzmöglichkeiten von Außenwandtypen“ dargestellten Kennzahlen (s. Abb. 9).

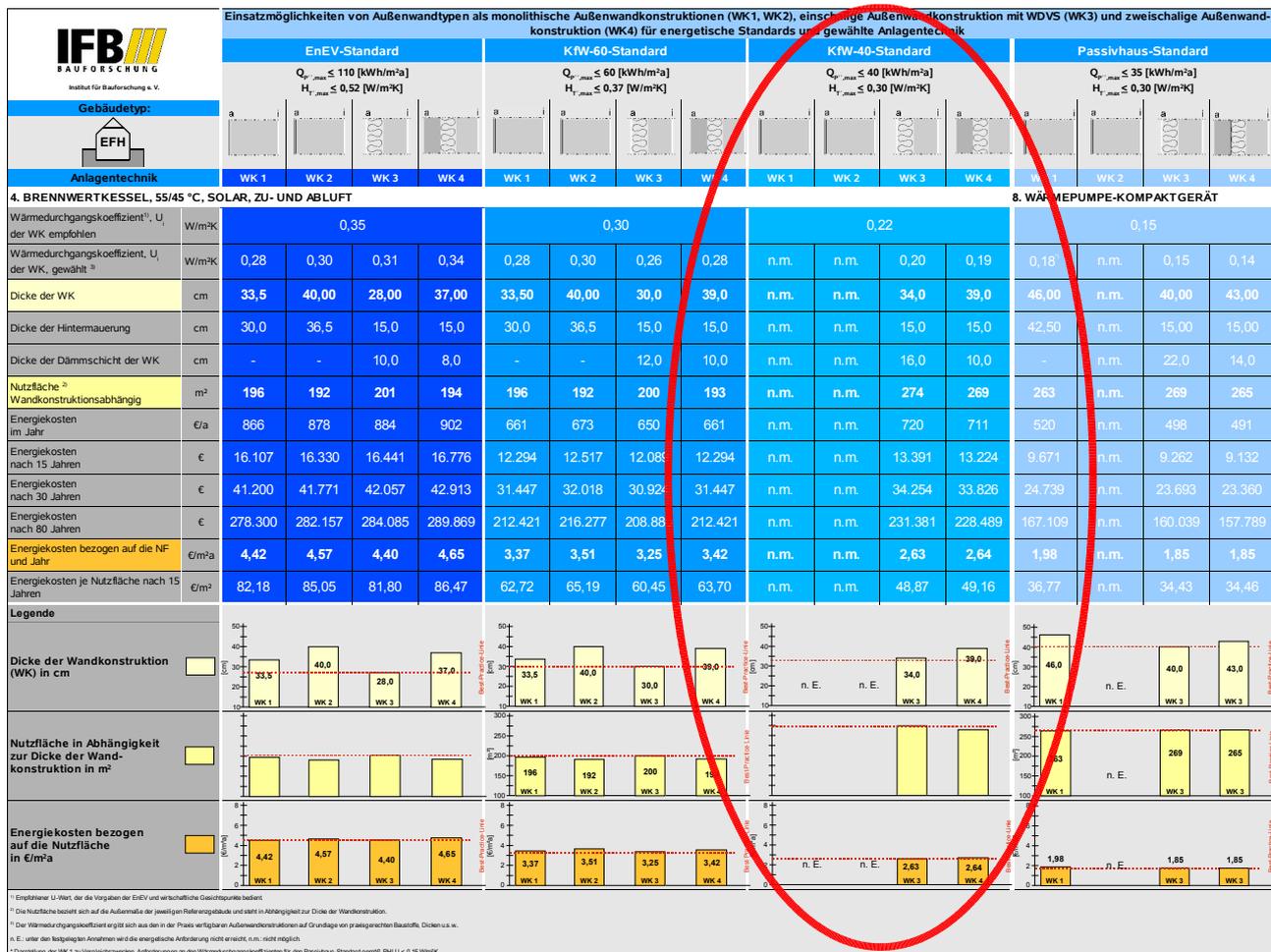


Abb. 9: Einsatzmöglichkeiten von Außenwandtypen mit rot gekennzeichnetem Beispiel (IFB 2007)

In der Abbildung 9 werden an einem rot gekennzeichneten Beispiel die Einsatzmöglichkeiten der vier gewählten Außenwandtypen bezüglich einer optimalen Ausnutzung der Nutzfläche und der nutzflächenabhängigen, resultierenden Energiekosten im Jahr sowie nach 15 Jahren bewertet. Hierbei werden die entsprechenden Kennzahlen für den „KfW-40-Standard“ bei der Annahme der Anlagentechnik „Brennwertkessel, 55/45°C, Solar, Zu- und Abluft“ gegenübergestellt. Auf Grundlage der Kennzahlen kann so die Wandkonstruktion als Außenwandtyp mit den geringsten Werten zur Ausnutzung der Nutzfläche sowie den energetisch optimalen Eigenschaften, in Bezug zu den flächenbezogenen Energiekosten im Jahr und nach 15 Jahren, ermittelt werden. Diesbezüglich werden sowohl der energetische Standard der Bautechnik des Einfamilienhauses als auch die Anlagentechnik berücksichtigt.

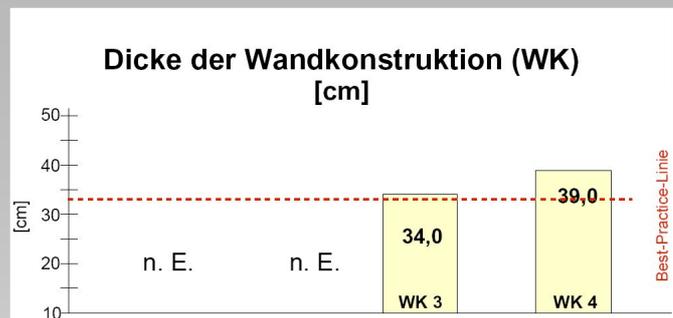
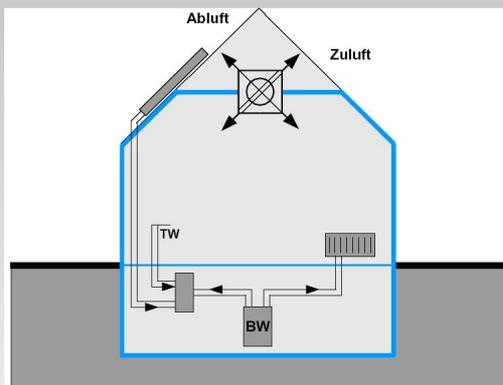
Für ein folgendes Beispiel aus der IFB-Studie [IFB-07] ist der entsprechende Standard zur Energieeffizienz (energetischer Standard) dargestellt, sind die allgemeinen bau- und anlagentechnischen Eigenschaften festgelegt und die Systemkomponenten der gewählten Anlagentechnik (Nummer der Anlagentechnik und Darstellung anhand eines schematischen Schaubildes) beschrieben, so dass die Kennzahlen zu den ausgewählten Betriebskosten der monolithischen Wandkonstruktionen (WK 1 und WK 2), Funktionswand (WK 3) und zweischaligen Wandkonstruktion (WK 4) vergleichend gegenübergestellt und bewertet werden können.

## Beispiel 1 zu Kennzahlen von ausgewählten Betriebskosten eines EFH

Gebäudetyp: **Einfamilienhaus** 

Energetischer Standard: **KfW40-Standard**

Anlagentechnik: **Anlage 4**  
(BW-Kessel, Solar, Zu- und Abluft)



Wandkonstruktionen als Außenwandtypen:

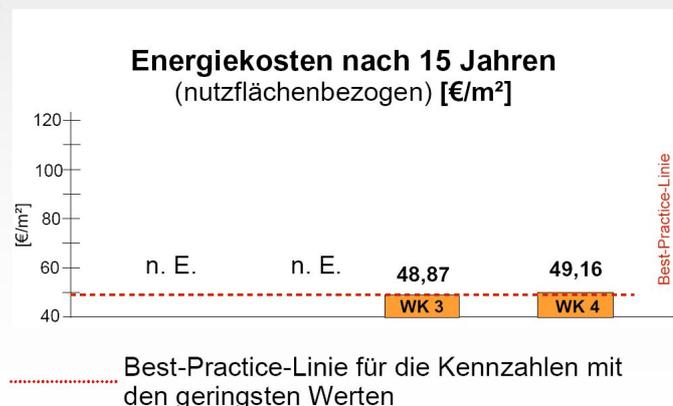


Abb. 10: Beispiel: Darstellung der Kennzahlen zu ausgewählten Betriebskosten eines typischen Einfamilienhauses, KfW40-Standard und Nutzung eines Brennwertkessels, mit bivalentem Solarspeicher und mechanischer Lüftung (IFB 2007)

Um für das dargestellte Beispiel, den Anforderungen an den beschriebenen „KfW-40-Standard“ zu entsprechen, müssen die Wandkonstruktionen mindestens, die in den Matrizen und Übersichten dargestellten und zuvor definierten, bautechnischen Eigenschaften aufweisen. Infolge dessen ergeben sich die in Abbildung 9 aufgezeigten Kennzahlen zur Dicke der Wandkonstruktionen, und die flächenbezogenen Energiekosten im Jahr sowie nach 15 Jahren.

Als Ergebnis für dieses Beispiel aus der IFB-Studie [IFB-07] lässt sich folgendes feststellen:

Die Funktionswand (WK 3) im Beispiel des Einfamilienhauses weist mit einer Dicke der Wandkonstruktion von 34,0 cm die geringste Wandstärke der vier Wandkonstruktionen auf. Dem

gegenüber weist die zweischalige Wandkonstruktion (WK 4) 39,0 cm als Wandstärke auf. Aus dem resultierenden Nutzflächengewinn, der insbesondere für die WK 3 festzustellen ist, stellt sich die WK 3 mit einer Kennzahl zu den flächenbezogenen Energiekosten im Jahr von 2,63 €/m<sup>2</sup>a als energetisch optimal dar. Dem gegenüber weist die WK 4 eine flächenbezogene Energiekostenkennzahl von 2,64 €/m<sup>2</sup>a auf. Für die Betrachtung der flächenbezogenen Energiekosten nach 15 Jahren stellt sich ebenfalls die Funktionswand (WK 3) mit 48,87 €/m<sup>2</sup> als energetisch optimal dar. Die WK 4 weist für das Beispiel 2 eine flächenbezogene Energiekostenkennzahl von 49,16 €/m<sup>2</sup> auf.

Mit den festgelegten Annahmen für das in der IFB-Studie [IFB-07] u.a. betrachtete Einfamilienhaus ist beim Einsatz dieser Funktionswand sowohl eine optimale Ausnutzung der Nutzfläche als auch eine Optimierung der flächenbezogenen Energiekosten über eine Gebäudenutzungsdauer von 15 Jahren festzustellen.

Gleichfalls entsprechen die monolithischen Wandkonstruktionen (WK 1 und WK 2) nicht den energetischen Mindestanforderungen des beschriebenen „KfW-40-Standards“. Eine Bewertung und Verwendung von den in der IFB-Studie [IFB-07] betrachteten monolithischen Wandkonstruktionen ist bei den gewählten energetischen Anforderungen nicht sinnvoll bzw. möglich.

#### **„4. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Flächeneffizienz (ökonomischer Aspekt)**

Eine Funktionswand als Außenwand kann entsprechend der jeweiligen Funktionsschicht optimale Baustoffeigenschaften haben, d.h. im Idealfall, dass die wärmedämmende Schicht eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und z. B. das Mauerwerk, als tragende und schalldämmende Schicht, eine hohe Rohdichte hat. Dadurch ergibt sich gegenüber der dargestellten monolithischen Außenwand bei gleichen statischen, wärme- und schalltechnischen Werten eine geringere Wanddicke.

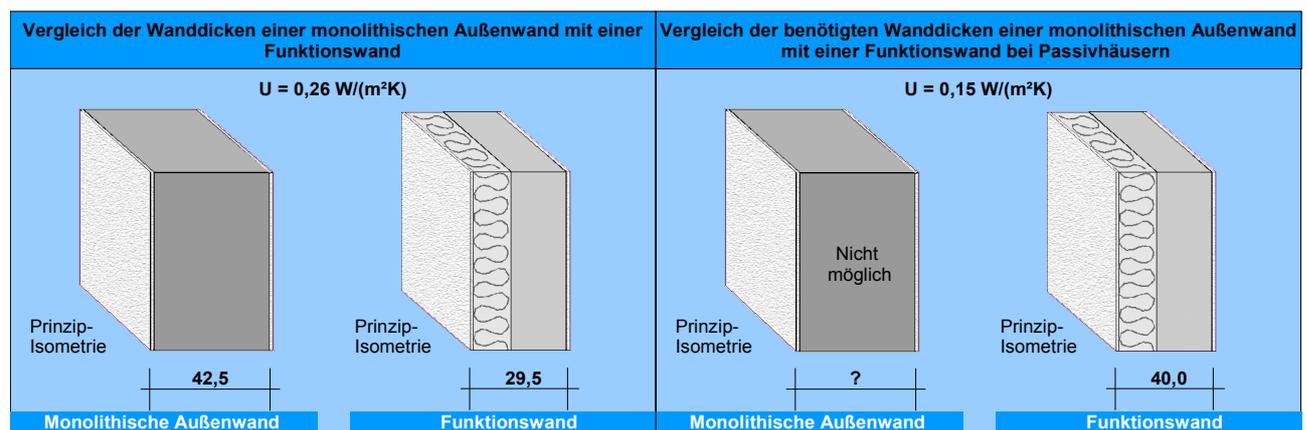


Abb. 11: Prinzip-Isometrien zum Vergleich der Wanddicke einer monolithischen Außenwand und einer Funktionswand (IFB 2007)

Eine Verringerung der Wanddicken der Außenwände eines Wohngebäudes bedeutet prinzipiell, dass mehr Grundrissfläche genutzt werden kann. Wohngebäude mit beispielsweise KS-Funktionswänden können somit u.U. eine höhere Nutzflächeneffizienz aufweisen, als Wohngebäude mit monolithischen Außenwänden [AR-94].

Die Wirtschaftlichkeit von Außenwänden aus Mauerwerk ist nicht nur unter dem Aspekt der Minimierung der Erstinvestitionskosten aus der Erstellung für das betreffende Wohngebäude, sondern insbesondere unter Berücksichtigung der Nutzungskosten über die Nutzungsdauern – wie z.B. Kapital-, Verwaltungs- Betriebs- (z.B. Heizenergiekosten) und Instandsetzungskosten – zu betrachten (vgl. DIN 18960).

Die folgende Abbildung 12 zeigt in diesem Zusammenhang einen Vergleich der Auswirkungen „schlanker“ bzw. „dicker“ Außenwände zu den zwei ausgewählten Aspekten der Außenabmessungen und der Wohnfläche zu Wohngebäuden.

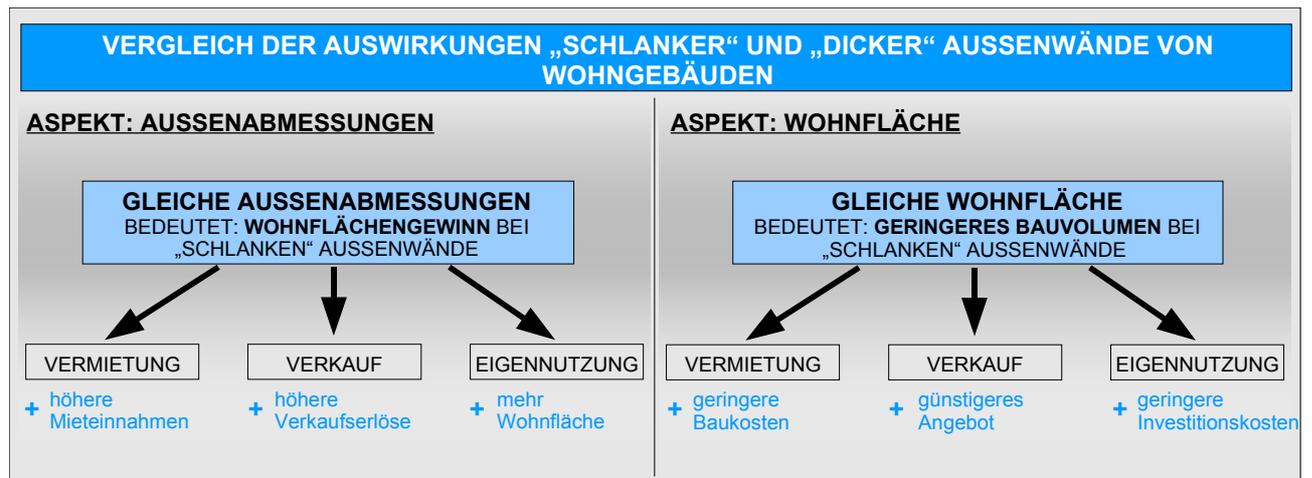


Abb. 12: Auswirkungen „schlanker“ und „dicker“ Aussenwände von Wohngebäuden in Bezug auf Wohnflächengewinn und geringeres Bauvolumen (IFB 2007)

### **„5. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Standsicherheit (soziologischer Aspekt)**

Eine wichtige nutzungsgerechte Anforderung an bauliche Anlagen wie z.B. Wohngebäude ist, dass sie über eine ausreichende Standsicherheit gegenüber den verschiedenen statischen und dynamischen Einwirkungsszenarien verfügen, die während der geplanten Nutzungsdauer auftreten können. Diese nutzungsgerechte Anforderung wird mit Hilfe von „deterministischen Sicherheitsfaktoren“ in der praktischen Bemessung sichergestellt. Neben der Standsicherheit ist insbesondere auch die Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen und Bauwerken zu berücksichtigen. Dies betrifft bei Bauteilen aus mineralischen Baustoffen wie z. B. Mauerwerk insbesondere die Vermeidung von übermäßiger Rissbildung oder klaffenden Fugen bei geringer Bauteilnutzung.

#### **Standsicherheit**

Die Standsicherheit der Außenwandkonstruktion muss dauerhaft gewährleistet sein (MBO § 15). Dabei sind neben dem Eigengewicht sowie den Winddruck- bzw. –soglasten insbesondere mögliche Zwängungen aus klimatischer Wechselbeanspruchung zu berücksichtigen.

Funktionswände bestehen beispielsweise aus einer innenliegenden massiven Mauerschicht mit außenanliegender Dämmschicht im Verbund.

Durch die klare Trennung der Funktionen von Funktionswänden in die tragende Schicht der Außenwand einerseits und die Wärmedämmschicht andererseits, wird bei außen liegender Wärmedämmung – die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude der tragenden Schicht im Vergleich zu monolithischen Konstruktionen erheblich reduziert. Dieses führt auch zu geringen

Zwängungs- und Eigenspannungen und damit grundsätzlich zu einer geringeren Rissbildung. [KS-06; AP-04]

## **„6. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Sommerlicher Wärmeschutz (soziologischer Aspekt)**

Die im Sommer in Wohngebäuden aus Nutzungssicht auftretenden Raumtemperaturen sind aus bautechnischer Sicht insbesondere abhängig von der wirksamen Speicherfähigkeit der Raumumschließungsflächen. Je höher die wirksame Speicherfähigkeit ist, umso geringer sind die Raumtemperaturen bei ausschließlicher Betrachtung dieses bautechnischen Zusammenhanges.

Die wirksame Speicherfähigkeit eines Bauteils ist insbesondere abhängig von dessen Rohdichte. Je höher die Rohdichte eines Bauteils ist, umso höher ist auch seine wirksame Speicherfähigkeit. Daraus resultiert, dass bei Wohngebäuden in „schwerer Bauweise“ (hohe Rohdichte) sich im Vergleich niedrigere Raumtemperaturen nutzungsgerecht im Sommer einstellen können als bei Gebäuden in „leichter Bauweise“ mit geringerer Rohdichte und geringerer Speicherfähigkeit.

### **Sommerlicher Wärmeschutz**

Zur Sicherstellung eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes wird bei Wohngebäuden grundsätzlich die Einhaltung des maximal zulässigen Sonneneintragskennwerts gemäß DIN 4108-2 gefordert.

Im Bereich der thermischen Behaglichkeit zur Nutzungsgerechtigkeit, spielt das sommerliche Wärmeverhalten eines Wohngebäudes eine bedeutende Rolle. Die im Sommer auftretenden Raumtemperaturen sollten aus Behaglichkeitsgründen so gering wie möglich gehalten werden. Ziel einer „soziologischen“ Gebäudeplanung muss sein, auch im Sommer angenehme Verhältnisse in den Gebäuden zu schaffen.

Die Außenwände haben insbesondere durch zwei Determinanten Einfluss auf die Raumtemperaturen im Sommer: Einerseits spielt die Wärmedämmung der Außenwände eine Rolle. Je besser diese ist, umso geringer ist auch die von Außen zufließende Wärme durch die Wandkonstruktionen. Andererseits hat die wirksame Speicherfähigkeit der Raumumschließungsflächen Auswirkungen auf die Raumtemperaturen im Inneren eines Wohngebäudes. Eintretende Wärme wird durch die vorhandenen Speichermassen aufgenommen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgegeben. Dieser Effekt führt zu geringeren Maximaltemperaturen in Wohngebäude. Auch die mittleren Temperaturen im Tagesverlauf sind dadurch im Wohngebäude geringer. Die wirksame Speicherfähigkeit ist insbesondere von der Rohdichte, beispielsweise des Mauerwerks, in den Außenwänden abhängig. Je höher diese ist, umso höher ist auch die wirksame Speicherfähigkeit.

Monolithisches Mauerwerk hat, wenn es wärmeschutztechnisch optimiert ist, eine relativ geringe Rohdichte. Dies wirkt sich u.U. negativ auf das sommerliche Wärmeverhalten in einem genutzten Wohngebäude aus. Durch die geringe Rohdichte besitzen die Außenwände beispielsweise nur eine geringe wirksame Wärmespeicherfähigkeit. Wohngebäude mit monolithischen Außenwänden werden daher nur als „mittlere Bauweise“ eingestuft [DIN 4108-2].

Eine KS-Funktionswand als Aussenwand für Wohngebäude besitzt gegenüber einer monolithischen Außenwand aus PB-Mauerwerk z. B. eine wesentlich höhere wirksame Wärmespeicherfähigkeit. Der Grund hierfür ist die hohe Rohdichte des KS-Mauerwerks. Durch die höhere wirksame Wärmespeicherfähigkeit von KS-Funktionswänden ergeben sich nutzungsgerecht daher auch geringere operative Temperaturen in Wohngebäuden im Sommer als in Wohngebäuden mit monolithischen Aussenwänden mit Mauerwerk (siehe Abb. 13) [HK-06].

Die Abbildung 13 zeigt, dass bei der „schweren Bauweise“ (Kalksandstein) die geringsten operativen Maximaltemperaturen in einem Kinderzimmer auftreten. Die Temperaturschwankungen im Verlauf eines Tages sind im Gegensatz zu den anderen Bauweisen ebenfalls am geringsten. Aufgrund der fehlenden Speichermassen ergeben sich bei der leichten Bauweise (Holzrahmenbau) die höchsten Spitzentemperaturen [HK-06].

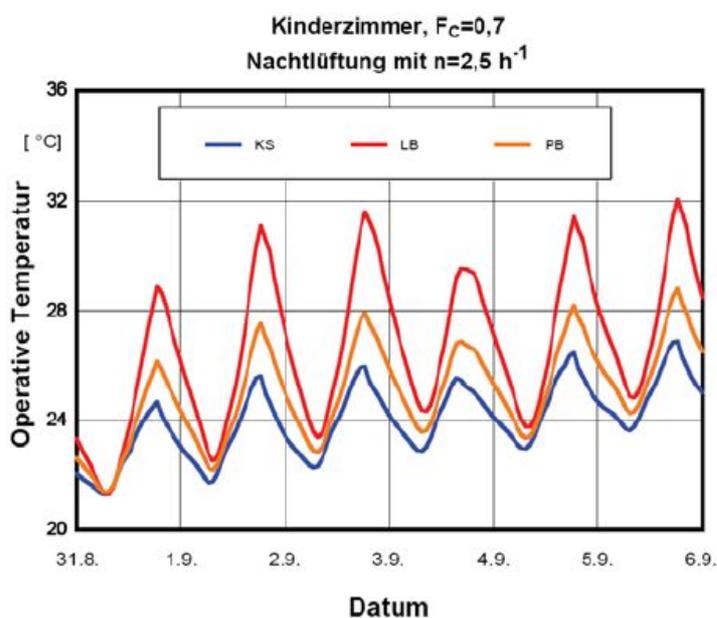


Abb. 13: Diagramm zu operativen Temperaturen in Abhängigkeit zu den Bauweisen, KS: Kalksandstein (schwere Bauweise), LB: Leichtbau/Holzrahmenbau(leichte Bauweise), PB: Porenbeton/Ziegel (mittlere Bauweise) an unterschiedliche Tagen für ein Kinderzimmer mit Nachtlüftung (Quelle: [HK-06])

Eine weitere Größe zur Beschreibung des sommerlichen Wärmeverhaltens zu nutzungsgerechten Wohngebäuden sind die Übertemperaturgradstunden. Diese ergeben sich aus der Überschreitungsdauer und der Überschreitungshöhe der Raumtemperatur von 26 °C. In der folgenden Abbildung 14 sind Übertemperaturgradstunden für verschiedene Bauweisen dargestellt [HK-06].

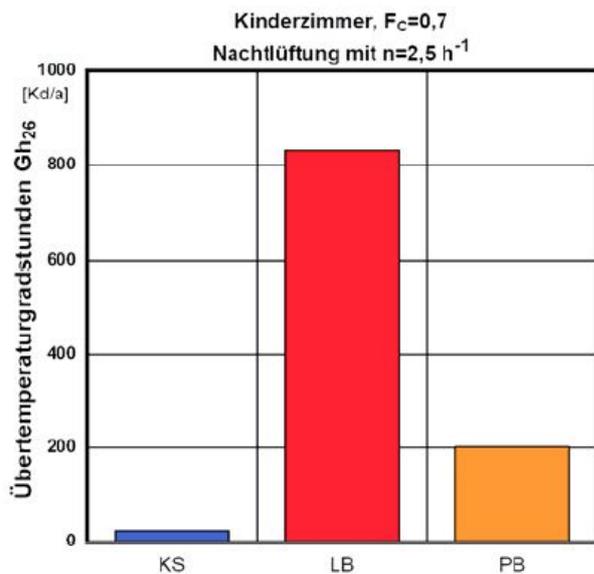


Abb. 14: Diagramm mit Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit zu den Bauweisen, KS: Kalksandstein, LB: Leichtbau (Holzrahmenbau), PB: Porenbeton / Ziegel für ein Kinderzimmer (Quelle: [HK-06])

Auch in der Darstellung der Abb. 14 zeigen sich nutzungsbezogene Vorteile der „schweren Bauweise“ mit KS. Gegenüber der Leichtbauweise tendieren die Übertemperaturgradstunden bei dem betrachteten Raum mit Kalksandsteinwänden gegen Null. Auch deutlich reduziert gegenüber der „leichten Bauweise“ stellt sich die „mittlere Bauweise“ dar. Dort sind allerdings immer noch erhebliche Werte zu verzeichnen.

Auf diesen Effekt geht auch der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 ein. Der sommerliche Wärmeschutz zu Wohngebäuden sollte in Abhängigkeit von der Bauweise nachgewiesen werden.

Die in der IFB-Studie „Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau“ [IFB-07] untersuchten Außenwände können nicht allein zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes herangezogen werden. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes ergibt sich insbesondere aus „allen im Raum beteiligten“ Bauteilen. Die Beurteilung muss daher über das „Bausystem“ erfolgen.

Die Aussagen zum sommerlichen Wärmeverhalten von Wohngebäuden in Deutschland basieren auf der Annahme, dass diese durchgängig „aus einer Art von Mauerwerk“ erstellt sind.

## **„7. Brücke“ für nachhaltige Wohngebäude: Schallschutz (soziologischer Aspekt)**

Schallschutz hat eine große Bedeutung für die Gesundheit und die akustische Behaglichkeit für Nutzer in Wohngebäuden. Ein nicht ausreichender Schallschutz ist dauerhaft für Bewohner hörbar und im Nachhinein nur sehr aufwendig zu verbessern. Deshalb sollten Schallschutzmaßnahmen bereits in der Bedarfs- und Gebäudeplanung zur Nutzungsgerechtigkeit besondere Berücksichtigung finden.

## Schallschutz

Unter dem Oberbegriff „baulicher Schallschutz“ werden Maßnahmen verstanden, die eine von einer Schallquelle ausgehende Schallübertragung außer- oder innerhalb eines Gebäudes verringern. Nach dem Bauordnungsrecht legt die DIN 4109 den vorgesehenen Mindestschallschutz zwischen fremden Nutzungsbereichen fest.

Die Schallübertragungen zwischen zwei Wohnräumen ergeben sich aus der direkten Übertragungen über Trennbauteile und den flankierenden Übertragungen. Bei der Schallübertragung wirkt beispielsweise eine Außenwand als flankierendes Bauteil und hat damit Einfluss auf die Gesamt-Schallübertragung in dieser Wohnsituation.

Wie viel Schallenergie über ein Bauteil weitergeleitet werden kann, hängt z.B. bei massiver einschaliger Bauweise vorrangig von der flächenbezogenen Masse des Bauteils ab. Je größer diese ist, umso weniger Schallenergie wird weitergeleitet. Die flächenbezogene Masse ist insbesondere abhängig von der Bauteildicke und von der Rohdichte des Baustoffes. Je schwerer eine Wand ist, umso größer ist auch die flächenbezogene Masse. Dies gilt sowohl für Trennbauteile als auch für Flanken. Mit schweren massiven Bauteilen (und hoher flächenbezogener Masse) lässt sich daher grundsätzlich ein höherer Schallschutz realisieren, als mit massiven Bauteilen mit geringer flächenbezogener Masse (s. Abb. 15), [KS-N.N.].

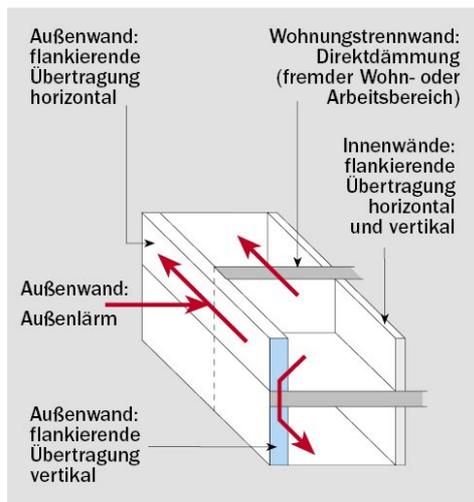


Abb. 15: Prinzip-Bauwerksisometrie mit Teil-Darstellung der Schallübertragungen, direkt, horizontal über Flanke, vertikal über Flanke und von außen nach innen im Bereich von Wohngebäudeausseiwand, Wohnungstrennwand und Innenwänden [KS-N.N.]

Im Massivbau zum Wohnungsbau spielt die direkte Schallübertragung eine weniger problematische Rolle, da die Trennbauteile (z.B. Geschossdecke / Wohnungstrennwände) sehr massiv und schwer ausgeführt werden können. Problematischer stellt sich die Situation bei der flankierenden Übertragung dar, von der auch Außenwände betroffen sind.

Bei monolithischen Außenwänden sind aufgrund der wärmetechnischen Eigenschaften, die Rohdichten relativ gering. Dies führt dazu, dass auch bei üblichen Wanddicken von 36,5 cm, monolithische Außenwände eine relativ niedrige flächenbezogene Masse haben. Folglich resultiert für diesen Anwendungsfall eine hohe flankierende Schallübertragung.

Funktionswände wie beispielsweise eine KS-Funktionswand haben durch die Verwendung von Mauerwerk mit hoher Rohdichte (Vollsteine,  $RDK \geq 1,8$ ) auch bei schlankem Mauerwerk eine hohe flächenbezogene Masse, durch die sich eine geringe flankierende Übertragung ergibt. Auf Grund der funktionalen Trennung von Wärmeschutz und Schallschutz kann die flächenbezogene Masse einer Funktionswand „variabel“ auf die Anforderungen angepasst werden. Der Wärmeschutz bleibt davon unberührt.

### **Konsequenzen für Gebäudeplanungen**

Weitere Vorteile bei der Verwendung von funktionsgetrennten Außenwänden ergeben sich auch im Rahmen von Gebäudeplanungen. Beim Entwurf eines energieeffizienten Gebäudekonzeptes ist die Bautechnik der Gebäudehülle neben der Anlagentechnik ein zentraler Baustein. Die Energieeffizienz eines Gebäudes ergibt sich im Wesentlichen aus dem integrativen Zusammenspiel mit qualitätvoller bautechnischer Gebäudehülle und der Effizienz der Anlagentechnik. Bei der „energieoptimierten“ Gebäudeplanung werden beide Komponenten soweit auf einander abgestimmt, dass die angestrebten Anforderungen erreicht werden.

Eine Stärke von Funktionswänden ist die Anpassbarkeit der Eigenschaften. Bei Funktionswänden muss der Wärmeschutz der Außenwände im Vorfeld nicht genau festgelegt werden. Mit der Auswahl der Anlagentechnik können Planer zum Erreichen der bautechnischen Anforderungen die Funktionswände durch beispielsweise Anpassen der Dämmstoffdicke optimal auf den notwendigen Wärmeschutz einstellen.

Bei Verwendung von monolithischen Außenwänden ist der Wärmeschutz durch die Wahl beispielsweise des Mauerwerks vorgegeben. Wenn im Planungsprozeß mit Auswahl der Anlagentechnik klar wird, dass der Wärmeschutz einer Außenwand zum Erreichen der bautechnischen Anforderungen nicht ausreicht, müssen zusätzliche anlagentechnische Maßnahmen ergriffen werden.

Weitere Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Bau- und Anlagentechnik sind Zusatzmaßnahmen (z.B. solare Trinkwassererwärmung oder Wärmerückgewinnung bei Zu- und Abluftanlagen) oder die Verbesserung des Wärmeschutzes von anderen Bauteilen und -elementen (z.B. Dach oder Kellerdecke / Bodenplatte) um den nicht ausreichenden Wärmeschutz der Außenwand zu kompensieren. Im Allgemeinen ist dies mit erheblichen Kosten-Mehraufwand verbunden.

Gleiches gilt prinzipiell für die Planung des Schallschutzes im Wohnungsbau. Bei der Konzeption des Schallschutzes (z.B. im mehrgeschossigen Wohnungsbau) kann beispielsweise eine KS-Funktionswand durch Ändern der Rohdichte oder Wanddicke optimal auf die notwendigen Anforderungen angepasst werden. Der Wärmeschutz bleibt davon unberührt.

Bei monolithischen Wandkonstruktionen ist beispielsweise durch die Wahl des Mauersteins das Bauteilschalldämm-Maß der Außenwand vorgegeben. Eine flexible Änderung ist nicht mehr möglich. Bei Verwendung von monolithischem Mauerwerk, müssen Planer bei der Auswahl des Mauerwerks immer einen Kompromiss zwischen Wärmeschutz und Schallschutz eingehen.

Im Folgenden wird eine Übersicht der Einsatzmöglichkeiten von ausgewählten Wandkonstruktionen zu Außenwänden in Abhängigkeit vom „Energetischen Standard“ für den „Energetischen Gebäudetyp“ Einfamilienhaus (EFH) gegeben (s. Abb. 16), [IFB-07].

Die Kennzeichnung von möglichen bau- und anlagentechnischen Kombinationen wird durch „grüne Haken“, unter Angabe des entsprechenden U-Wert ( $W/m^2K$ ) der Außenwand aufgezeigt.

Bei nicht möglichen bau- und anlagentechnischen Kombinationen wird die Kennzeichnung anhand von „roten Xen“ dargestellt.

Anlage	Gebäude typ: EFH	Einsatzmöglichkeiten von ausgewählten Wandkonstruktionen als Außenwandtypen in Abhängigkeit vom „Energetischen Standard“ und der Kompaktheit des Gebäudes A/V <sub>e</sub> -Verhältnis für den „Energetischen Gebäudetyp“ EFH															
		EnEV-Standard A/V <sub>e</sub> = 0,68				KfW-60-Standard A/V <sub>e</sub> = 0,68				KfW-40-Standard A/V <sub>e</sub> = 0,60				Passivhaus-Standard A/V <sub>e</sub> = 0,60			
		WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4
1. NT-Kessel 70/55 °C	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗					
2. Brennkessel 55/45 °C	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗					
3. Brennkessel 55/45 °C, Solar	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✗	✗	✓ (0,13)	✗	✗	✗	✗	✗					
4. Brennkessel 35/28 °C, Solar, Zu- und Abluft	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✓ (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,26)	✓ (0,28)	✗	✗	✓ (0,20)	✓ <sup>3)</sup> (0,19)					
5. Wärmepumpe 35/28 °C, (Sole / Wasser)	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✓ (0,28)	✓ (0,28)	✓ (0,26)	✗ (0,28)	✗	✗	✗	✗					
6. Wärmepumpe, Zu- und Abluft 35/25 °C (Luft / Wasser)	Einsatz U-Wert AW (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✓ (0,28)	✓ <sup>1)</sup> (0,30)	✓ (0,26)	✓ (0,28)	✗	✗	✓ (0,15)	✓ <sup>3)</sup> (0,14)					
7. Biomasse 55/45 °C	Einsatz (U-Wert AW) (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,31)	✓ (0,34)	✓ (0,28)	✓ (0,30)	✓ (0,26)	✓ (0,28)	✓ (0,23)	✓ <sup>1)</sup> (0,23)	✓ (0,23)	✓ <sup>3)</sup> (0,23)					
8. Wärmepumpe-Kompaktgerät (Abluft / Luft), Solar	Einsatz (U-Wert AW)												✗ <sup>2),4)</sup> (0,18)	✗	✓ (0,15)	✓ <sup>3)</sup> (0,14)	

Nicht berücksichtigt    ✓ Möglich    ✗ Nicht möglich

Untersuchte Wandkonstruktionen mit Angabe der Bauteilschichten (Aufbau von innen nach außen) mit Angabe der Wärmeleitfähigkeit des Steins:  
 WK 1: Monolithische Wandkonstruktion, 1,5 cm Innenputz, 30 und 36,5 cm PPW bzw. Htz,  $\lambda=0,09$  W/mK, 2,0 cm Außenputz.  
 WK 2: Monolithische Wandkonstruktion, 1,5 cm Innenputz, 30 und 36,5 cm PPW bzw. Htz,  $\lambda=0,09$  W/mK, 2,0 cm Außenputz.  
 WK 3: Einschalige Wandkonstruktion mit WDVS, 1,5 cm Innenputz, 15,0 cm KS,  $\lambda=0,09$  W/mK, WD (variable Dicke)  $\lambda=0,035$  W/mK, 1,5 cm Außenputz.  
 WK 4: Zweischalige Wandkonstruktion, 1,5 cm Innenputz, 15,0 cm KS,  $\lambda=0,09$  W/mK, WD 0,35 (variable Dicke)  $\lambda=0,035$  W/mK, 1,5 cm Außenputz.  
 1) Gewählter Porenbetonstein PPW 4-0,50: ( $\lambda=0,12$  W/mK, Dicke 36,5 cm) erreicht nicht den U-Wert von  $U = 0,26$  W/m<sup>2</sup>K.  
 2) Für den Passivhaus-Standard wurde ausschließlich ein Ziegel Htz  $\lambda=0,08$  W/mK, Dicke 42,5 cm, zum Ansatz gebracht.  
 3) Für den KfW-40- und Passivhaus-Standard wurde für die WK 4 als Dämmschicht Phenolharzschäum,  $\lambda=0,022$  W/mK sowie gegebenenfalls ein vergrößerter Schalenabstand  $\geq 15$  cm zum Ansatz gebracht.  
 4) Darstellung der WK 1 zu Vergleichszwecken. Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten für den Passivhaus-Standard gemäß PHI  $U \leq 0,15$  W/m<sup>2</sup>K wurde zu Vergleichszwecken in der Untersuchung mit betrachtet.

Abb. 16: Einsatzmöglichkeiten von ausgewählten Wandkonstruktionen als Außenwandtypen für den „Energetischen Gebäudetyp“ Einfamilienhaus mit rot gekennzeichneten Beispielen (IFB 2007)

Zusammenfassend und rot gekennzeichnet stellen sich die Wandkonstruktionen (WK 3) und (WK 4) als die Wandkonstruktionen dar, die in Kombination mit effizienten Anlagentechniken in allen „Energetischen Standards“, insbesondere für den „Passivhaus-Standard“ möglich sind [IFB-07].

## Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Bewertung von nachhaltigen Außenwänden und deren Auswirkungen auf die Eigenschaften von Wohngebäuden sollten nie einzelne Aspekte isoliert betrachtet werden. Für eine nachhaltige Bewertung von Wohngebäuden muss vielmehr die Gesamtheit aller relevanten Eigenschaften zur ganzheitlich-nachhaltigen Bewertungsgrundlage werden.

Außenwände haben als Teil der Bautechnik erheblichen Einfluss auf die grundlegenden Eigenschaften von Wohngebäuden, wie beispielsweise Wärmeschutz, Schallschutz, Nutzflächeneffizienz usw. Ziel bei der Wahl der richtigen Außenwandkonstruktionen ist,

Anforderungen die sich aus diesen Eigenschaften ergeben, nachhaltig zu erfüllen um damit mit der Anlagentechnik die Nachhaltigkeit des Wohngebäudes zu steigern.

Der Vergleich von Außenwandkonstruktionen in der IFB-Studie [IFB-07] zeigt, dass in Bezug auf die „Sieben Brücken“ funktionsgetrennte Wandkonstruktionen dabei deutliche Vorteile gegenüber monolithischen Wandkonstruktionen haben. Besonders wenn die zunehmenden Anforderungen an den Wärmeschutz zu bewerten sind, können funktionsgetrennte Außenwandkonstruktionen punkten. Durch die Trennung von Wärmeschutz und Schallschutz / Standsicherheit kann der Wärmeschutz von funktionsgetrennten Außenwänden an die Anforderungen nach EnEV, dem KfW-60-Haus über das KfW-40-Haus bis zum Passivhaus angepasst werden. Dabei bleiben alle weiteren Eigenschaften unberührt.

Die folgende Abbildung 17 zeigt das die funktionsgetrennte Außenwände alle „Sieben Brücken“ unproblematisch überwindet und mit dem „hellen Schein“ bewertet wird. Die monolithische Außenwand hat in Bezug auf die Überwindung der „sieben Brücken“ größere Probleme und muss die „Asche“ sein (Anmerkung: prosaische Bewertungsurteile „Asche“ und „heller Schein“ aus dem Lied: „Über sieben Brücken mußst Du gehn“).

Die KS-Funktionswand beispielsweise hat in der Vergangenheit bewiesen, dass das Konzept der funktionsgetrennten Außenwand erhebliche Vorteile in Bezug auf die in diesem Beitrag als „Sieben Brücken“ dargestellten nachhaltigen Aspekte gegenüber monolithischen Außenwänden hat.

Die notwendige Steigerung der Energieeffizienz von Wohngebäuden wird in Zukunft zu weiteren Zwängen beim Einsatz von monolithischen Außenwänden führen. Die Verwendung von monolithischen Außenwänden war und bleibt zukünftig, in Bezug auf die in diesem Beitrag dargestellten Nachhaltigkeitsaspekte („Sieben Brücken“) ein problematischer Kompromis für Nutzer, Planer und Ausführende für nachhaltige Wohngebäude.

Funktionsgetrennte Außenwände gehen „im hellen Schein“ über die „Sieben Brücken“ als zusammengefasste Anforderungen für die so definierten Außenwände zu nachhaltigen Wohngebäuden.

# Bewertungsmethode „Sieben Brücken“ zur Nachhaltigkeit von Außenwänden

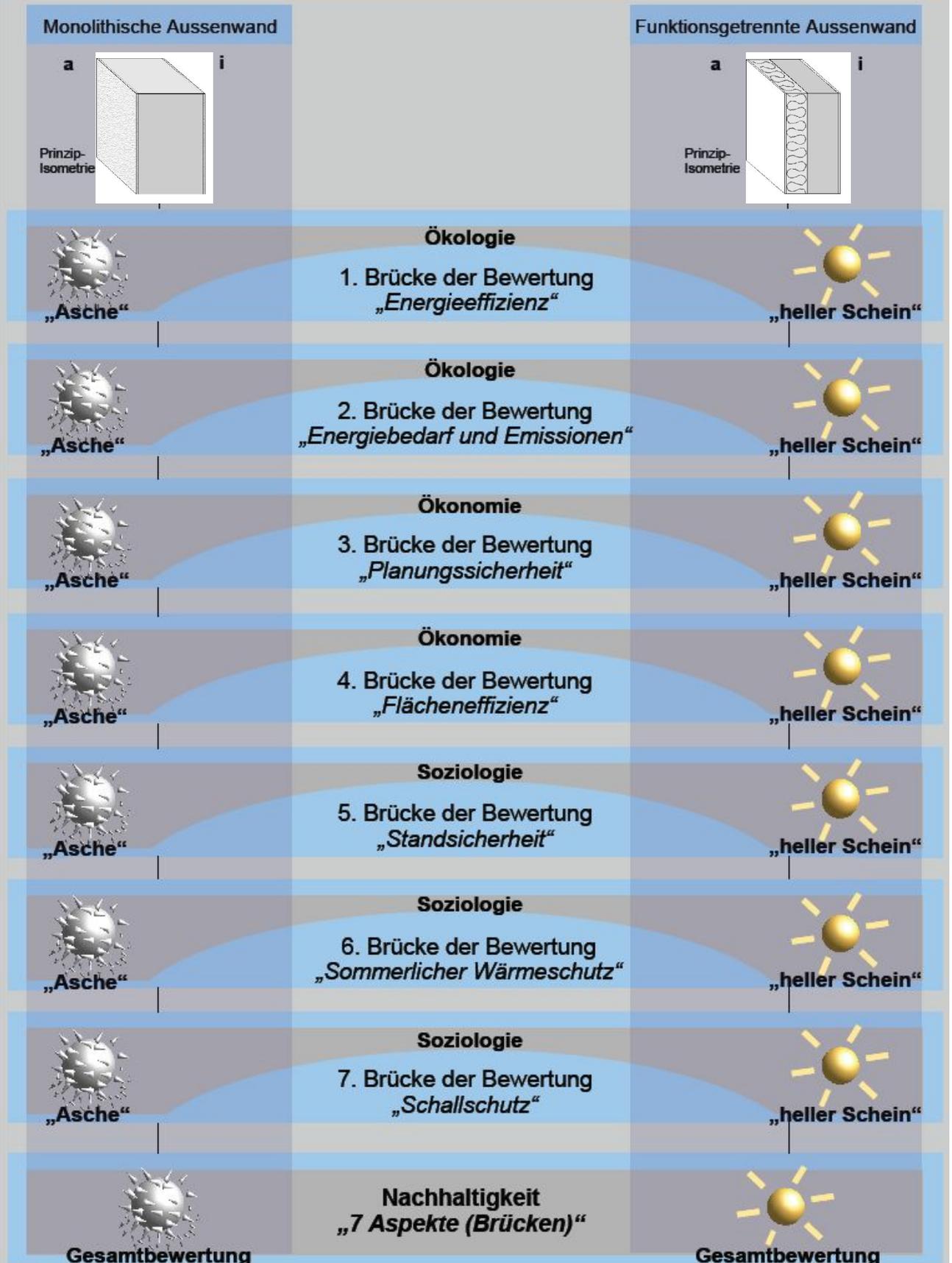


Abb. 17: Bewertungsergebnis „Sieben Brücken“ für nachhaltige Außenwände (IFB 2007)

## Verwendete und weitergehende Literatur:

AR-94

Arlt, Joachim

**Untersuchungen verschiedener Ökobilanzen hinsichtlich ihrer wesentlichen Parameter unter Berücksichtigung von Emissionen, Primärenergieverbrauch und Wirtschaftlichkeit**

Institut für Bauforschung e. V. (Hrsg.), Hannover 1994

DIN 4108-2

**Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Wohngebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz**

HK-06

Hauser, **KS-Bauseminar 2006**

IFB-07

Institut für Bauforschung e. V. (Hrsg.)

Bearbeiter: Fanslau, Dirk; Pfeiffer, Martin; Zedler, Julia

**Außenwände aus Mauerwerk für energieeffiziente Gebäude im nachhaltigen Wohnungsbau**

Hannover 2007

KS-06.1

Kalksandstein-Info GmbH:

**Der Kalksandstein. Das Original. Bautechnische Werte.**

Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2006

KS-06.2

Kalksandstein-Info GmbH:

**Der Kalksandstein. Das Original. DIN 1053-1 Mauerwerk, Berechnung und Ausführung**

Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2006

KS-06.3

Kalksandstein-Info GmbH:

**Der Kalksandstein. Das Original. DIN 1053-1 Mauerwerk, Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes**

Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2006

NI-95

Niedersächsisches Ministerium (Hrsg.)

**Niedrigenergiehausstandard im Geschosswohnungsbau**

Bearbeitet: vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover 1995

NI-98

Niedersächsisches Ministerium (Hrsg.)

**Niedrigenergiehäuser in Niedersachsen**

Bearbeitet vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover 1998

NI-01

Niedersächsisches Ministerium (Hrsg.)

**Ein- und Mehrfamilienhäuser in Niedrigenergiebauart richtig bauen – richtig nutzen**

Bearbeitet vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover 2001

NI-02

Niedersächsisches Ministerium (Hrsg.)

**Bauen und Energiesparen**

Bearbeitet vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover 2002

NI-04

Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit (Hrsg.):

**Kostengünstiges und umweltverträgliches Bauen - Bau-Handbuch für Wohneigentümer**

Bearbeitet: vom Institut für Bauforschung e. V., Pfeiffer, Martin, Hannover 2004

PI-07

**Passivhausinstitut Darmstadt**, Dr. Wolfgang Feist; [www.phi.de](http://www.phi.de)

PF-04

Pfeiffer, Martin (Hrsg.); Fanslau, Dirk u.a.:

**Energiesparhäuser**

Forum Verlag Herkert GmbH, Mering 2004

PF-04.1

Pfeiffer, Martin (Hrsg.); Fanslau, Dirk; u.a.:

**Architektur- und Ingenieurmanagement**

Bauwerk Verlag, Berlin 2004