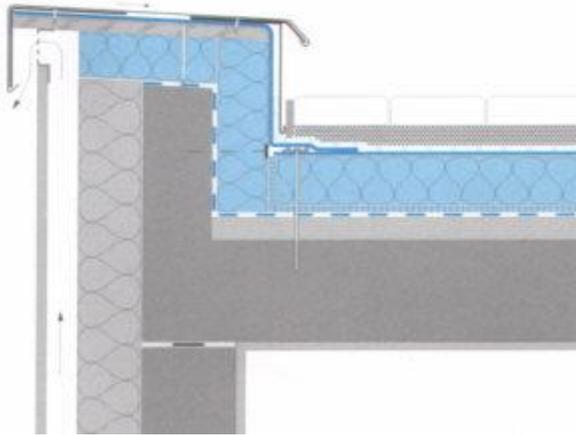


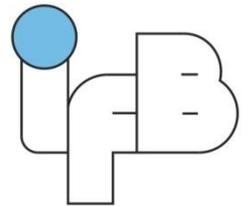
# Dämmung von Gebäuden – technisch richtig gemacht

Prof. Wolfgang Sorge



WOLFGANG SORGE  
INGENIEURBÜRO  
FÜR BAUPHYSIK

Beratende Ingenieure VBI



beraten  
planen  
prüfen

# Bauphysik

## - Wohlfühlklima aus einer Hand

Energieeffizienz – Wärme- und Feuchteschutz - Tageslicht

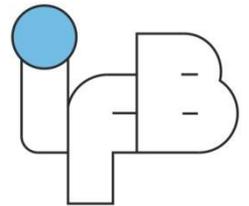
Schallschutz – Raumakustik – Erschütterungsschutz



[www.ifbSorge.de](http://www.ifbSorge.de)

WOLFGANG SORGE  
INGENIEURBÜRO  
FÜR BAUPHYSIK

Beratende Ingenieure VBI



beraten  
planen  
prüfen

# Inhalt

---

## Wärmedämmung eines Gebäudes

fachgerecht ausführen

lückenlose Dämmebene

luftdichte Konstruktion

wirtschaftliche Dämmstoffdicken

Raumlüftung

# Bauschäden vermeiden

Leichte Dächer -nicht hinterlüftet, Abdichtung dampfdicht  
nach Regelwerken zulässig, aber auch funktionstüchtig?

---

Beispiel eines Bauschadens





## Holzdach

Dacheindeckung Bitumen auf Holzschalung

Mineralfaserdämmung zwischen den Dachbalken

Dampfsperre

Gipskartonplatte

Berechnung nach „Glaser“ DIN 4108-2

zulässig, keine kritische Tauwasserbildung

Feuchteschäden durch Konvektion: Undichte Luftdichtheitsebene



## Luftdurchlässiger Randanschluss



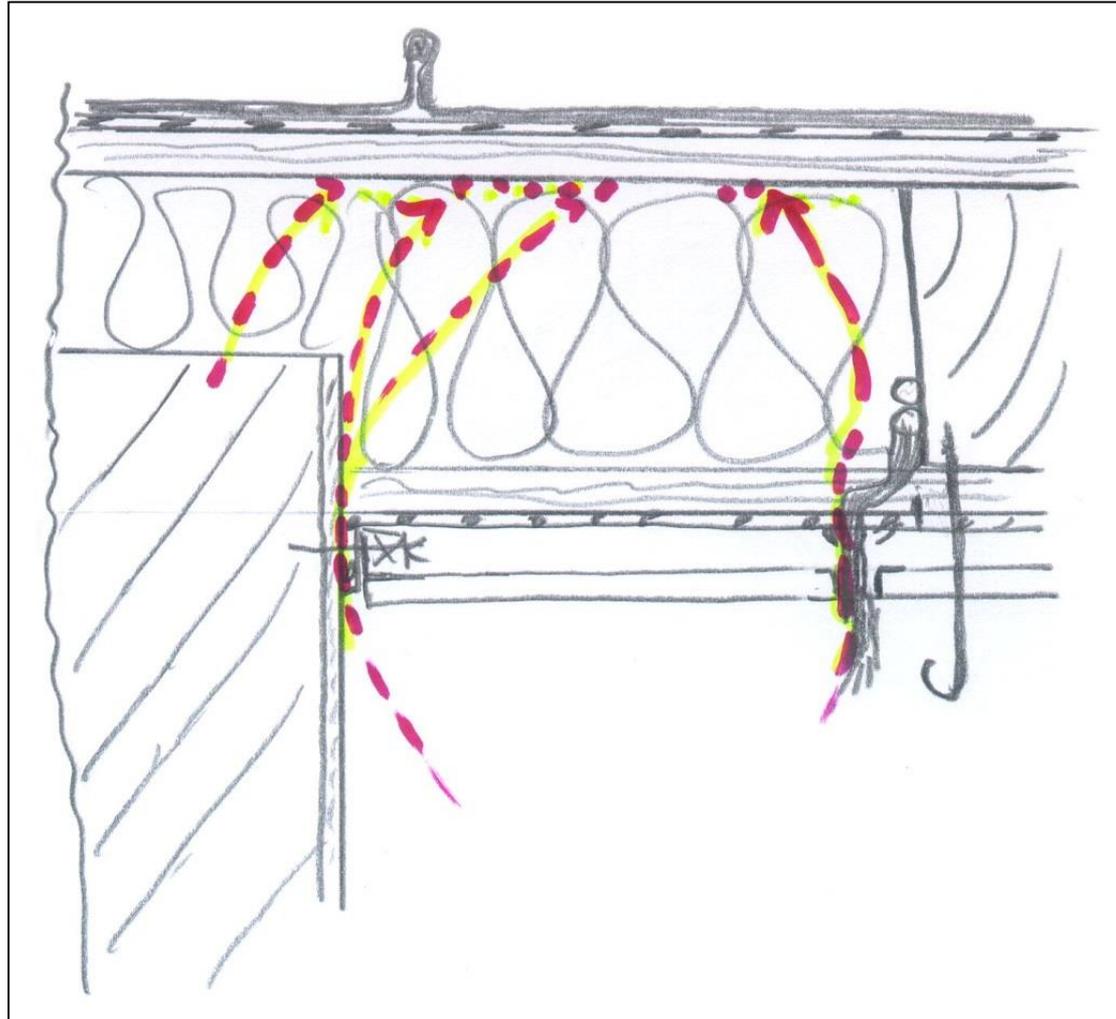
# Leichtes Flachdach mit bituminöser Abdichtung

Befeuchtung der Dachschalung  
durch konvektiven Feuchteintrag



# Leichtes Flachdach mit dampfdichter Abdichtung

Befeuchtung durch konzentriert auftretende Feuchtigkeit über „Baufeuchte“ und konvektiven Feuchtetransport



# Bauschäden vermeiden

Leichte Dächer –mangelhaft verlegte Wärmedämmung

---

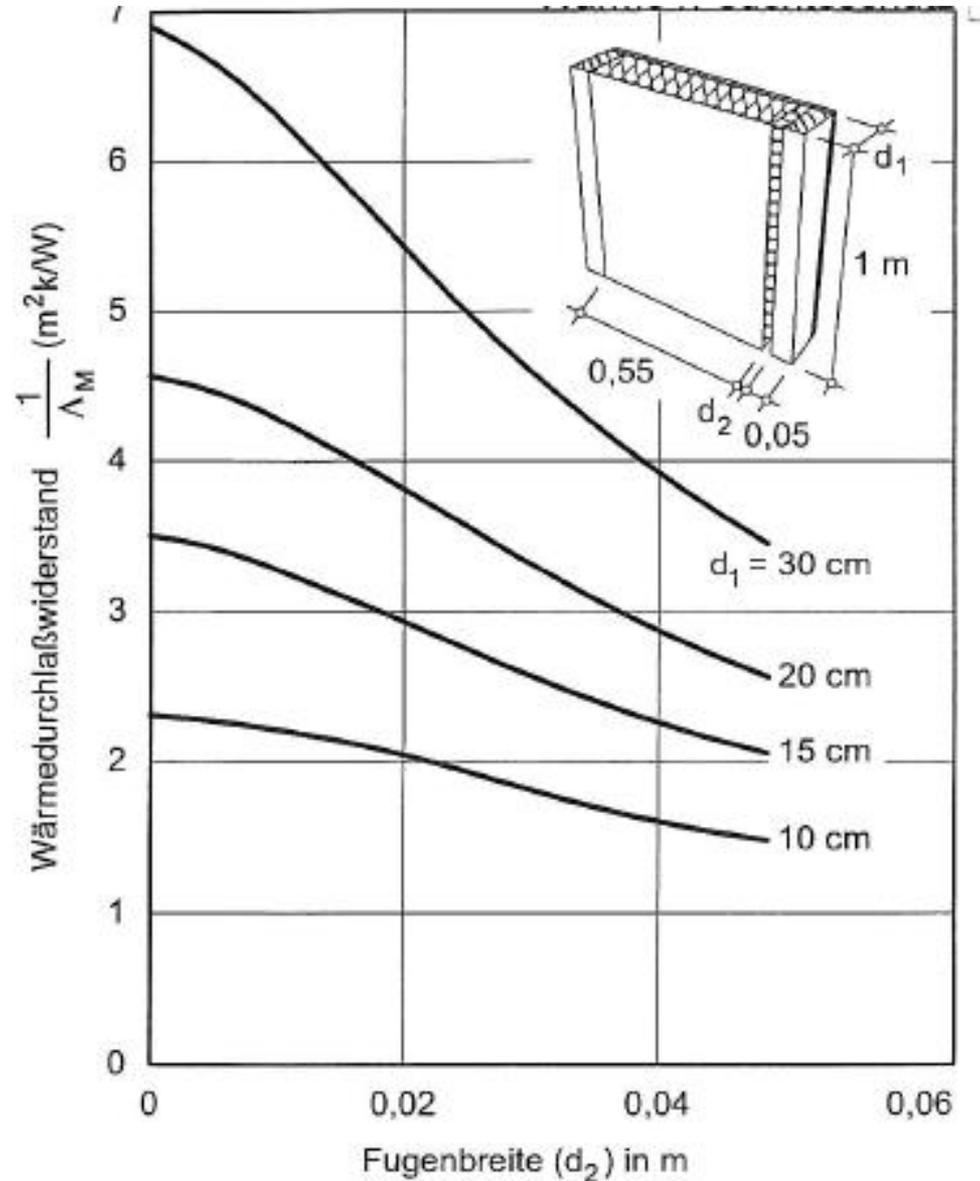
Beispiel eines Bauschadens



# Fehlerhafte Verlegung von Dämmungen



Verminderung des Wärmedurchlasswiderstandes durch Fugen zwischen den Dämmplatten / Profilen





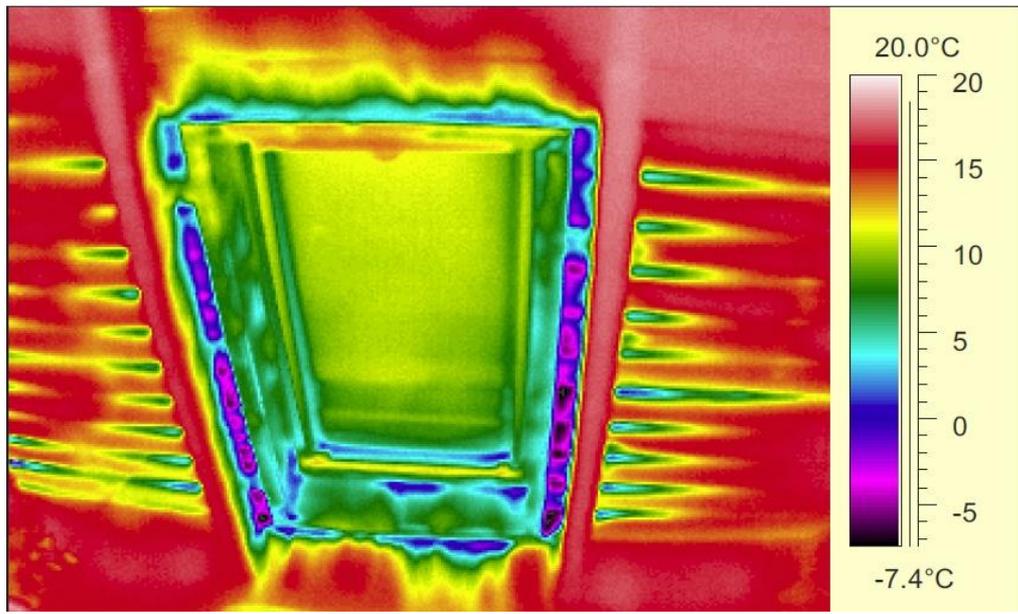
Fehlerhafte Dämmung, nicht fugenlos verlegt

Unterlüftung der Wärmedämmung mit Außenluft

# Menschen müssen atmen, nicht die Gebäudehülle!

Innenseitige Unterlüftungen von Dämmungen –  
Unzureichende Luftdichtheit der Konstruktion

Zugerscheinungen und Energieverluste



# Bauschäden vermeiden

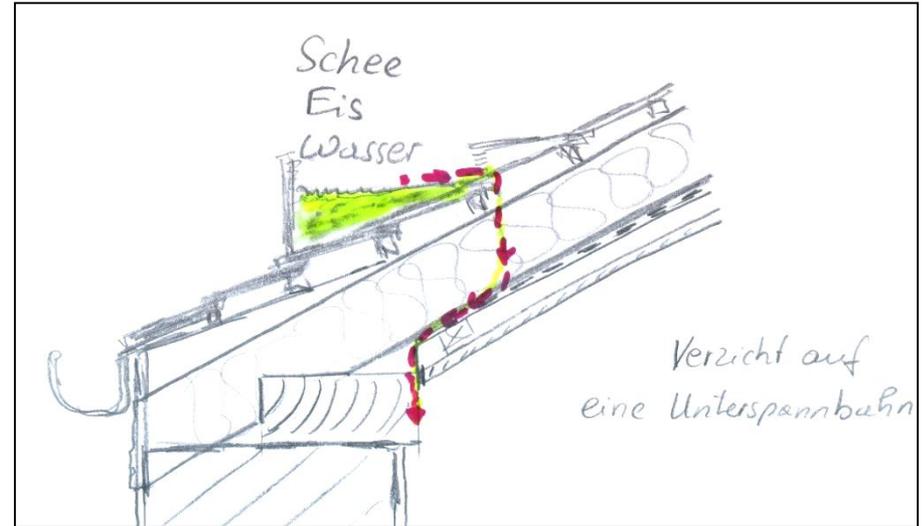
Nachträglich gedämmte Sparrendächer

---

Beispiel eines Bauschadens



# Nachträgliche Wärmedämmung eines Sparrendachs



fehlende Unterspannbahn, mangelhafte Unterlüftung der Dacheindeckung

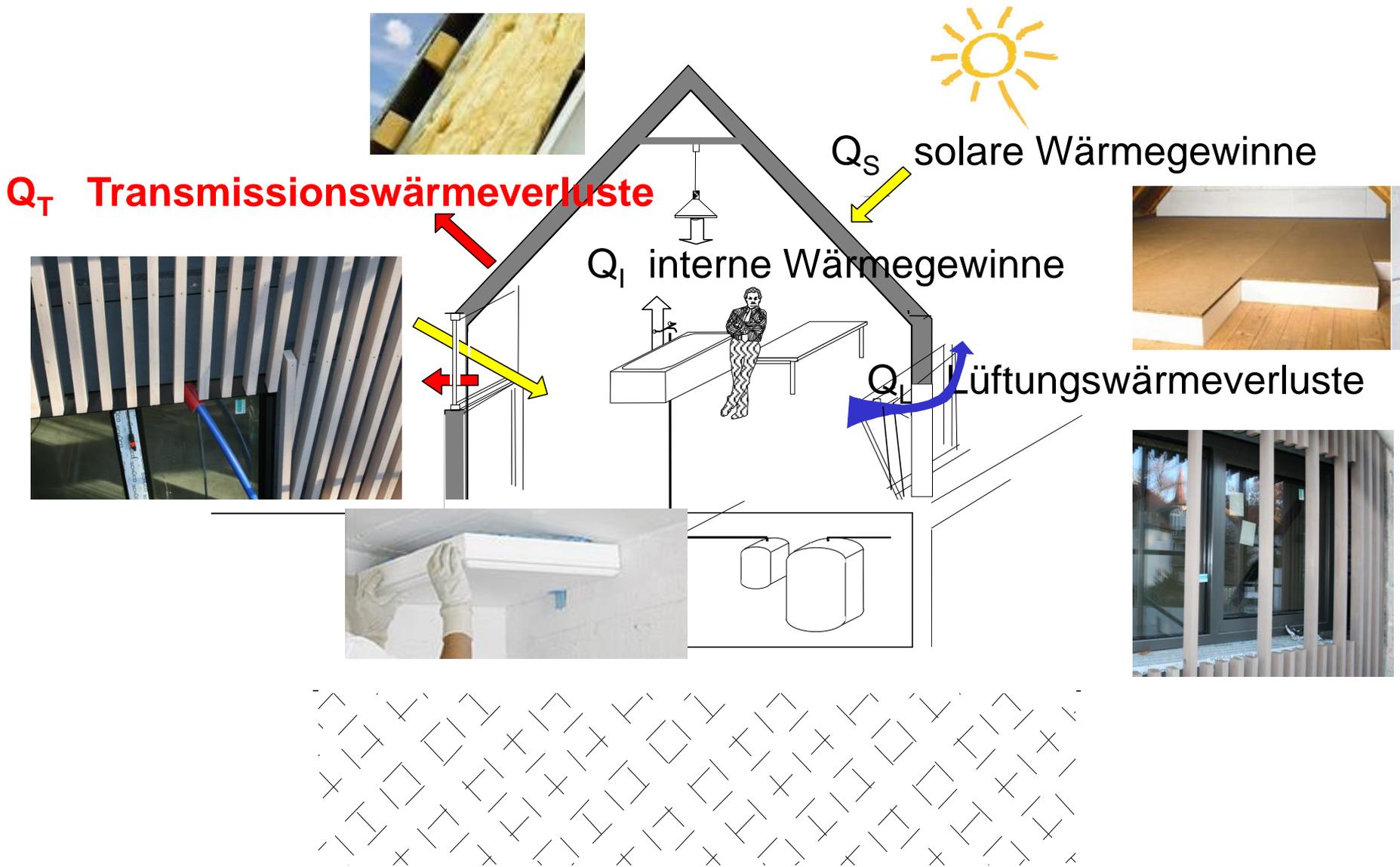
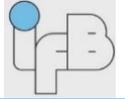
# Wärmedämmung

- der bauliche Wärmeschutz

---

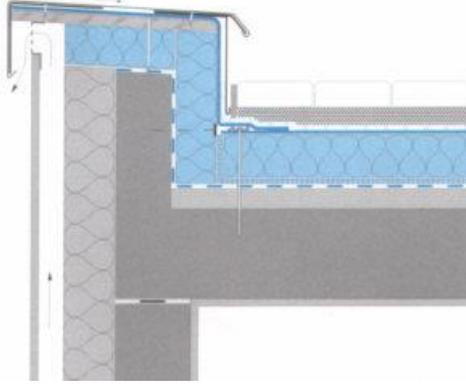


# Gebäudehülle – Wärmegewinne und Verluste

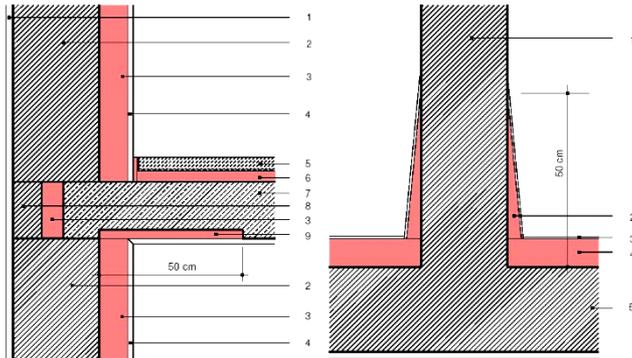


# Wärmedämmung innen oder außen?

Dämmung außen ist der Regelfall



Dämmung innen die Ausnahme für Sonderfälle  
z.B. nachträgliche Dämmung  
einer historischen Fassade



- 1 Außenputz
- 2 Mauerwerk
- 3 Wärmedämmung
- 4 Gipskartonplatte
- 5 Schwimmender Estrich
- 6 Trittschalldämmung
- 7 Stahlbetondecke
- 8 Abstellstein
- 9 Dämmstreifen

4-32 Einschalige Wand mit Innendämmung – Lage der Dämmstreifen im Bereich der Deckeneinbindung

- 1 Mauerwerk
- 2 Dämmkeil
- 3 Gipskartonplatte
- 4 Wärmedämmung
- 5 Außenwand
- 6

4-33 Einschalige Wand mit Innendämmung – Lage der Dämmung im Einbindebereich einer tragenden Innenwand



## Innenwärmedämmungen nur mit qualifizierten Fachleuten planen und ausführen!



### Dämmung mit kapillaraktiven Dämmsystemen

- Denkmalschutz/Bauablauf
- Kapillarität/Diffusität
- Schadensfreiheit/Detailausbildung

### Instationäre Nachweisverfahren

- Feuchtetransportvorgängen
- Anforderungen aus Bauordnung und der Normung
- Konventionelle Berechnungsverfahren  
DIN 4108-3 und DIN EN 13788
- Gültigkeitsgrenzen
- Anwendungsfälle für ein- und  
zweidimensionale Berechnungen
- Schallängsleitung

### Ausgangszustand

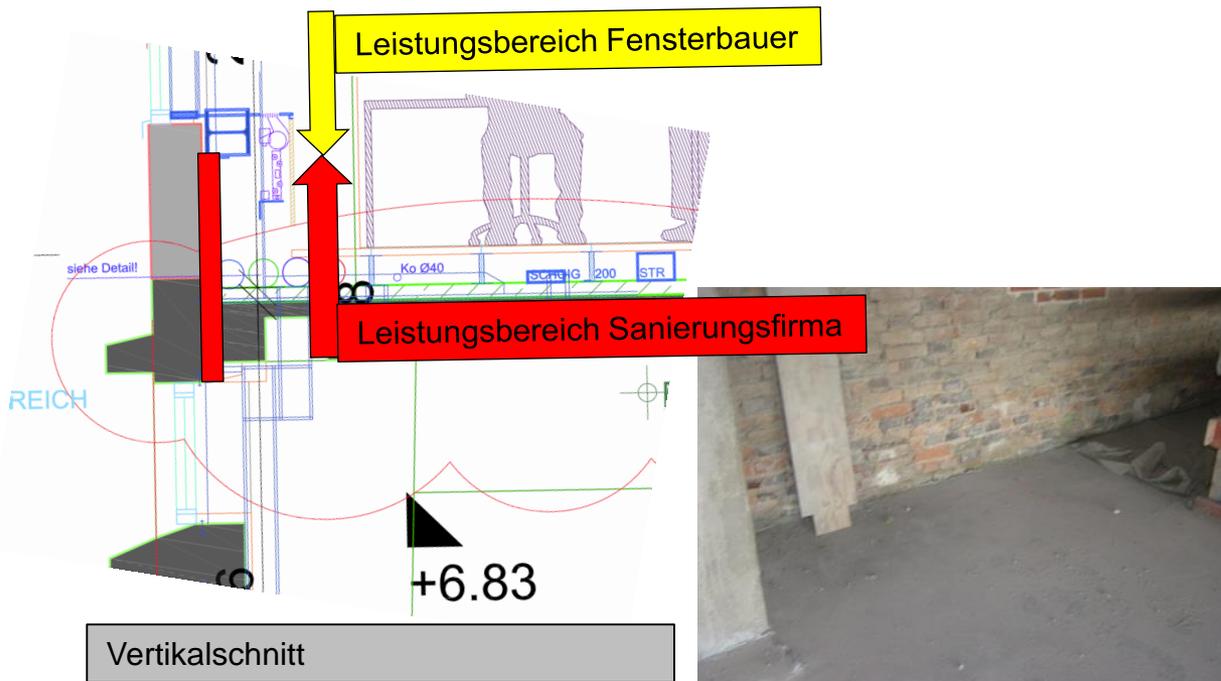
- Denkmalgeschützte Außenfassade, außen:
  - Klinkermauerwerk
 innen: Vollziegelmauerwerk (Oberfläche sehr uneben, brüchig)
  
- Anforderungen:
  - energieeffizienter Wärmeschutz durch Innendämmung
  - behagliches Raumklima durch hohe Oberflächentemperatur
  - Bauablauf/Bauzeitenplan



# Innendämmung genau geplant

## Planungsphase

- Vorplanung/Entwurfsplanung: Entwicklung Vorteile kapillaraktiver Innendämmung
  - Bauablauf
  - Detailausbildung
- Entwicklung/Optimierung der Maßnahmen durch Wärmebrückenberechnungen und instationäre Nachweisverfahren zur Dampfdiffusion



# Innendämmung genau ausgeführt

## Maßnahme

- Ausgleichsputz zur Schaffung einer planen Oberfläche (vollflächiges Kleben der Innendämmung, Klebeebene für Anschluss von Baufolien)
- Innendämmung aus 6 cm dicken Mineralfämmplatten
- Innenputz aus Leichtmörtel mit Armierungsgewebe





# Innendämmung und Holzbalkendecken

**Nur mit qualifizierten Fachleuten planen und ausführen!**

## Ausgangszustand

- Denkmalgeschützte Außenfassade,  
außen: Sandstein  
innen: Hochlochziegel, verputzt
- Geschossdecken als Holzbalkendecke
- Anforderungen:  
energieeffizienter Wärmeschutz durch  
Innendämmung
- Problematik:
  - Innendämmung führt zu geringeren  
Materialtemperaturen
  - Erhöhte Poren-Luftfeuchte
  - Schädigung der Balkenköpfe
  - Kapillaraktive Innendämmung ermöglicht  
beschleunigtes Austrocknen

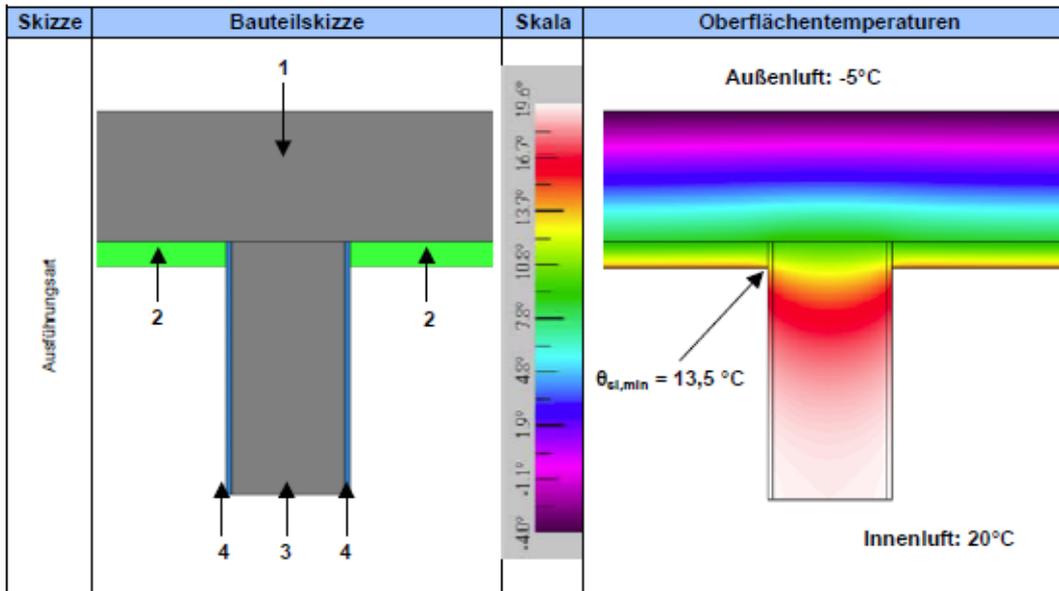
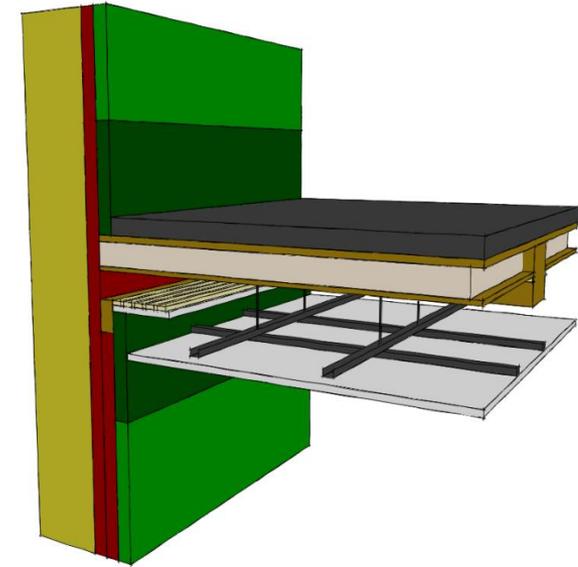


# Innendämmung und Holzbalkendecken

## mit speziellen Planungswerkzeugen (Berechnungsprogramme) planen

### Maßnahmen

- Entwicklung/Optimierung der Maßnahmen durch Wärmebrückenberechnungen und instationäre Nachweisverfahren zur Dampfdiffusion



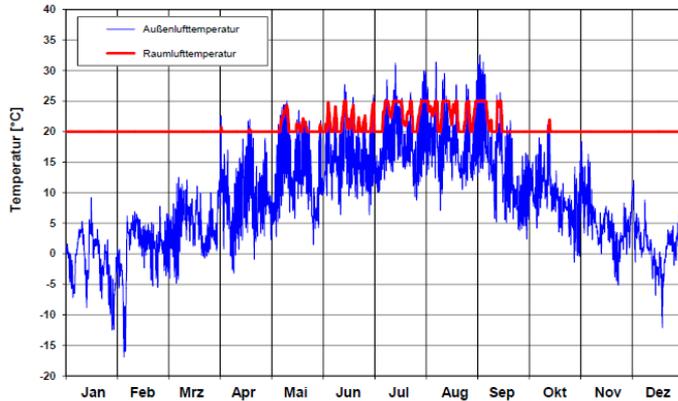


# Innendämmung und Holzbalkendecken

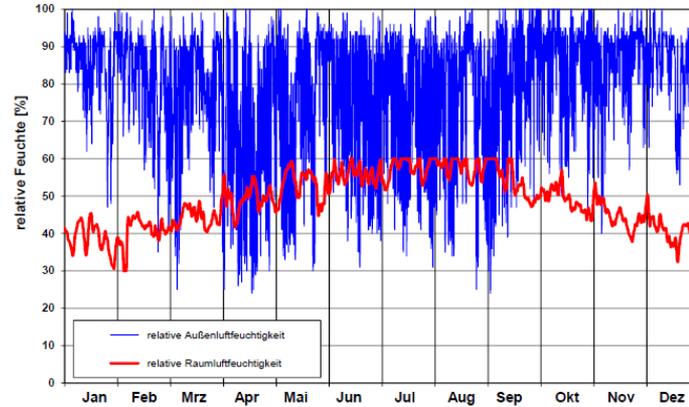
## mit speziellen Planungswerkzeugen (Berechnungsprogramme) planen

Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports

Beispiel: Randbedingungen, Feuchtereferenzjahr des DWD

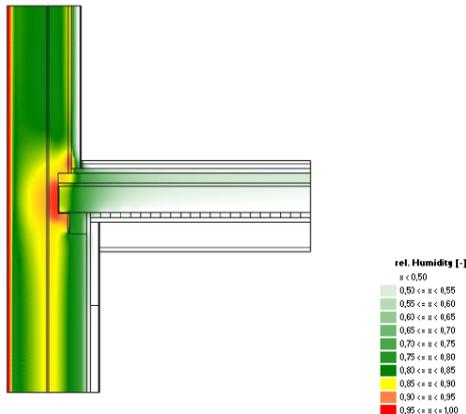


Temperaturen Außenluft und Raumluft

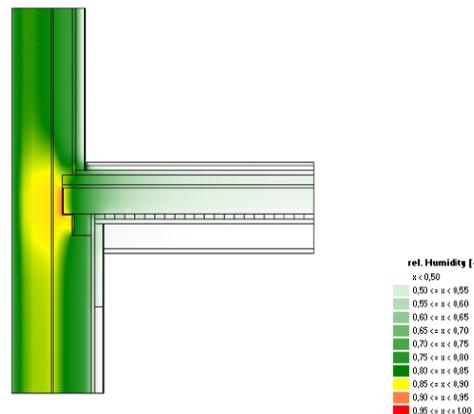


Relative Luftfeuchte: Außenluft und Raumluft

## ■ Simulationsergebnisse



Porenluftfeuchte am 03. November



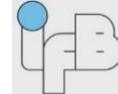
Porenluftfeuchte am 25. Januar

# Wirtschaftlichkeit - Nachhaltigkeit

---



# Energie- und CO<sub>2</sub> - Einsparziele



notwendige Maßnahmen: Dämmung und Effizienz der Technik  
 Zielwert 2030: Absenkung um 60%, d.h. auf 40% des heutigen Wertes

Beispiel: Absenkung Raumwärme durch baulichen Wärmeschutz um 30 % und Reduktion spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen Wärmebereitstellung um 50 %

Endenergie RW	Endenergie RW + WW	spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen der Techniken zur Wärmebereitstellung in % bezogen auf den Wert heute									
		EE <sub>RW</sub>	EE <sub>RW</sub> +EE <sub>WW</sub>	100%	93%	86%	79%	72%	65%	58%	51%
% (heute)	% (heute)	CO <sub>2</sub> -Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in % bezogen auf den Wert heute									
100%	100%	100%	93%	86%	79%	72%	65%	58%	51%	43%	36%
90%	91%	91%	85%	78%	72%	65%	59%	53%	46%	40%	33%
80%	82%	82%	77%	71%	65%	59%	53%	47%	42%	36%	30%
70%	74%	74%	68%	63%	58%	53%	48%	42%	37%	32%	27%
60%	65%	65%	60%	56%	51%	46%	42%	37%	33%	28%	24%
50%	56%	56%	52%	48%	44%	40%	36%	32%	28%	24%	20%
40%	47%	47%	44%	40%	37%	34%	30%	27%	24%	21%	17%
30%	38%	38%	36%	33%	30%	28%	25%	22%	19%	17%	14%

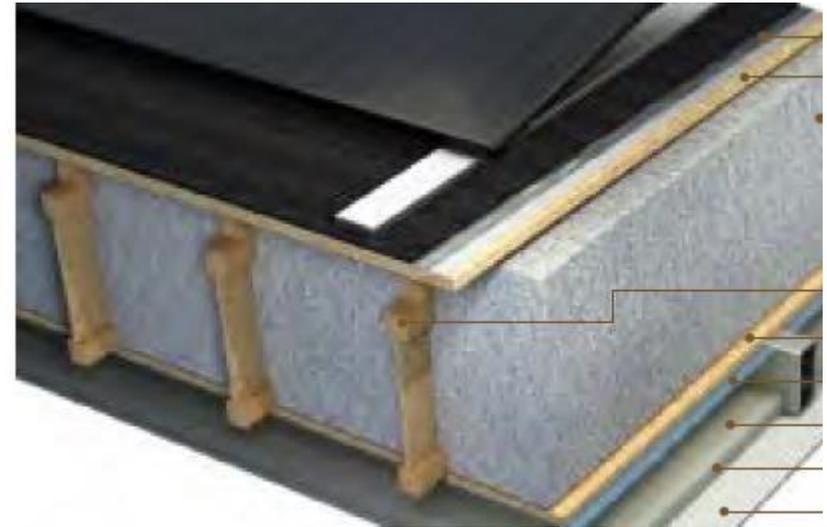
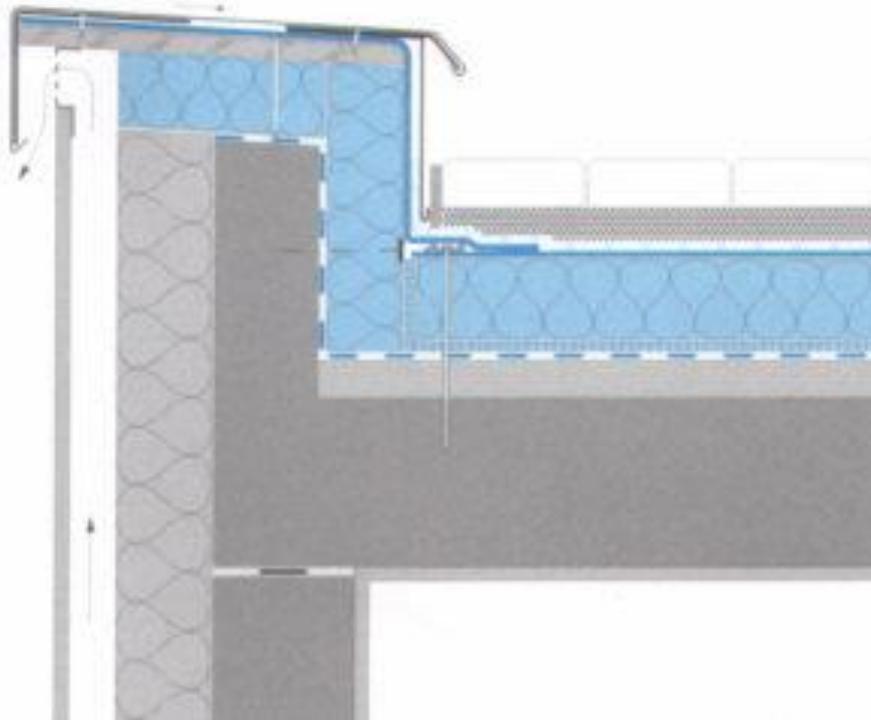
# U – Wert heute und in Zukunft



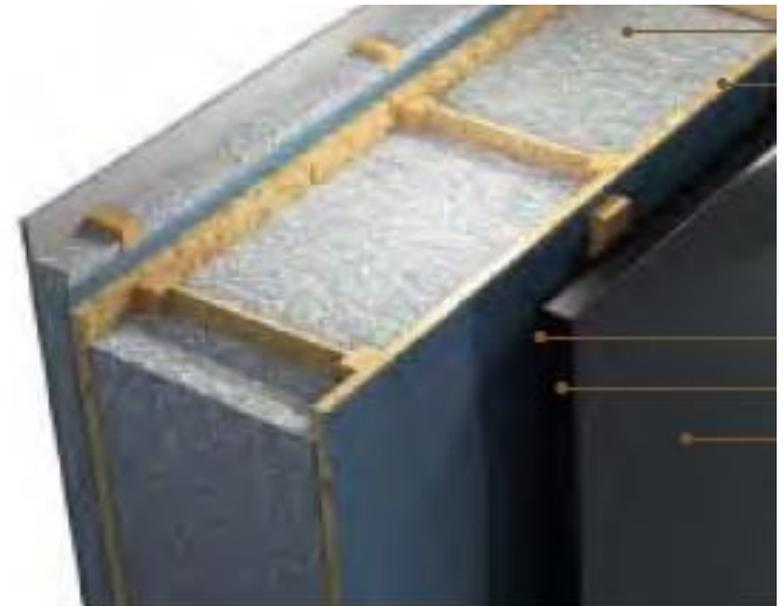
## Opake Bauteile

Zukunft  $U \leq 0,1 \dots 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

EnEV 14 (2016)  $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$



Quelle BMVBS

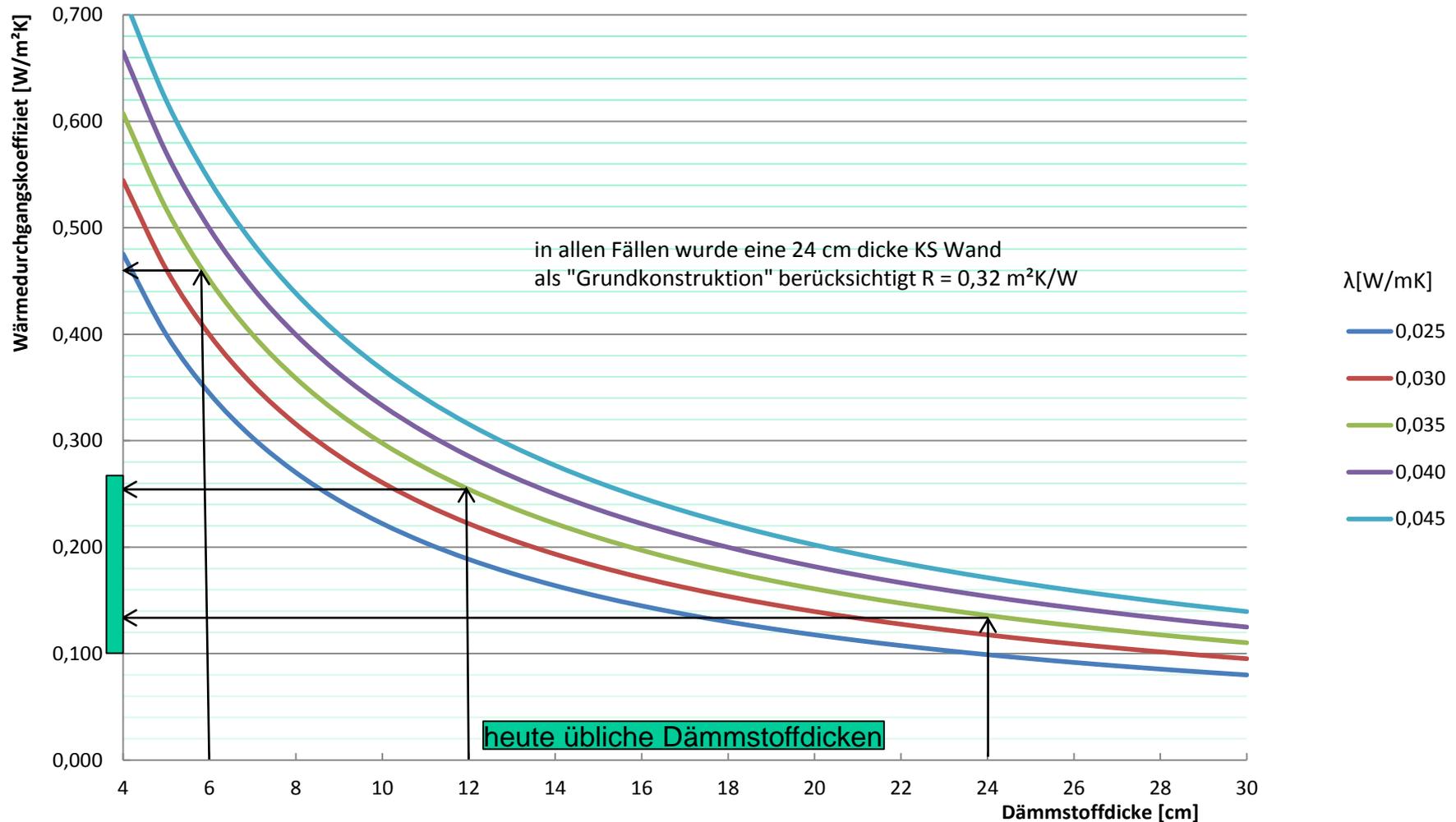


# dickere Dämmungen lohnen sich nicht?



## Wo liegt das Optimum?

### Wärmedurchgangskoeffizient über Dämmstoffdicke





## Graue Energie

Gegenüberstellung Wärmeschutz nach EnEV 14 und Zielgröße 2020

### Ergebnis aus Vergleichsberechnungen

Betrachtung bezogen auf den Dämmstoff (Transmissionswärmeverluste)

→ relativ kurze Amortisationszeiten

Betrachtung bezogen auf das gesamte Gebäude (Heizwärmebedarf)

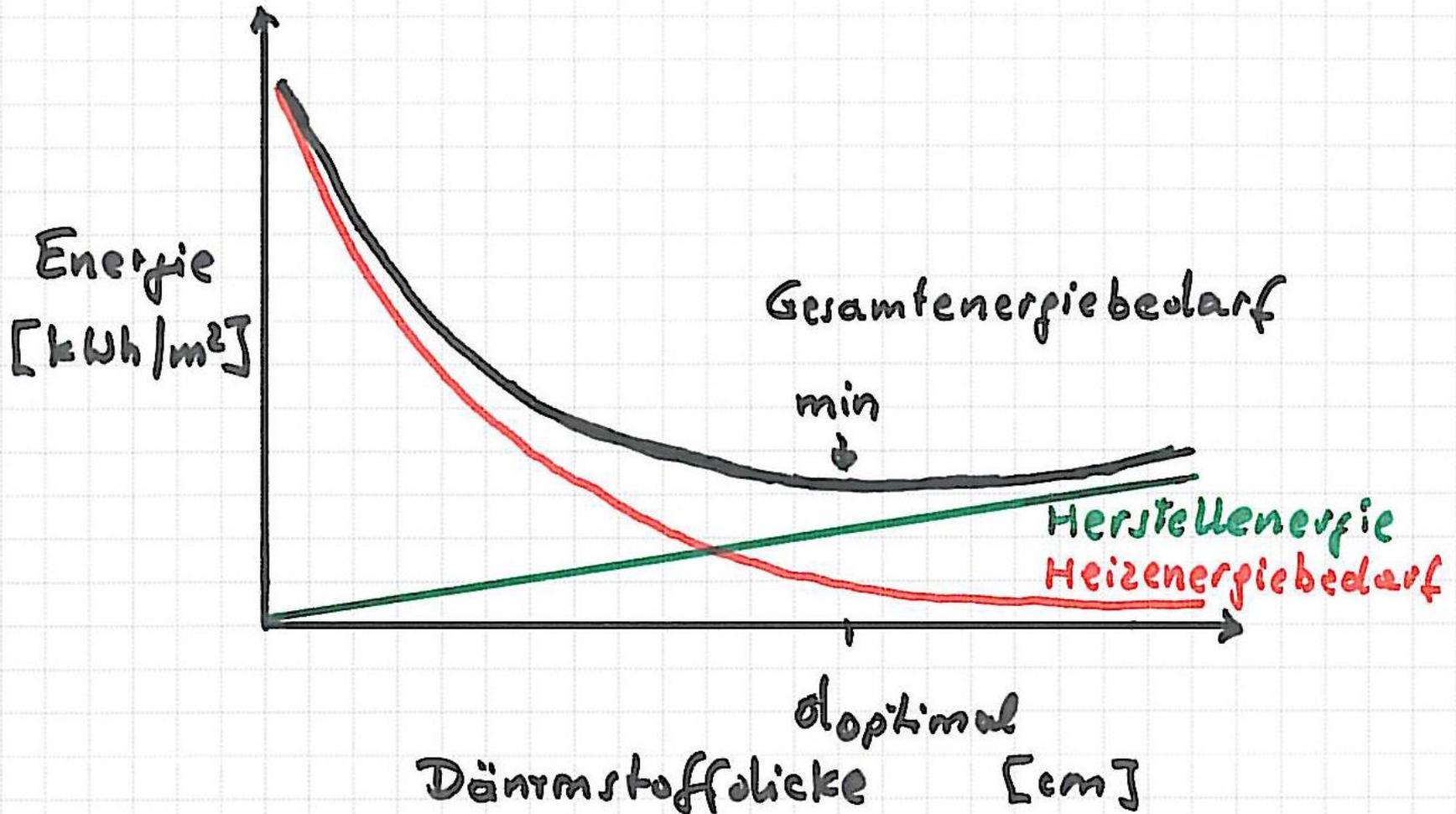
→ relativ lange Amortisationszeiten

Bei heute verfügbaren konventionellen Dämmstoffen sind U-Werte unter  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  kaum sinnvoll (energetische Amortisation)

Alternative: Dämmstoffe mit geringer grauer Energie

## Dämmstoffdicke – energetisch optimiert

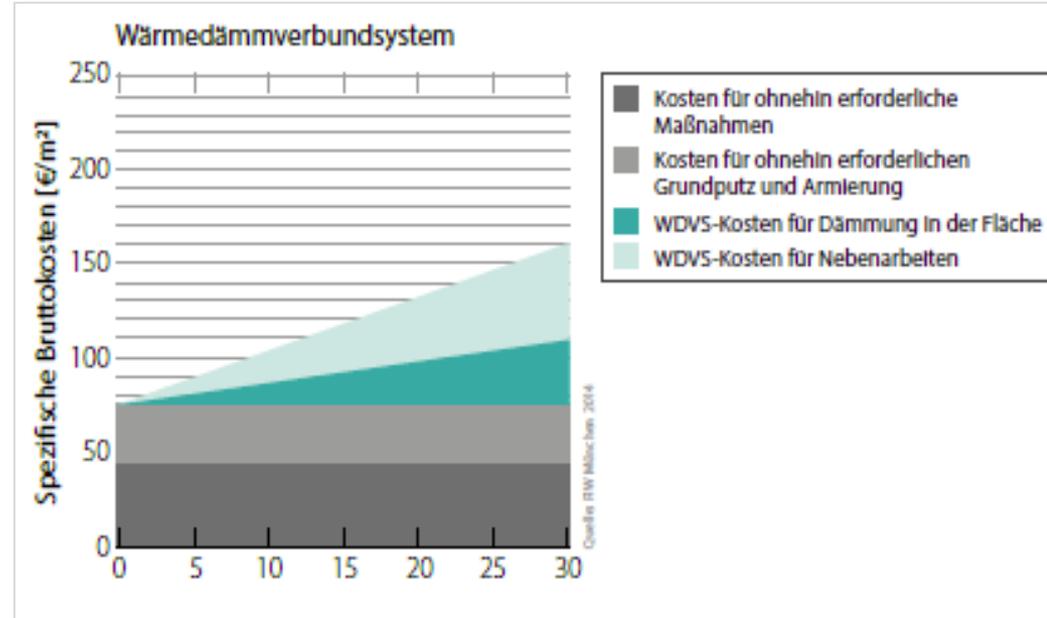
Herstellerenergie versus Heizenergieeinsparung





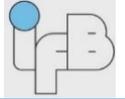
## Wirtschaftlichkeit Wärmedämmverbundsystem

- Baupreise einer nachträglichen Dämmung der Außenwand mit WDVS,  $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 
  - WDVS mit EPS:  
90 – 150 €/m<sup>2</sup>
  - WDVS mit MF:  
100 – 160 €/m<sup>2</sup>



Quelle: FIW, Wirtschaftlichkeit von wärmedämmenden Maßnahmen, April 2015

Investitionskosten	Amortisationszeit (Mittelwert) der energiebedingten Mehrkosten
90 €/m <sup>2</sup>	4,8 a
120 €/m <sup>2</sup>	6,1 a
150 €/m <sup>2</sup>	7,4 a



# Wärmedämmung

## Ökologie und Ökonomie

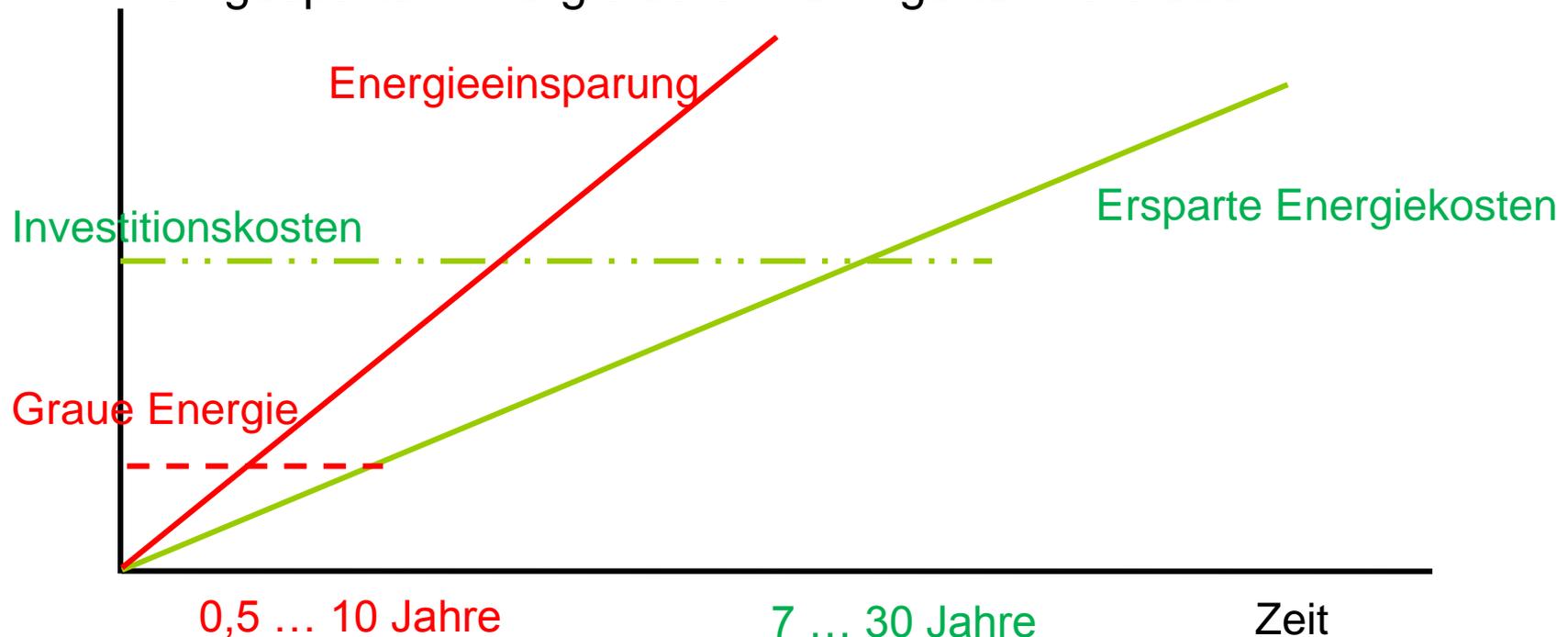
Energieeinsparung wirtschaftlich und energetisch

- **Wirtschaftliche Amortisation**

Betrachtung der Investitionskosten und der Betriebskosten

- **energetische Amortisation**

Betrachtung der grauen Energie und der eingesparten Energie durch verringerten Verbrauch



# Raumlüftung

- Vermeidung von Feuchteschäden

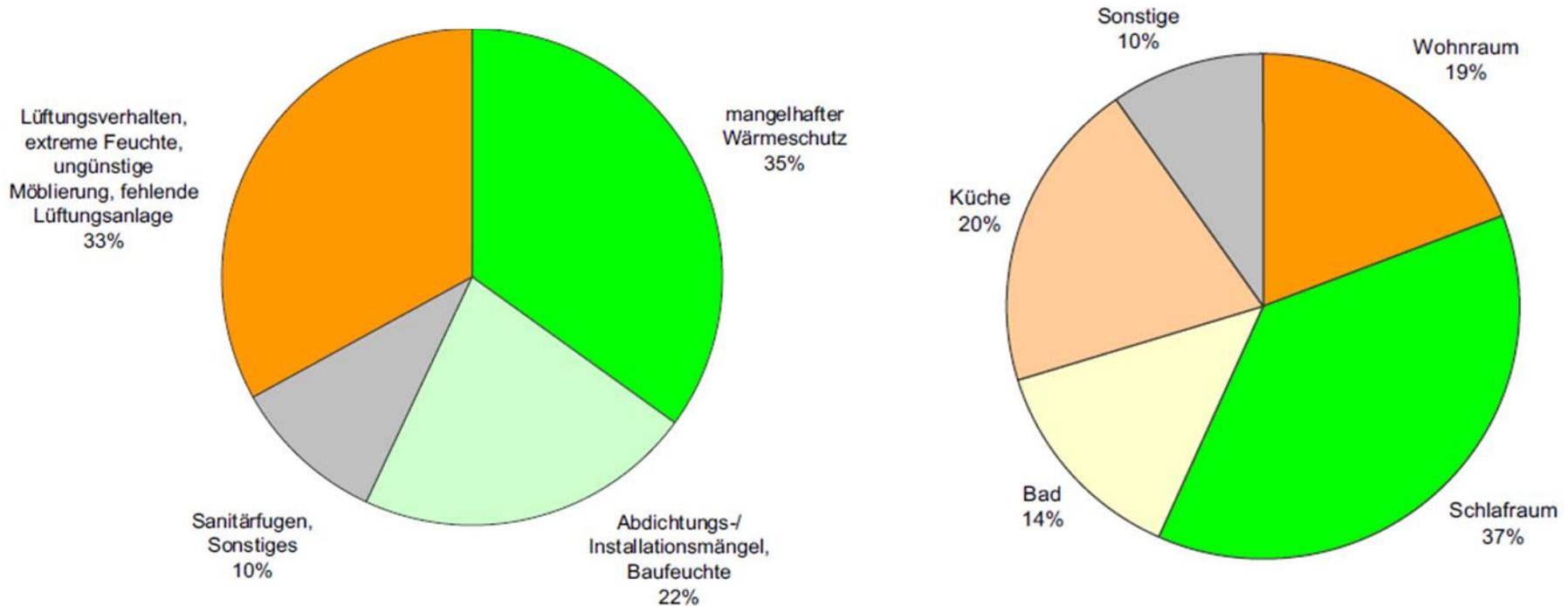
---



## Schimmelpilzwachstum durch mangelhafte Lüftung und Heizung

Ergebnisse eines Forschungsberichtes (Juli 2007):

- 33 % der Schimmelpilzschäden sind auf das Lüftungsverhalten, extreme Feuchte, ungünstige Möblierung und fehlende Lüftungsanlagen zurückzuführen.
- 37 % der Schimmelpilzschäden treten in Schlafräumen auf.



Ursachen der Schimmelpilzbildung bei hochwärmedämmten Gebäuden und betroffene Räume

Quelle: Forschungsbericht AIBau

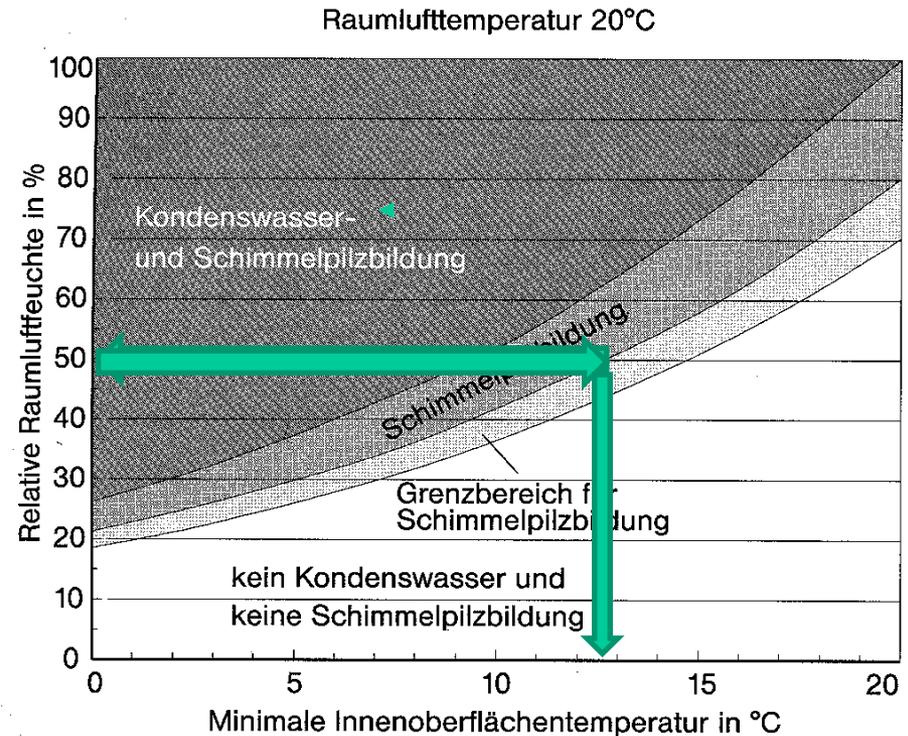
# Auswirkung einer mangelhaften Wärmedämmung



## Schimmelpilzbildung

In der Luft vorhandener Staub sammelt sich an feuchten Stellen Staub mit Tapetenklebern, Emulsions- und Dispersionsanstrichen bilden Nährboden für Sporen der Schimmelpilze

Aufgrund der Kapillarkondensation bildet sich im bauüblichen Temperaturbereich bei einer rel. Feuchte von 80 % vor den Bauteiloberflächen Schimmelpilz.

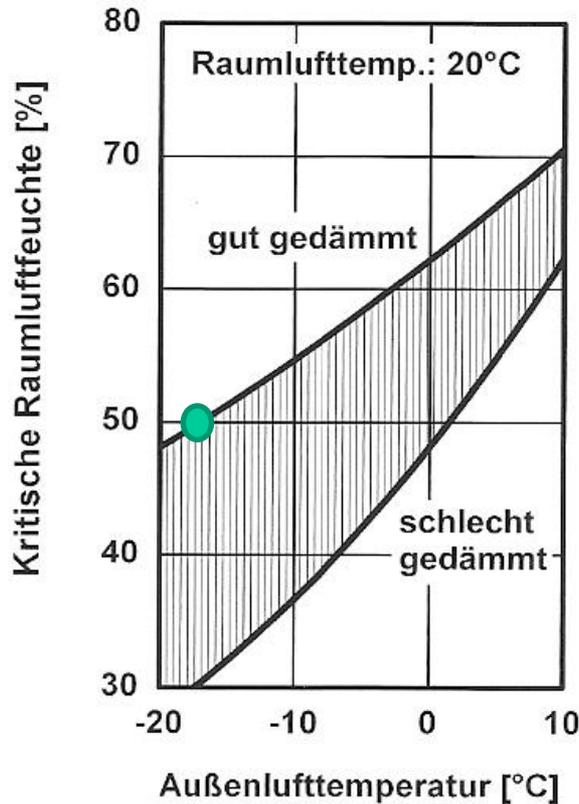


Raumlufttemperatur 20°C, rel. Luftfeuchte 50%: Taupunkttemperatur 9,3 °C  
Schimmelpilzkriterium bei 80% rel. Feuchte: Oberflächentemperatur 12,6 °C  
→ Temperaturfaktor

# Lüftung von Wohnungen

## Relative Luftfeuchte

Die kritische Luftfeuchte hängt vom Dämmstandard und den Außenklimabedingungen ab!

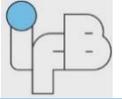


**Wärmedämmung hilft,  
um Feuchte- und Schimmelpilzschäden  
zu vermeiden**

Bei geringen  
Außentemperaturen gilt:

- Neubaustandard:  
Normklimabedingungen:  
20° C, rF: 50 %
- Altbau:  
rF: 30 – 40 %

# Raumlüftung, Feuchte und Schimmelpilzbildung



Indikator für zu hohe Luftfeuchtigkeit in Räumen, i.A. zu geringe Raumlüftung:  
Tauwasserbildung an Wärmeschutz-Isoliergläsern





## Luftdichtheit der Gebäudehülle - Mindestluftwechsel

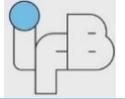
Mindestluftwechsel zur Gewährleistung hygienischer Bedingungen:

Sauerstoff

- Deckung des Sauerstoffbedarfes ca.  $1 - 3 \text{ m}^3/(\text{Stunde Person})$

Geruchsstoffe und  $\text{CO}_2$ -Konzentration

- physiologische erforderliche Frischluftmenge zur Begrenzung der Kohlendioxid-Konzentration und anderer gasförmiger Stoffwechselprodukte  $10 - 30 \text{ m}^3/(\text{Stunde Person})$
- Als Leitwert zur Festlegung der Luftwechselrate eignet sich der  $\text{CO}_2$ -Gehalt, weil er durch die Nutzer verursacht und nicht veränderbar ist. Hygienischer Grenzwert von 1.500 ppm wird bei der Zufuhr von  $20 \text{ m}^3/(\text{Stunde Person})$  eingehalten.

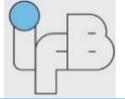


## Luftdichtheit der Gebäudehülle - Mindestluftwechsel

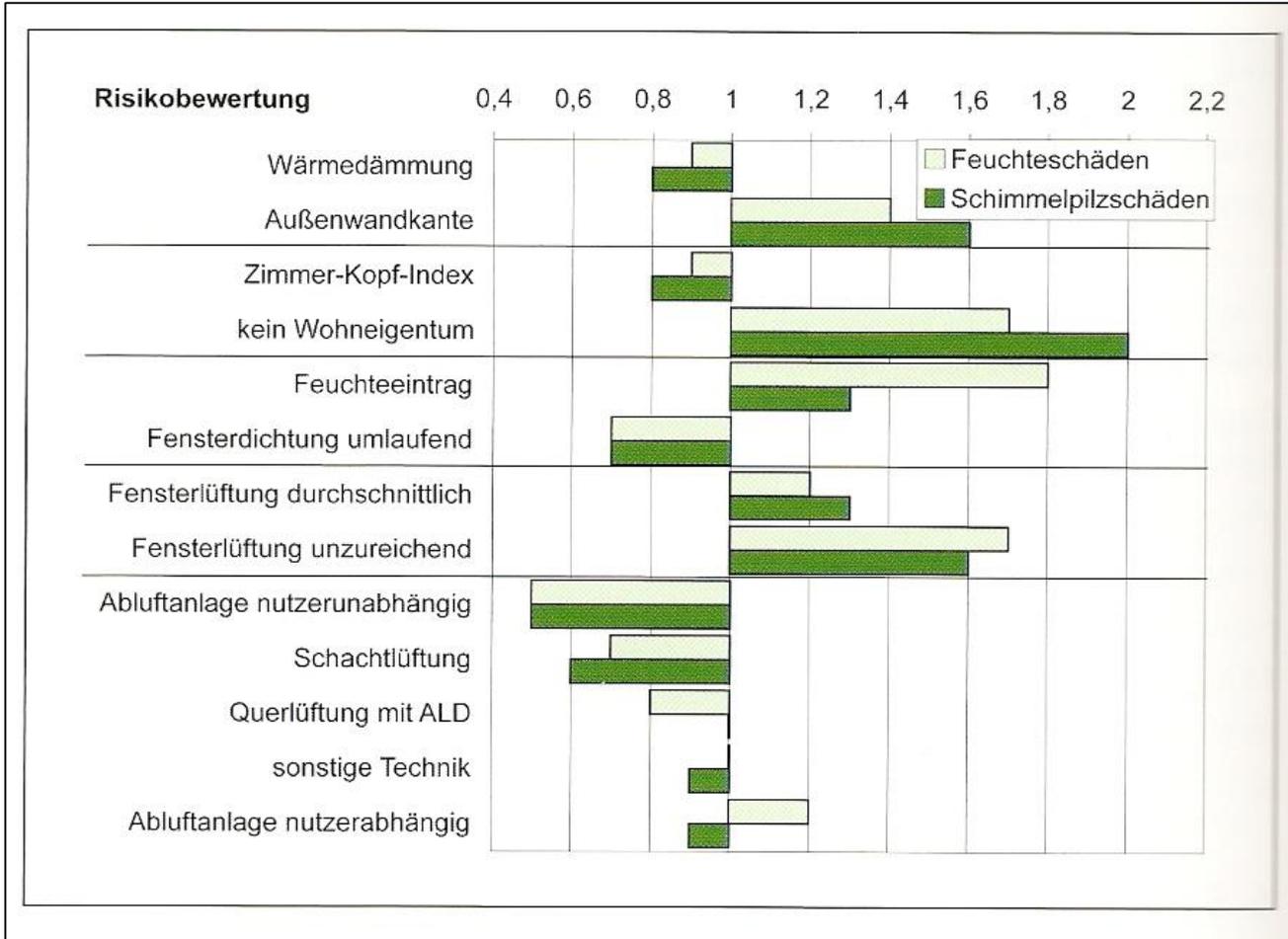
Mindestluftwechsel zur Gewährleistung hygienischer Bedingungen:

### Feuchtigkeit

- In einem 3 – 4- Personen-Haushalt verdunsten nach neuesten Erkenntnissen täglich 8 – 10 Liter Wasser.
- Ein gewisser Teil des verdunsteten Wassers kann in der Baukonstruktion gespeichert werden.
- Insgesamt muss so gelüftet werden, dass der entstehende Luftwechsel die gesamte Feuchte abtransportieren kann.
- Die Abfuhr der in den Räumen freigesetzten Feuchte ist von besonderer Bedeutung, da die Luftfeuchtigkeit vorzugsweise in der Heizperiode ansteigt und an kälteren Oberflächen zu Tauwasserbildung führen kann.
- Der erforderliche Luftaustausch ist von folgenden Faktoren abhängig:
  - Außenlufttemperatur, kritisch ist insbesondere die Übergangszeit
  - Feuchteproduktion



## Fensterlüftung – Risikopotential Schimmelbildung



Risikofaktoren für  
Feuchte- bzw.  
Schimmelpilzschäden:

Referenzfall

mit Risiko = 1

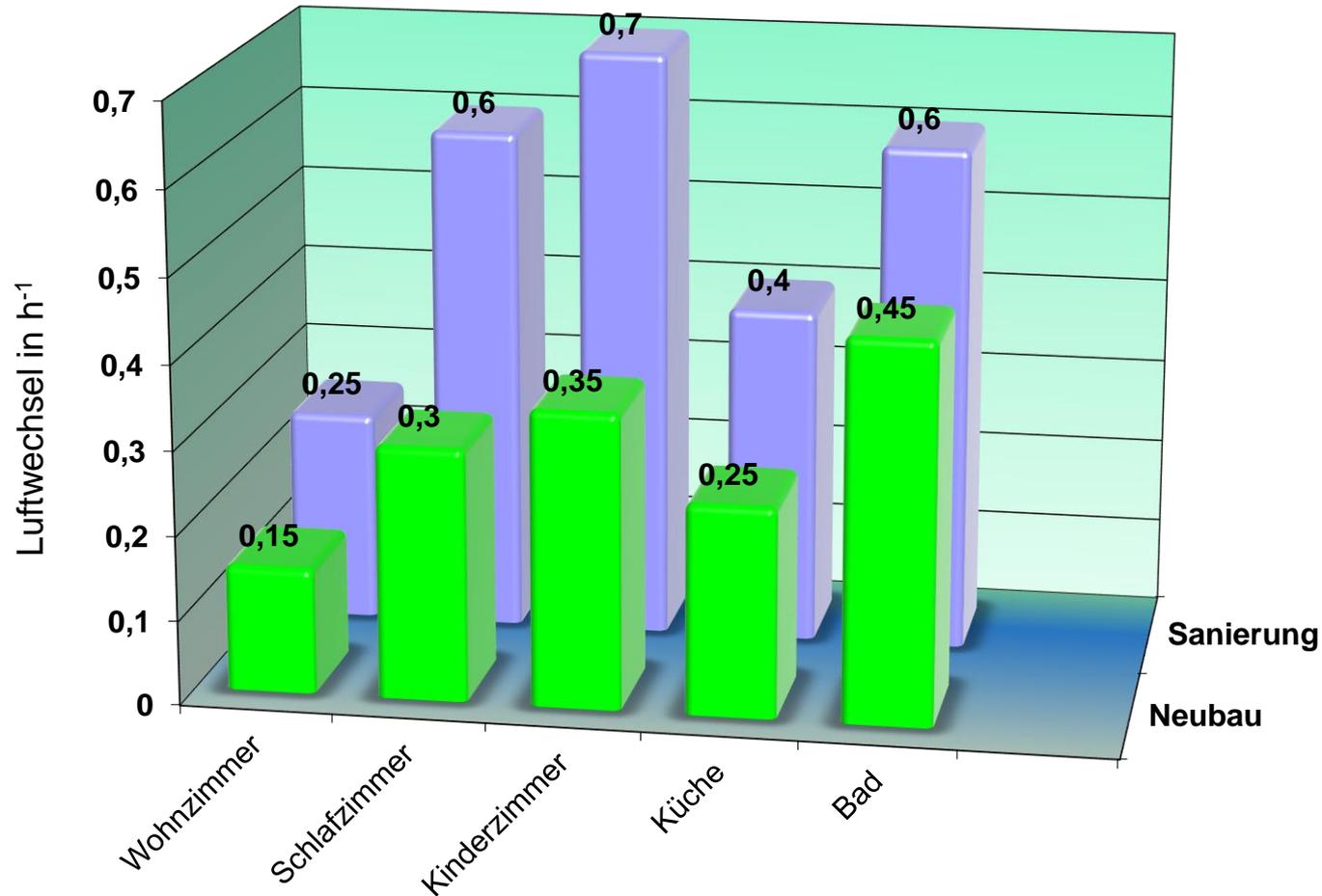
d.h. gute Fensterlüftung

Quelle: Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen von S. Brasche und W. Bischof, 2003

# Lüftung von Wohnungen

## Mindestluftwechsel $n$ [ $\text{h}^{-1}$ oder $1/\text{h}$ ]

Mindestluftwechsel in  $\text{h}^{-1}$  zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall unter Annahme von Standardbedingungen im Mehrfamilienhaus

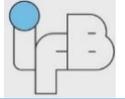


Empfehlung: Luftwechsel ca.  $n = 0,5 - 0,8 \text{ h}^{-1}$



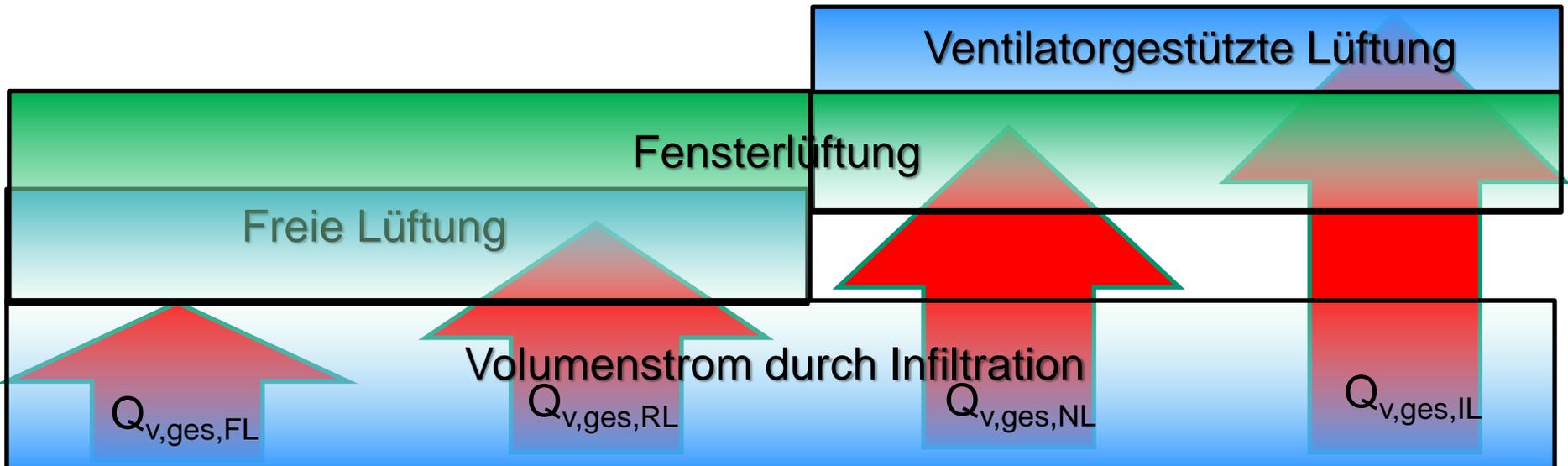
## Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen

- Lüftungskonzept für neu zu errichtende oder zu modernisierende Gebäude mit Lüftungstechnisch relevanten Änderungen
- Lüftungskonzept bei Modernisierung, wenn
  - im Mehrfamilienhaus, mehr als 1/3 der Fenster ausgetauscht werden
  - im Einfamilienhaus, mehr als 1/3 der Fenster ausgetauscht werden bzw. mehr als 1/3 der Dachfläche abgedichtet werden.
- Lüftungstechnische Maßnahmen sind dann erforderlich, wenn der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz, den Luftvolumenstrom durch Infiltration überschreitet
- Für die Lüftung stehen folgende Systeme zur Verfügung:
  - freie Lüftung: Querlüftung, Schachtlüftung.
  - ventilatorgestützte Lüftung: Abluftsysteme, Zu- und Abluftsysteme



## Allgemeine Anforderungen

- Norm gilt für die freie Lüftung und ventilatorgestützte Lüftung von Wohnungen
- Anzahl, Ausführung und Anordnung der Fenster, die Durchlässigkeit der Gebäudehülle und die Bemessung der Außenwand-Luftdurchlässe/Ventilatoren müssen eine ausreichende Wohnungslüftung ermöglichen.



Feuchteschutz/  
Bautenschutz  
ohne Nutzereinfluss

Reduzierte Lüftung  
hygienische  
Mindestanforderung

Nennlüftung  
Normalbetrieb

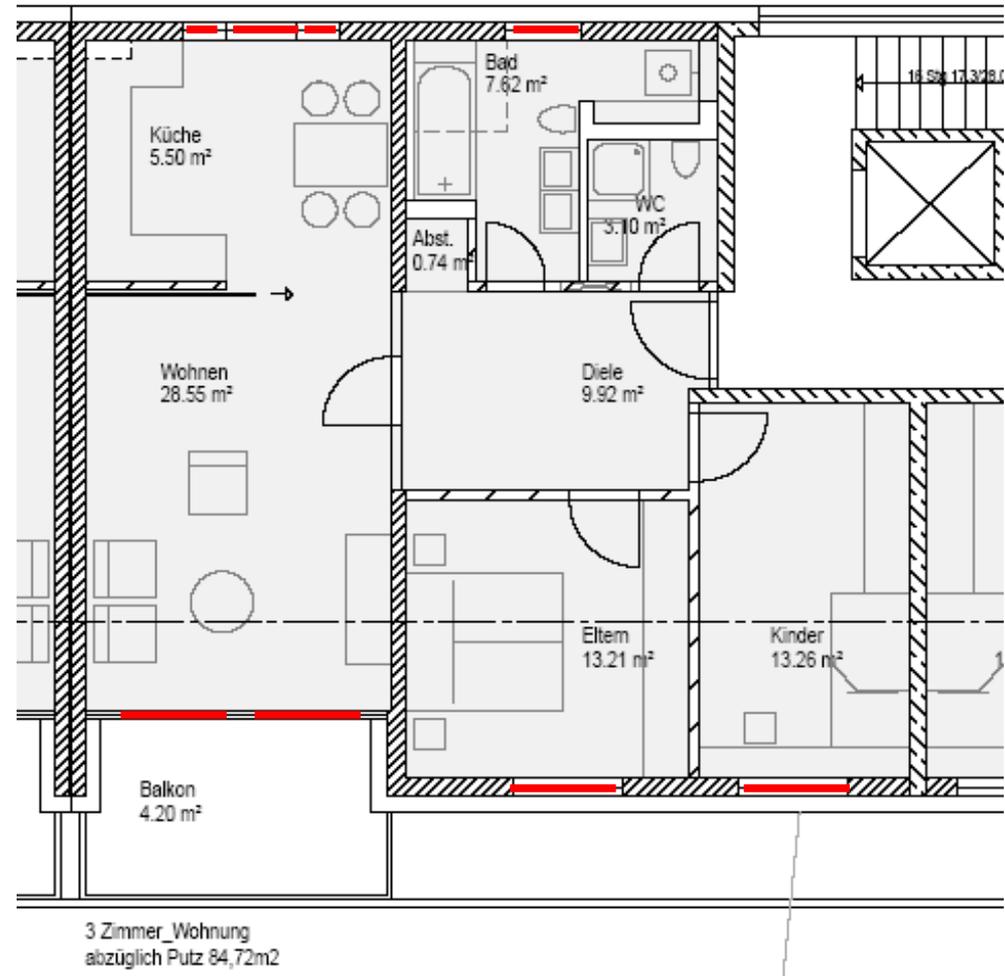
Intensivlüftung  
Abbau Lastspitzen

## Beispiel

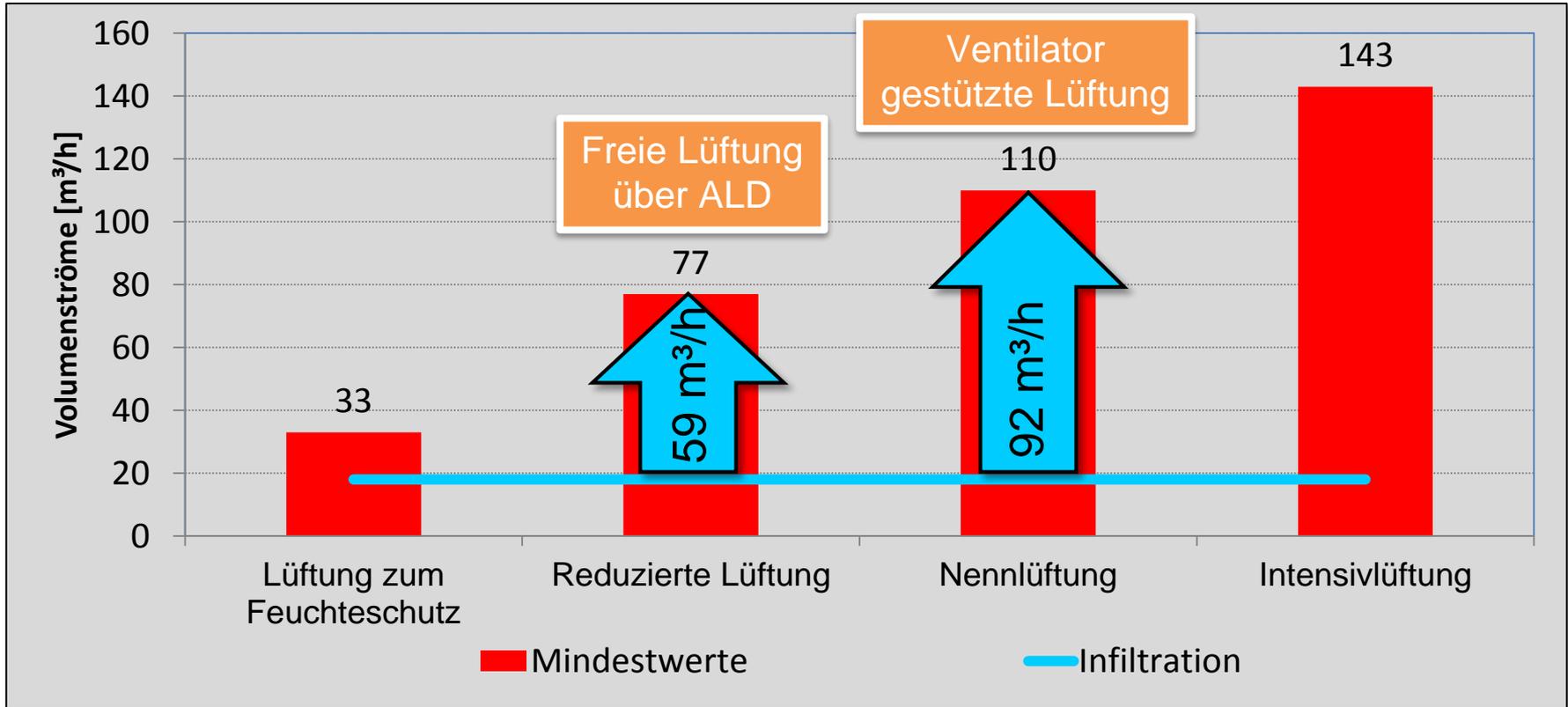
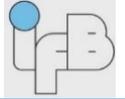
- 3- Zimmer Wohnung, Nürnberg
- Energetischer Standard: KfW 60
- Grundfläche: 85 m<sup>2</sup>
- Raumvolumen: 208 m<sup>3</sup>
- 8 öffentbare Fenster

## Randbedingungen:

- Wärmeschutz hoch (ab WSchV 95)
- Gebäudedichtheit  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
- windschwache Innenstadtlage
- Für das innenliegende WC ist eine Abluftanlage zwingend notwendig



# Berechnete Mindestwerte der Gesamt-Außenluftvolumenströme



- ➔ der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz überschreitet den Luftvolumenstrom durch Infiltration.
- ➔ Es sind Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich.



## Fazit

- Geschosswohnungen: der Volumenstrom durch Infiltration reicht i.A. nicht zur Deckung der Lüftung zum Feuchteschutz aus.
- Erfahrungsgemäß sind nahezu immer Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich.  
(Ausnahmen: Einfamilienhaus bzw. Gebäude mit starker Windanströmung).
- vom Einbau von Außenluftdurchlässen (ALD) zur Querlüftung wird wegen der unzulänglichen Regelung abgeraten.
- Bei Wohnungsgrößen bis ca. 80 m<sup>2</sup> und fensterlosen Räumen (Bad, WC) kann ohne wesentlichen Mehraufwand eine Abluftanlage mit ALD eingebaut werden.
- Bei der Altbausanierung sollte diese Maßnahme (ALD und Abluftanlage) grundsätzlich geprüft und möglichst ausgeführt werden.
- Hohe Energieeffizienz kann nur mit Zu- und Abluftanlagen mit WRG erreicht werden.

## Dämmstoff

Auswahl des Baustoffs nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten

## Konstruktionen – Fehler vermeiden

luftundurchlässige Gebäudehüllen  
fachgerechte Ausführung der Dämmung

## Gebäudewärmedämmung

Dämmung reduziert Energieverluste  
graue Energie berücksichtigen  
U-Werte unter  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mit heute üblichen Dämmstoffen nicht sinnvoll

## Raumlüftung

Raumlüftung nutzungsabhängig  
Vermeidung von Energieverlusten  
Vermeidung von Schimmelpilzwachstum

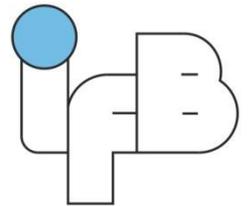


**Viel Erfolg  
bei Planungen und Ausführung energieeffizienter Gebäude**

**Mit qualifizierten Fachleuten planen und ausführen  
Ausführungsqualität prüfen**

WOLFGANG SORGE  
INGENIEURBÜRO  
FÜR BAUPHYSIK

Beratende Ingenieure VBI



beraten  
planen  
prüfen