

Technische Universität Wien Institut für Hochbau und Technologie

<http://iht.tuwien.ac.at/>

Zentrum für Baustoffforschung, Werkstofftechnik und Brandschutz

Zentrum für Bauphysik und Bauakustik

Zentrum für Allgemeine Mechanik und Baudynamik

Zentrum für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

O.Univ. Prof. DI Dr.Dr. Jürgen Dreyer

Ao.Univ. Prof. DI Dr. Thomas Bednar

Konstruktion und Bauphysik / Schlüsselthemen

- ▶ Gebäudeoptimierung - Gesamtenergieeffizienz
- ▶ Komfort
- ▶ Risikominimierung
- ▶ Dauerhafte Konstruktionen

Niedriger Wärmebedarf

Geringer Heizwärmebedarf

Geringer oder nicht vorhandener Kühlbedarf

Geringer Beleuchtungsenergiebedarf

Niedriger Verbrauch

Niedrige Heizlast, Kühllast

Feedback über den Verbrauch

bedarfsgerechte Steuerung/Regelung

Niedriger Wärmebedarf - Energiebilanz

Heizwärmebedarf

Transmissionswärmeverluste

Lüftungswärmeverluste

Solare Wärmegewinne

Innere Wärmegewinne

Beleuchtungsenergiebedarf

Tageslichtnutzung

Kühlbedarf

Solare Wärmegewinne

Innere Wärmegewinne

Transmissionswärmeverluste

Lüftungswärmeverluste

$HWB = \text{Verluste} - \text{Nutzungsgrad} * \text{Gewinne}$

$BeLEB = \text{Aufwand} - \text{Nutzungsgrad} * \text{Tageslicht}$

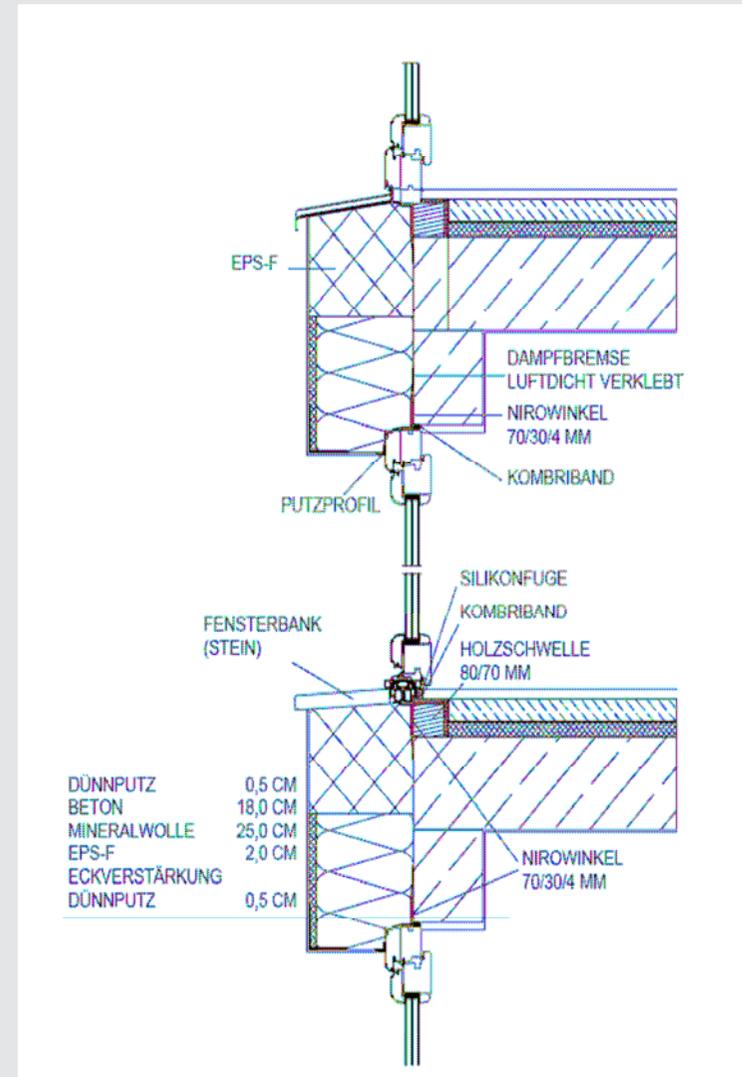
$KWB = \text{Gewinne} - \text{Nutzungsgrad} * \text{Verlust}$

Wahl des Fassadenaufbaus:

- Verringerung der Wärmeverluste
- Einhaltung der Schallschutzanforderungen
- Einhaltung der Brandschutzanforderungen
- Maximierung des Tageslichtangebotes
- Verringerung der sommerlichen Überwärmung

Wahl der Fenstergrößen:

- Maximierung des Tageslichtangebotes
- Einhaltung der Schallschutzanforderungen
- Verringerung der Wärmeverluste
- Erhöhung der winterlichen Wärmegewinne



Ziele ?

- ▶ Einhaltung der Bauvorschriften
- ▶ Einhaltung von Förderungsrichtlinien
- ▶ Niedrigenergiegebäude nach ÖNORM
- ▶ Niedrigstenergiegebäude nach ÖNORM
- ▶ Passivhaus
- ▶ ökologisches Passivhaus
- ▶

Ziele ?

Einhaltung

Einhaltung

Niedrigene

Niedrigste

Passivha

Modelle für den Energiebedarf

Annahmen

- ▶ Nutzung?
- ▶ Globale Verschattung?
- ▶ Rückwirkung der haustechnischen Anlagen?
- ▶ Außenklima?

Optimierung erfolgt in der Regel in Bezug auf Kennzahlen der Modelle

z.B: Ziel Passivhaus

Warum nicht mehr als 10 W/m² EBF?

$$\frac{\dot{Q}_{\text{ZU}}}{A} = c \cdot \rho \cdot \frac{\dot{V}}{A} \cdot \Delta T = c \cdot \rho \cdot h \cdot n \cdot \Delta T$$

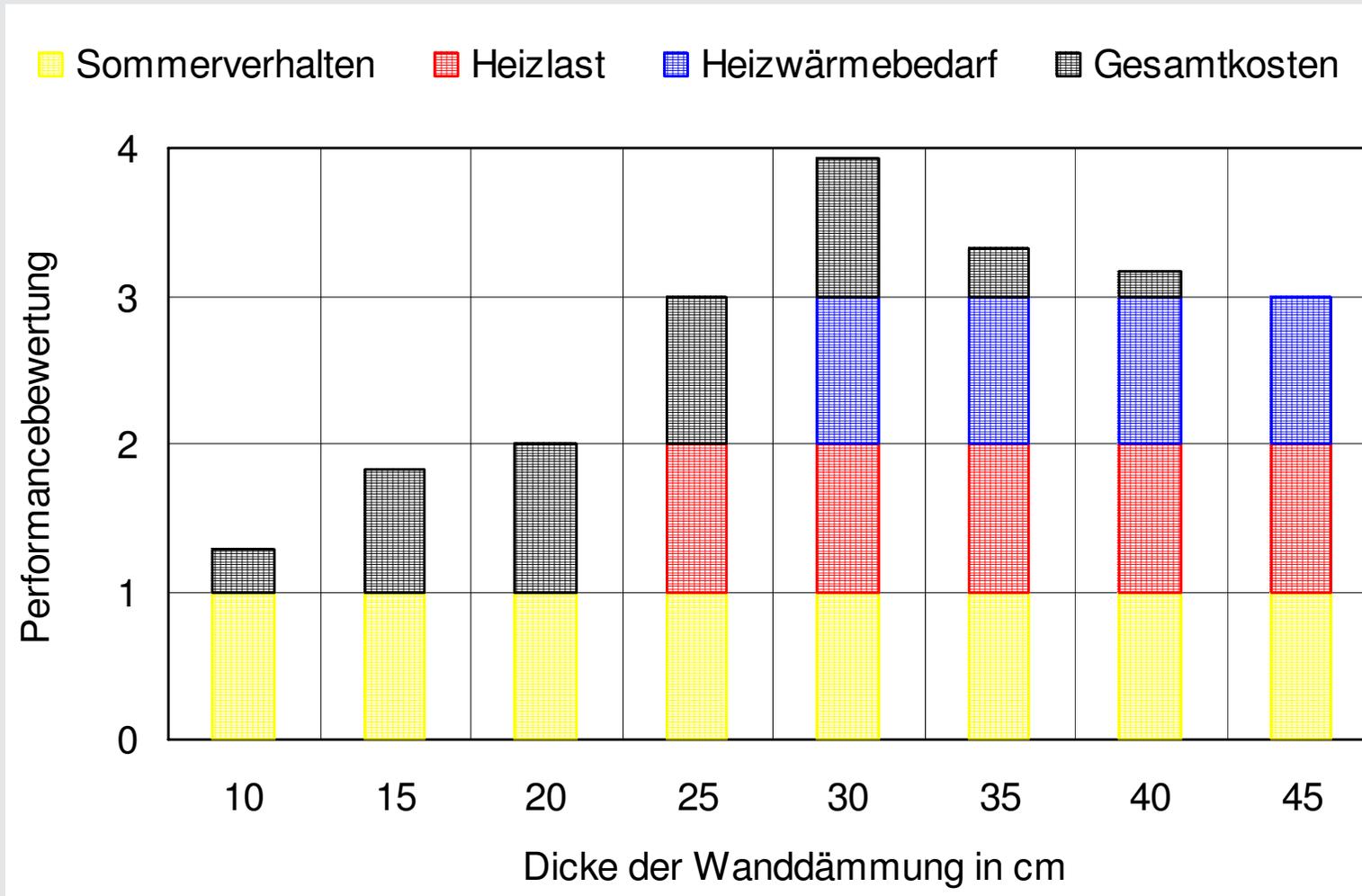
maximale Leistung in W/m²

h \ n	0.3	0.4	0.5
2.5	8	10	13
2.6	8	10	13
2.7	8	11	14

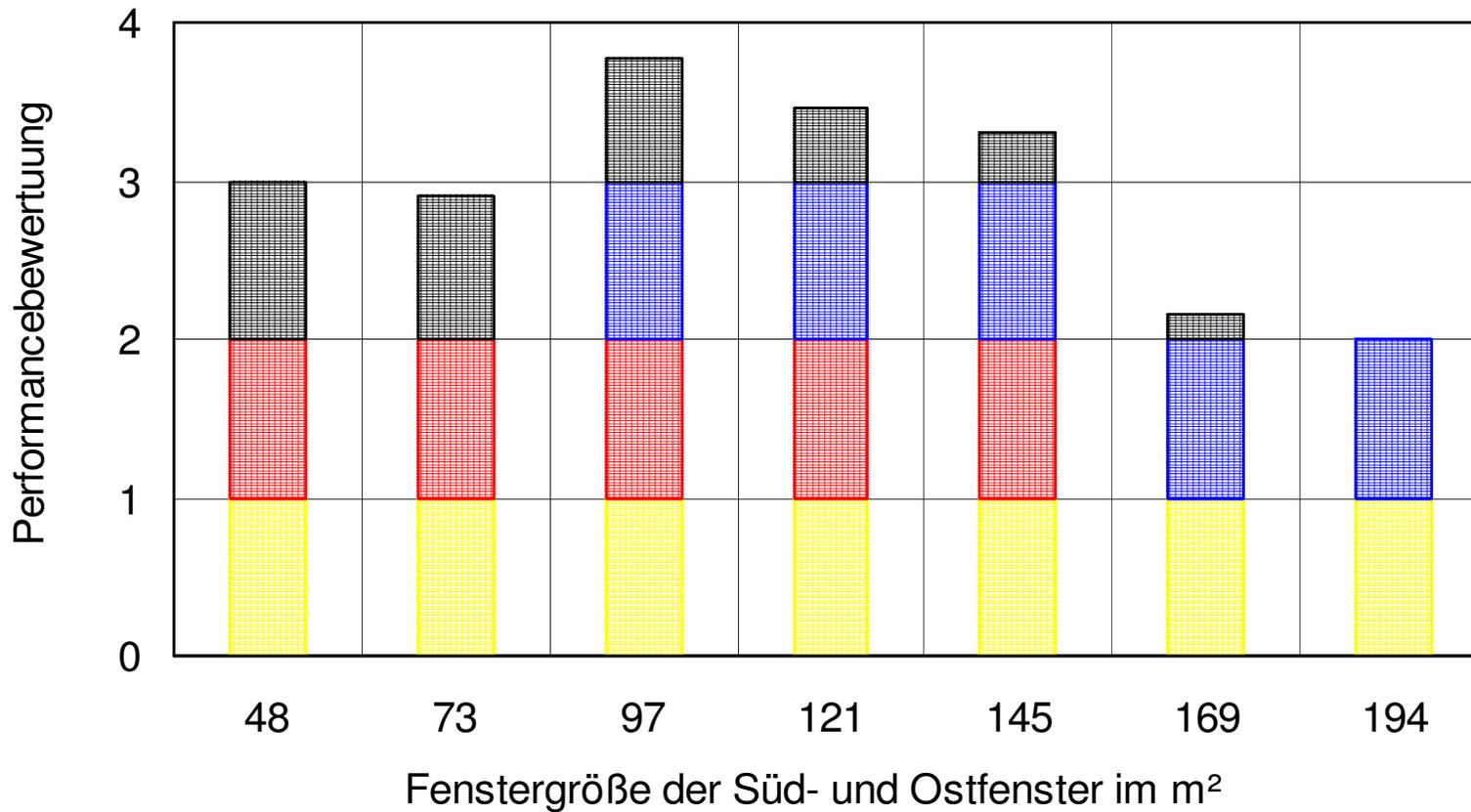


Schöberl, Bednar, Steininger, Kuzmich, Bauer, et.al. (2004) Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau





■ Sommerverhalten ■ Heizlast ■ Heizwärmebedarf ■ Gesamtkosten





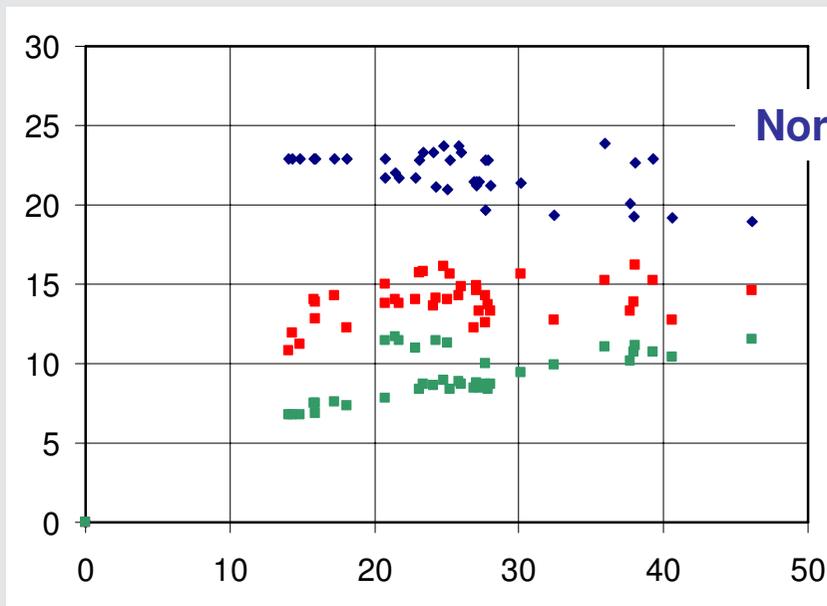
Heizlastberechnung ?

Berechnung des HWB?

	Heizlast W/m ² NGF	Heizwärmebedarf kWh/m ² NGF
realitätsnahe Berechnung	9.3	10.4
„Norm“	21	7



Heizlast in W/m^2NGF



Normberechnung

„Real“ 9.3 W/m^2NGF
10.4 kWh/m^2NGF

Norm 21 W/m^2NGF
7 kWh/m^2NGF

Nächste Nachbarn mitheizen

Alle heizen

Heizwärmebedarf in kWh/m^2NGF

themenwohnen musik

Entwicklung eines urbanen Stützpunktes für Musiker

U. Schneider, F. Oettl, B. Quiring, et.al.



Raumprogramm mit Wohnungen, Studenten wohnen, Gastwohnungen für ausländische Musiker, Übungsräumen, Ensembleproberaum, Veranstaltungssaal, Verwaltung

Luftfeuchteconditionierung in den Wohnungen (Passivhausstandard mit Lüftungsanlage) durch Verlagerung der Feuchtemengen über eine semipermeable Foliendecke im Bad und einen Wäschetrockenschrank in die Zuluft.

Pflanzenpufferraum zur Luftfeuchteconditionierung der Überäume mit speziellen Pflanzen zur Luftbefeuchtung.

neue akustisch wirksame Vorsatzschale aus Schafwolle, Schilf, Lehm, die die herkömmliche Gipskartonvorsatzschale ersetzt und mehr speicherfähige Masse hat.

Akustischer Komfort in Wohnräumen, Versuch einer Definition, Maßnahmenvorschläge, Vergleich von Komfortmessungen in Wohnräumen mit den Empfehlungen aus der ÖNORM.

themenwohnen musik

Entwicklung eines urbanen Stützpunktes für Musiker

U. Schneider, F. Oettl, B. Quiring, et.al.

Passivhausqualität

Straßenrakt : Passivhausqualität Wohnung Überräume ausgenommen Veranstaltungsbereich

Durchschnittliche U-Werte

Außenwände zu Aussenluft beträgt $0,20 \text{ W /m}^2\text{K}^\circ$

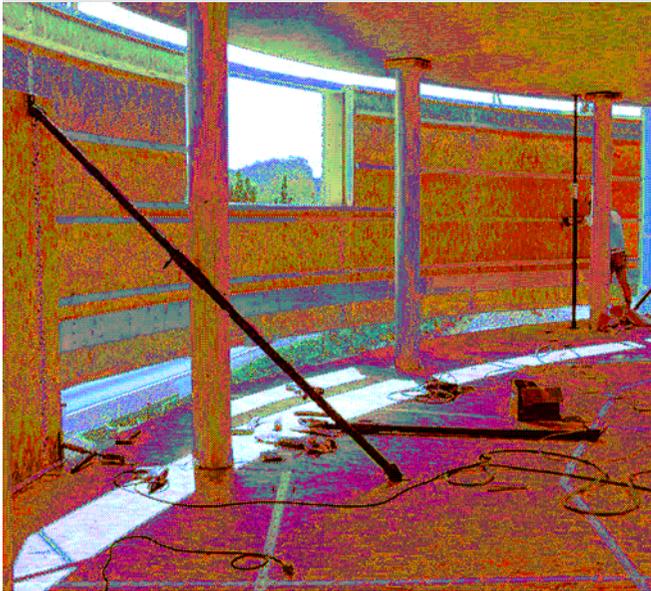
Dächer $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$

Feuermauern gegen Nachbar $0,31 \text{ W /m}^2\text{K}^\circ$ auf

Hofrakt : Niedrigenergiehausqualität aufgrund des gegliederte Baukörper

Passivhausqualität kann je nach Wahl der Fensterqualität erreicht werden.

Materialien : Schallschutzsteine, 18 cm Vollwärmeschutz, mineralischer Dünnputz, Stahlbeton, Innenwände nicht tragend: GK aus raumakustischen Gründen, Klebeparkett, Estrich , Steinwolle Trittschalldämmung, Beschüttung. Innenputz: Im Straßenrakt ist Lehmputz vorgesehen, im Gartenrakt Gipsputz, Vorsatzschale Schilf/ Lehm in den Überäumen, raumakustisches Absorbermaterial: Schafwolle



Christophorushaus

Franz X. Kumpfmüller

Arch. Di Albert Böhm

Arch. Mag. Ing. Helmut Frohnwieser

DI Cristian Obermayr

Cristian Fink

Thomas Mach

Doris Schlossgangl

EBP Bmstr. Ing. Eduard Preisack

MIVA, BBM, CHH



Energetischer Optimierungsprozess des Christophorus Hauses

Optimierung des Gebäudeverhaltens bei klimatischen Spitzenbelastungen mit Hilfe von Gebäudesimulation

- ▶ 20 thermische Zonen
- ▶ Extrem "Heizen,, (1996 war für den Standort das kühlfte Jahr der letzten Dekade)
- ▶ Extrem "Kühlen" (1994 war für den Standort das heißeste Jahr der letzten Dekade)
- ▶ Definition der Gebäudebelegung (Tages-, Wochen- und Monatsprofile)
- ▶ Definition der Luftwechselraten (Nichtraucherbüros - 30 m³/h und Person)
- ▶ Definition der Beleuchtungslasten- und Zeiträume
- ▶ Definition von EDV-Nutzungszeiten
- ▶ Definition von Verschattungsgraden
- ▶ Regelungskriterien für alle haustechnischen Systeme

Energetischer Optimierungsprozess des Christophorus Hauses

- ▶ Gezielte U-Wert Verbesserungen an opaken Bauteilen (Ausführungsvariante: U_{AW} und $U_{Dach} < 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- ▶ Vermeidung von Wärmebrücken
- ▶ Maßnahmen zur Reduktion des Fugenluftwechsels (Infiltration)
- ▶ Integration einer hochwertigen Wärmerückgewinnung in der mechanischen Lüftungsanlage (Wärmerückgewinnungsgrade zwischen 0,78 und 0,86)
- ▶ Berücksichtigung eines freien Nachtlüftungskonzeptes

Energetischer Optimierungsprozess des Christophorus Hauses

- ▶ Gezielte Reduktion des Glasflächenanteils der Atriumverglasung (Reduktion um etwa 50 %) sowie Änderung der Orientierung
 - ▶ Gezielter Einsatz von Sonnenschutzverglasungen vs. Wärmeschutzverglasungen (Bandbreite der g-Werte zwischen 0,3 und 0,6)
 - ▶ Gezielte Reduktion von Verglasungsanteilen (öffnenbar und fix verglast, Ausführungsvariante: $U_{W, eingebaut}$ [0,85 W/m²K])
 - ▶ Optimierte Beschattungsstrategien (Kombination aus Gebäudeanforderung und vorherrschender Einstrahlung)
 - ▶ Optimierte Beleuchtungsstrategien (Tageslichtnutzung über Oberlichten und energiesparende Beleuchtungskörper - Einbaudownlights; Konstantregelung der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz durch Lichtsensor)
-
- ▶ Aufgrund der Ausführung als Holzkonstruktion mussten gezielt nutzbare Speichermassen eingebracht werden (über Estriche, massive Innenwände und Stiegenhaus etwa 100 Tonnen)

Energetischer Optimierungsprozess des Christophorus Hauses

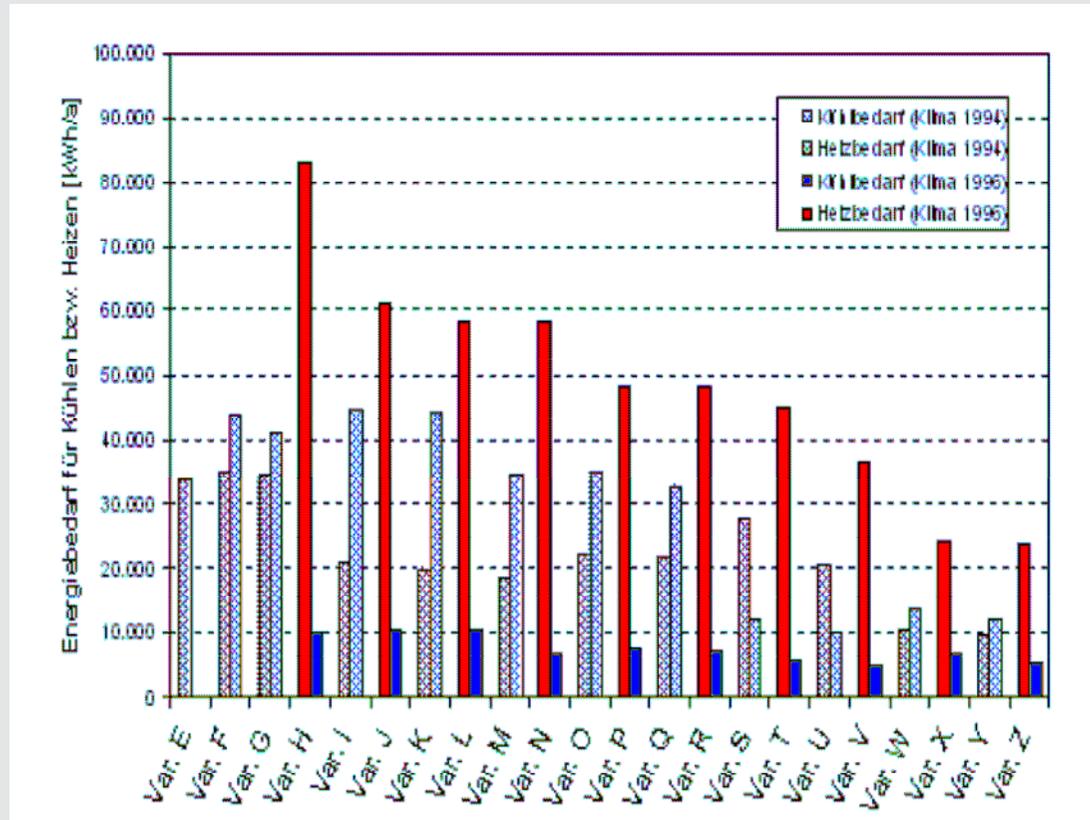
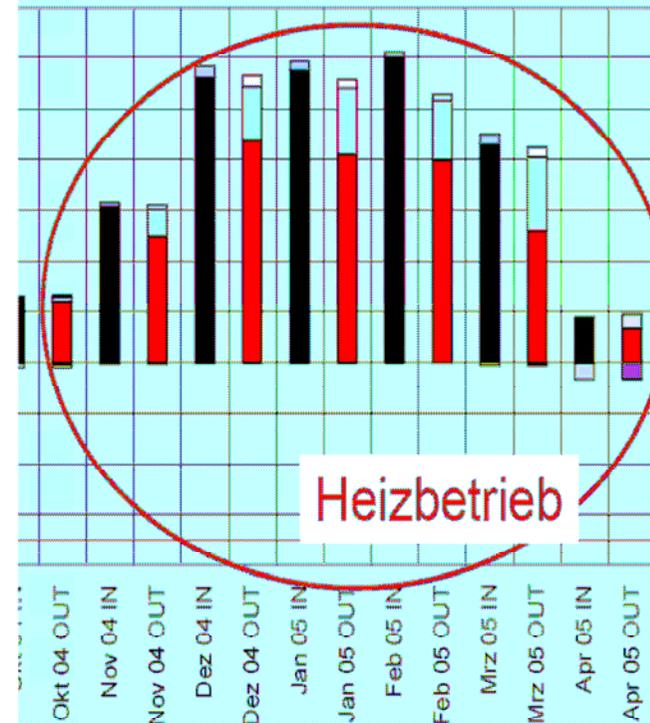


Abbildung 2: Jährliche Heiz- und Kühlenergieverbräuche - Darstellung des Optimierungsprozesses
(Varianten E und F basieren auf dem Klimadatensatz 1994 - Extrem "Heizen", ab Variante G jeweils Klimadatensatz 1994 und Klimadatensatz 1996 abwechselnd)

Heizbetrieb

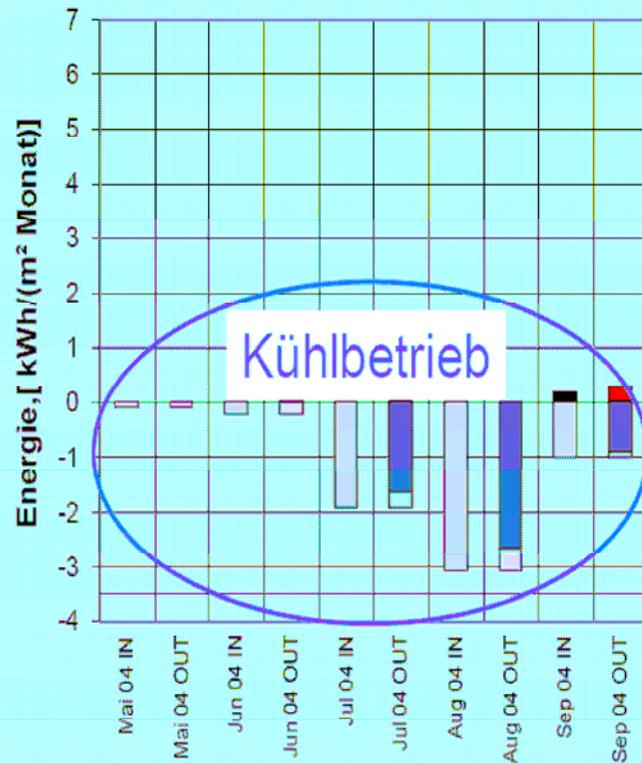
Heizenergiebedarf
 $20 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGF}} \text{ a}$

Max. Heizlast:
 $13 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$



- | | | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| ■ Q_Wärmepumpe_HZ | ■ Q_Verteiler2_HZ | □ Q_verteiler1_HZ | □ Q_lüftung_Büro_HZ |
| ■ Q_lüftung_Seminar_HZ | ■ Q_Wärmepumpe_Kühlung | ■ Q_Verteiler2_Kühlung | □ Q_lüftung_Büro_Kühlung |
| ■ Q_lüftung_Seminar_Kühlung | □ Q_Erdsonden_Kühlung | □ Q_Erdsonden_HZ | |

Kühlbetrieb

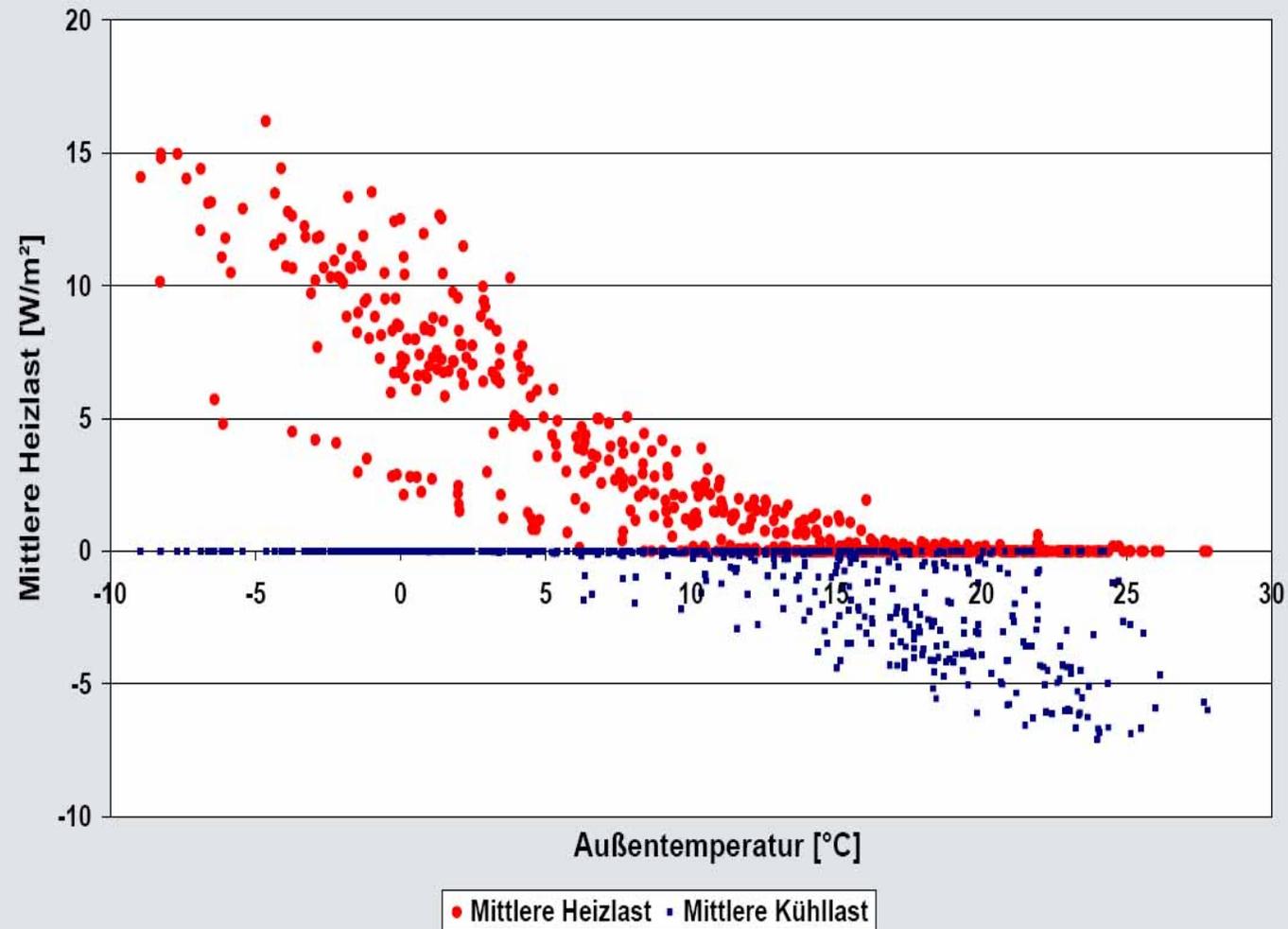


Kühlenergiebedarf
6,4 kWh/m²_{NGF} a

Max. Kühllast:
11 W/m²_{NGF}

- Q_Wärmepumpe_HZ
- Q_Verteiler2_HZ
- Q_verteiler1_HZ
- Q_lüftung_Büro_HZ
- Q_lüftung_Seminar_HZ
- Q_Wärmepumpe_Kühlung
- Q_Verteiler2_Kühlung
- Q_lüftung_Büro_Kühlung
- Q_lüftung_Seminar_Kühlung
- Q_Erdsonden_Kühlung

Heizlast



- ▶ Tageslicht und Solare Einstrahlung
- ▶ Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)
- ▶ Schallschutz - unhörbare/unauffällige Anlagen

► Tageslicht und Solare Einstrahlung

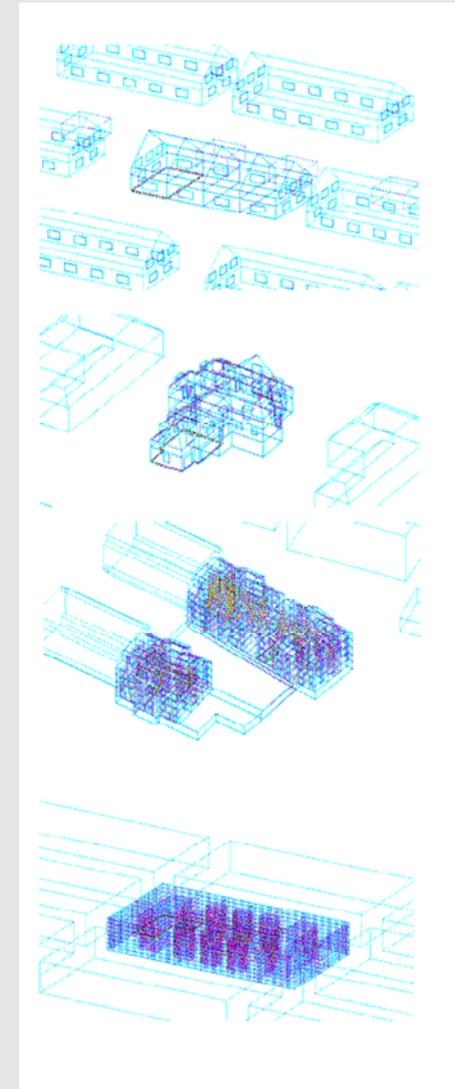
Städtebau - Solares Strahlungsangebot

Grünes Licht - Tageslicht im Wohnbau

Gesetzliche Grundlagen zum Thema Tageslicht im Wohnbau sind in Österreich schwach ausgebildet. Das Tageslicht soll trotz Passivhausstandard und auch in der Sanierung optimal sein.

► Tageslicht und Solare Einstrahlung

Städtebau - Solares Strahlungsangebot



- ▶ Tageslicht und Solare Einstrahlung

Grünes Licht - Tageslicht im Wohnbau

- ▶ 3-fach Verglasungen werden üblich, um die Lichteinbußen der verminderten Lichttransmission aufzufangen, müssten die derzeit geltenden Vorschriften um einen Faktor 1,5 erhöht werden

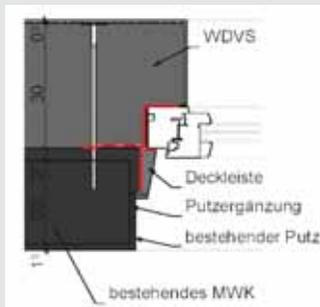
(T_L- Doppelverglasung 87% 2-fach Wärmeschutz 81% 3-fach Wärmeschutz 71%)

- ▶ Fensterprofile erreichen Rahmenanteile bis 50 %, das wird durch die geforderte Rohbaulichte nicht berücksichtigt. Gefordert werden sollte eine minimale Nettoglasfläche von 25% von der Nutzfläche des Raumes

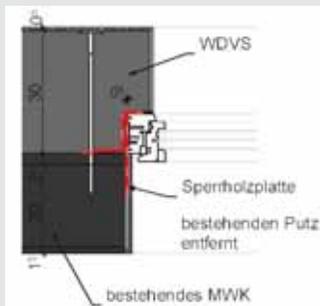
$$1\text{m}^2 \cdot 0.7 \cdot 0.87 = 0.61 \text{ m}^2$$

$$1\text{m}^2 \cdot 0.5 \cdot 0.71 = 0.35 \text{ m}^2$$

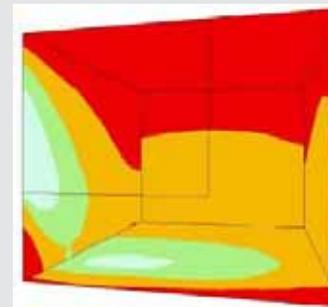
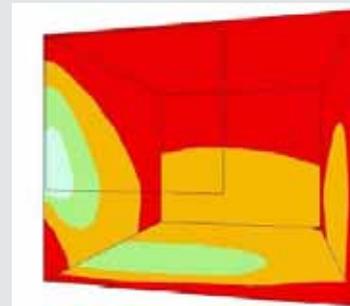
► Tageslicht und Solare Einstrahlung



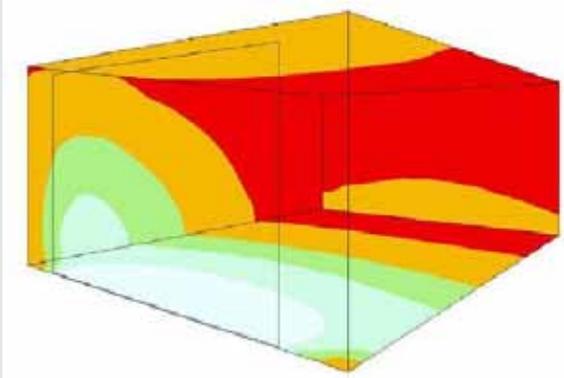
Breites Passivhausfenster,
Rahmenansichtsbreite 154mm
und Standardeinbau,
Glasfläche 1,95m²,
Reduktionsfaktor 70%



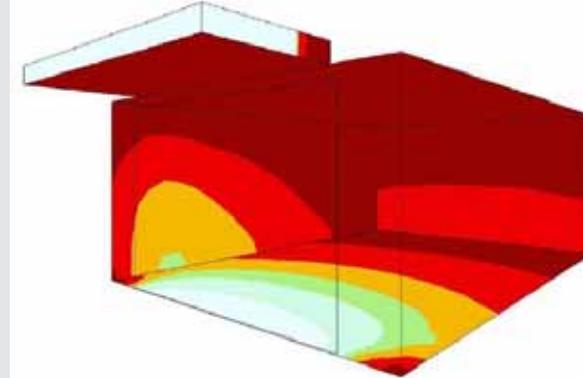
Schlankes Passivhausfenster,
Rahmenansichtsbreite 91mm
und optimierter Einbau,
Glasfläche 2,31m²,
Reduktionsfaktor 76%



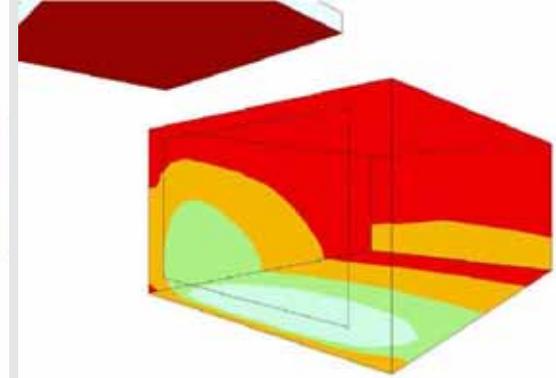
- ▶ Tageslicht und Solare Einstrahlung
- ▶ Balkone mit Nutztiefe 1,80 m höher setzen auf 40 cm über FOK.
Mit zweimaligem Höhersetzen sind noch Steigerungen der Nutztiefe möglich
seitliches Versetzen gegenüber dem dahinter liegenden Raum



Referenzraum ohne Balkon



Referenzraum mit Balkon



Referenzraum optimiert mit
höhergesetztem Balkon

► Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)

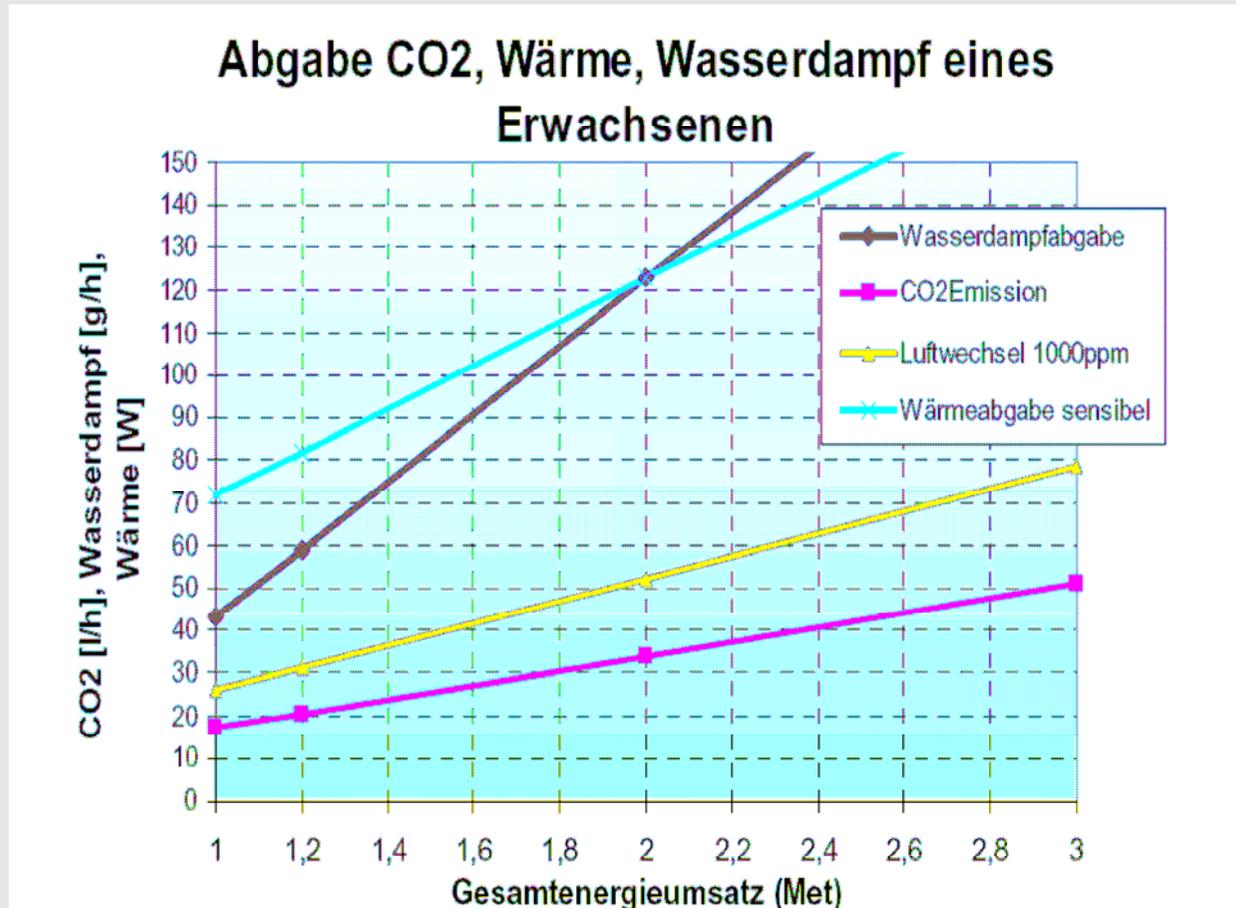
$$c_i = c_e + \frac{\dot{m}}{n \cdot V}$$

Minimale Feuchteproduktion: 2.5 kg/d 80m² Wohnung

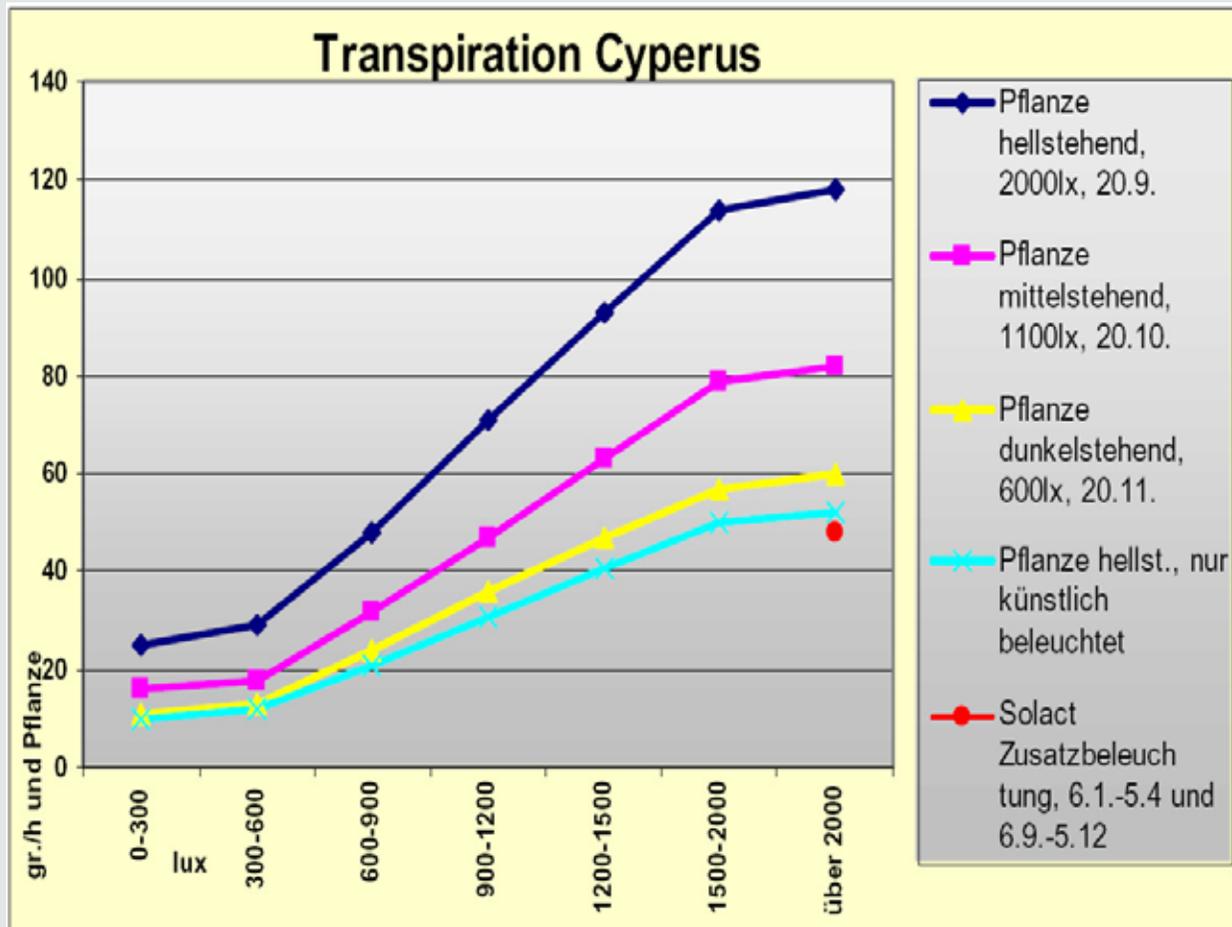
Monatsmittelwert der
Raumlufffeuchte in %

h \ n	0.3	0.4	0.5
2.5	27	25	24
2.6	27	25	23
2.7	27	24	23

- ▶ Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)

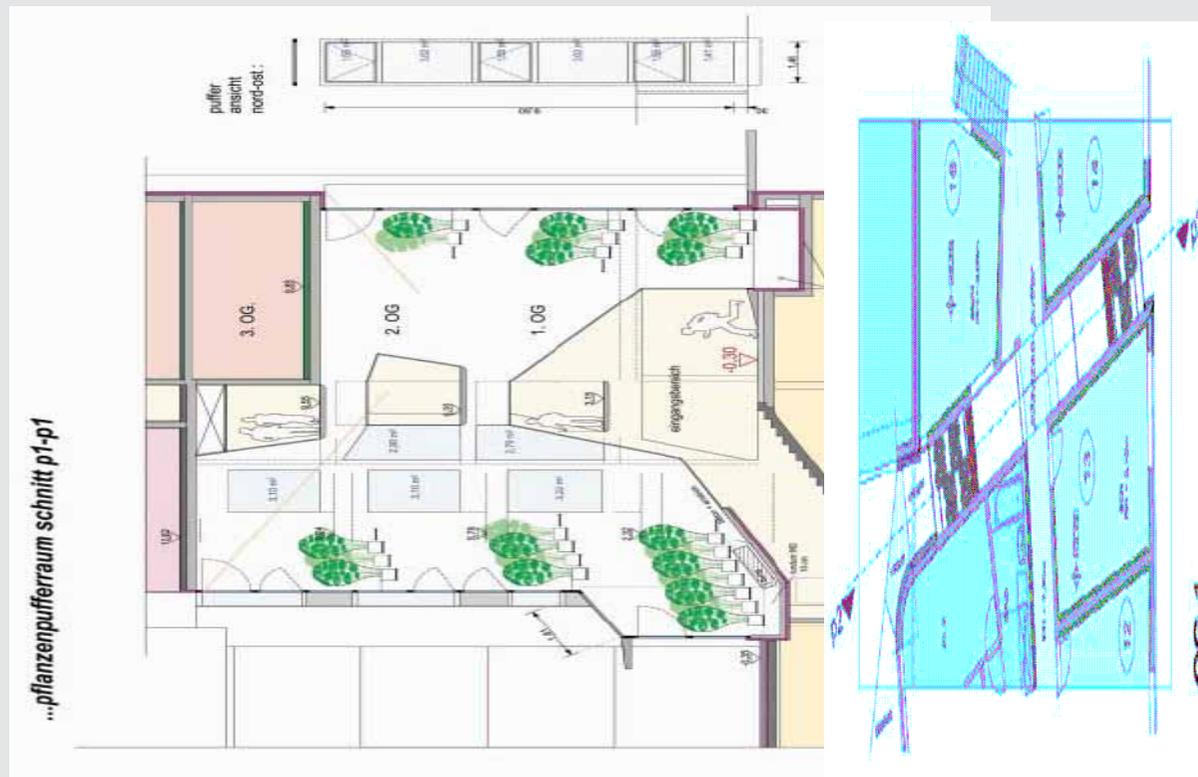


► Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)



- ▶ Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)

Pflanzenpufferraum, Lage und räumliche Disposition

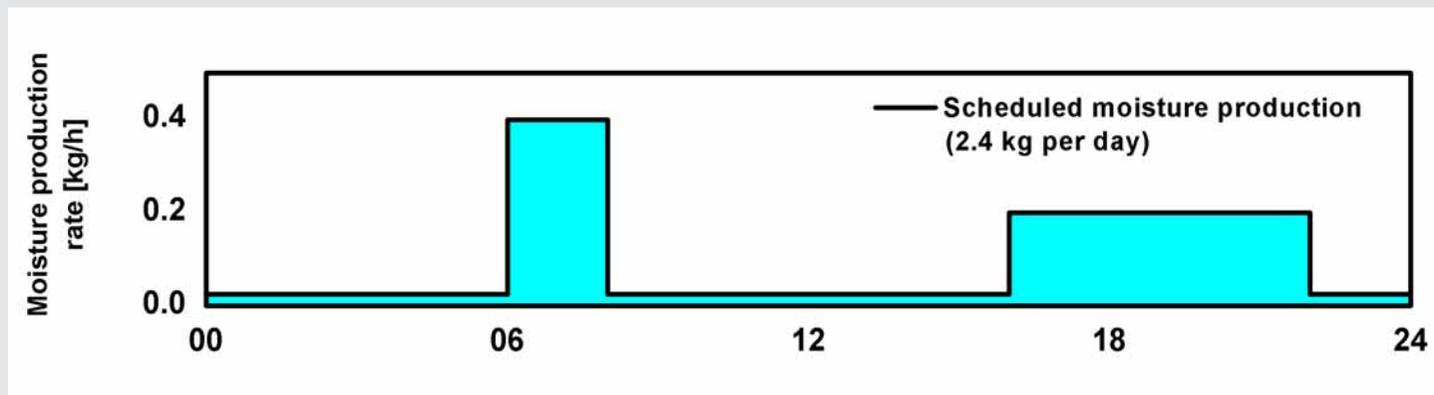
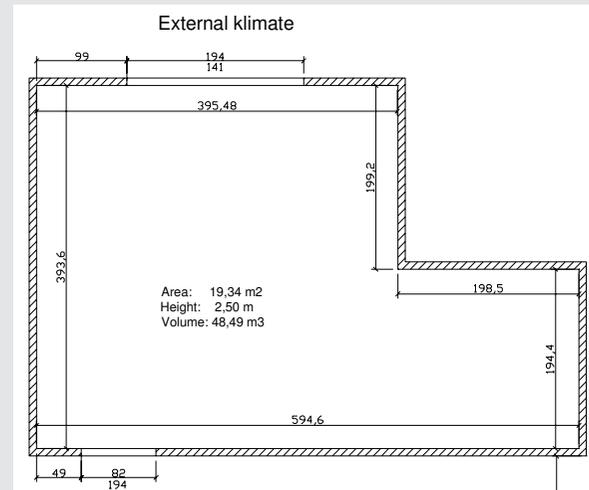


Der Pflanzenpufferraum ist jetzt als 9 – 12 m hoher und 1,7 m schmaler Schlitz quer durch das Gebäude konzipiert, er hat ca. 200 m³ und wird in der Mitte von den Erschließungsgängen wie von 2 verglasten Röhren durchstochen.

► Luftfeuchte (Feuchtepufferung, Feuchterückgewinnung)

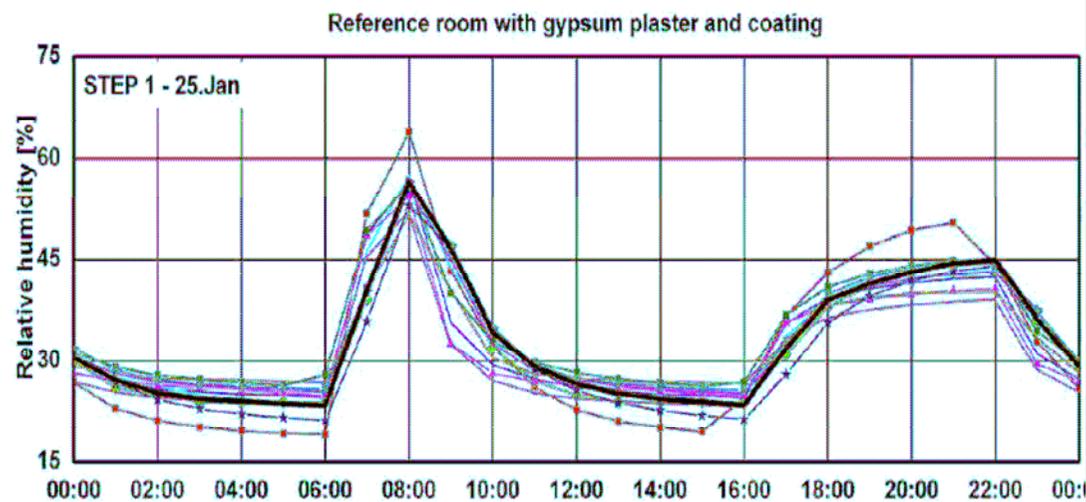
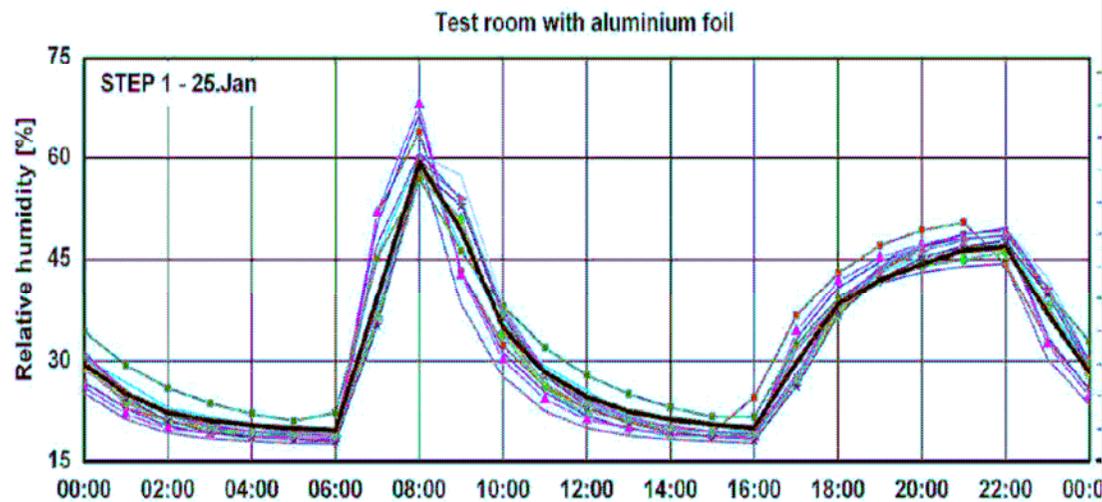
Jahresverteilung der Luftfeuchte in den Überäumen				Jahresverteilung der Luftfeuchte in den Überäumen										
RELATIVE LUFTFEUCHTE				RELATIVE LUFTFEUCHTE										
Ausführungsvariante (Zuluft Pufferraum mit Kunstlicht)				Variante 2 (Zuluft Pufferraum ohne Kunstlicht)										
tägl. Nutzungsdauer	nicht	3 h		tägl. Nutzungsdauer	nicht	3 h	4 h	5 h	7 h	10 h	10 h	12 h		
	Durchsch nitt	Raum19	Raum17		Durchsch nitt	Raum19	Raum17	Raum12	Raum20	Raum8	Raum2	Raum6	Raum1	
Min.	41.5	32.4	39.	Min.	35.9	27.5	33.3	35.6	35.3	37.0	35.4	34.6	3	
Max.	59.2	55.7	61.	Max.	63.0	60.4	62.8	61.1	63.2	60.7	67.6	64.5	6	
rF[%]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	rF[%]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	Std.[h]	
< 17.5	0	0		< 17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0		20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0		25	451	3	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	4		30	1754	1808	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	2040		35	1603	454	1657	1081	655	485	45	241	285	
40	175	2773	90	40	1073	890	1151	819	903	1099	1204	910	1033	
45	1884	2224	194	45	2354	1170	3107	1525	1671	1126	2014	950	1032	
50	2644	1645	218	50	1202	2492	753	2913	3497	2544	3057	572	1164	
55	4007	74	328	55	272	3629	227	2321	1942	3248	2371	2886	4477	
60	50	0	43	60	51	122	54	98	92	253	69	3108	749	
65	0	0		65	0	3	0	3	0	5	0	92	20	
70	0	0		70	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
75	0	0		75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	0	0		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	0	0		85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90	0	0		90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
> 92.5	0	0		> 92.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Kann man den Verlauf der relativen Luftfeuchte ausreichend genau berechnen?

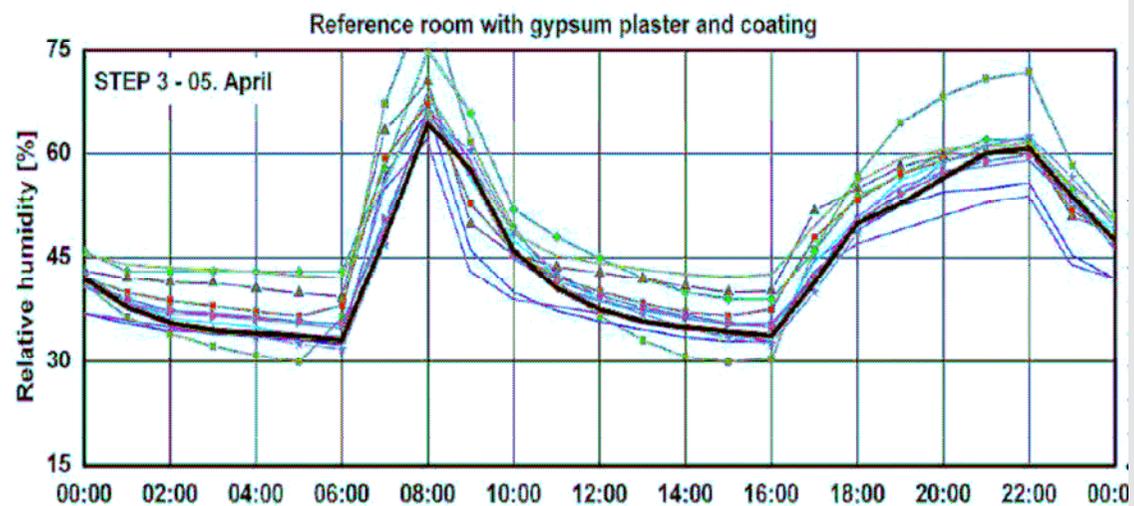
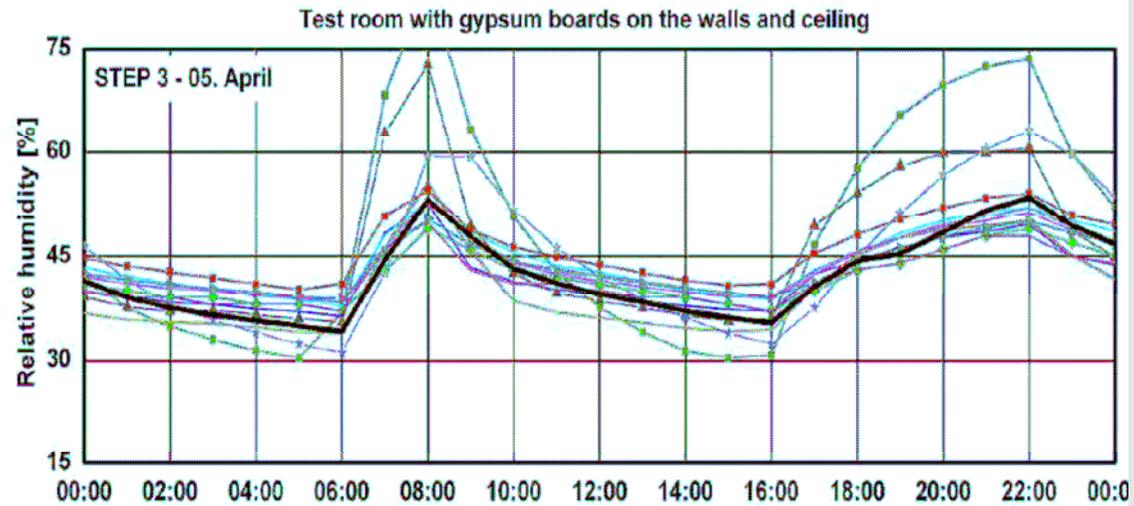


Common Exercise im Rahmen des
IEA Annex 41 „WHOLE BUILDING HEAT, AIR AND MOISTURE RESPONSE “

CE3 – Results Step 1 - RH



CE3 – Results Step 3 - RH

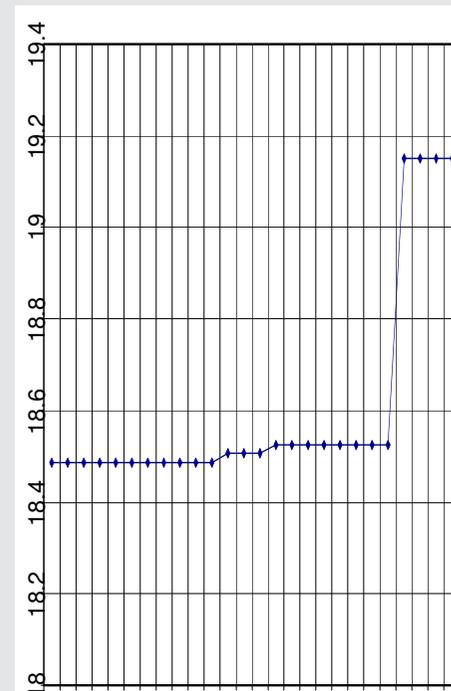


Konstruktion und Bauphysik / Komfort

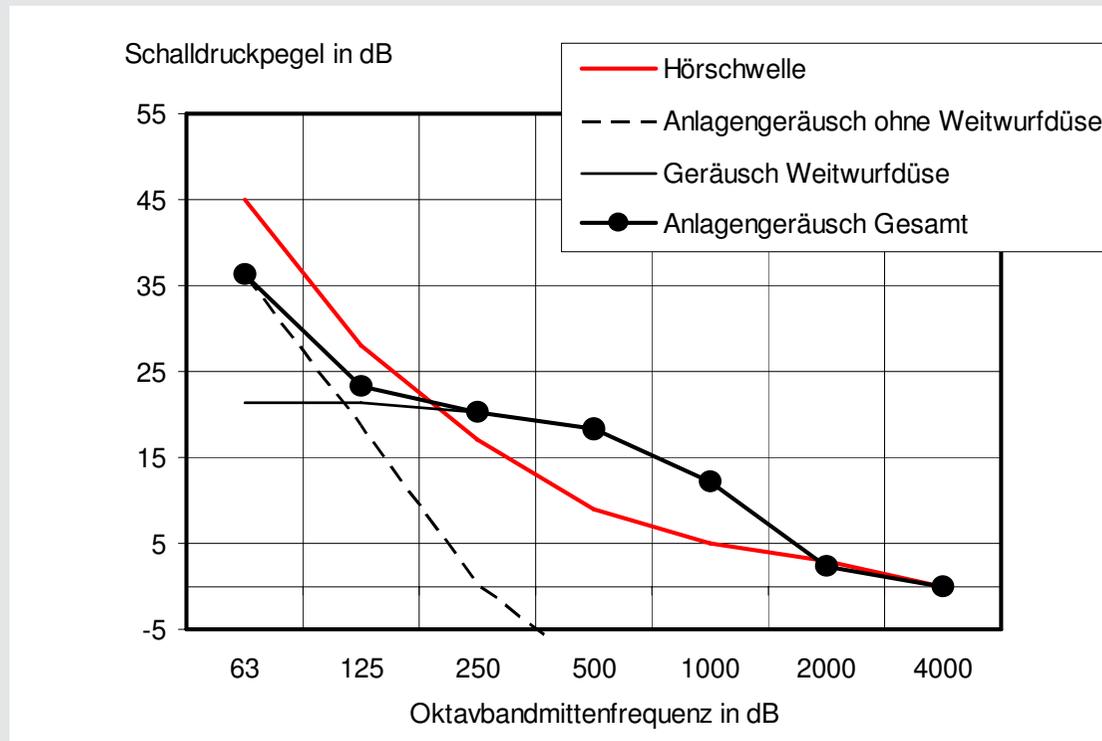
- ▶ Schallschutz
- ▶ unhörbare/unauffällige Anlagen

A-bewerteter Schalldruckpegel im Raum in dB

Wohnraum
Weitwurfdüse
Kanal 1
Schalldämpfer 1
Kanal 2
Umlenkung
Kanal 3
Verzweigung
Kanal 4
Schalldämpfer 2
Drückeschlechte
Nachheizregister
Ventilator
Kanal 5
Umlenkung
Brandschutzklappe
Abzweigung im EG
Kanal und Verzweigung EG
Kanal und Verzweigungen 1.OG
Kanal und Verzweigungen 2.OG
Kanal und Verzweigungen 3.OG
Kanal und Verzweigungen DG
Schalldämpfer 3
Ventilator
Wärmerückgewinnung
Frostschutzregister
Filter



► Schallschutz - unhörbare/unauffällige Anlagen



A-bewerteter Schalldruckpegel im Raum = 19 dB

- ▶ Standfestigkeit
- ▶ Brandverhalten von Baustoffen und Gebäuden
- ▶ Nutzungstoleranz

► Standfestigkeit

Mehrgeschossiger Holzbau

Setzungen

Erdbebenlasten

Fassadendübel

Dübellose Fassade

- ▶ Fassadendübel
- ▶ Dübellose Fassade



Fassadendübel – Schallschutz der Aussenfassade

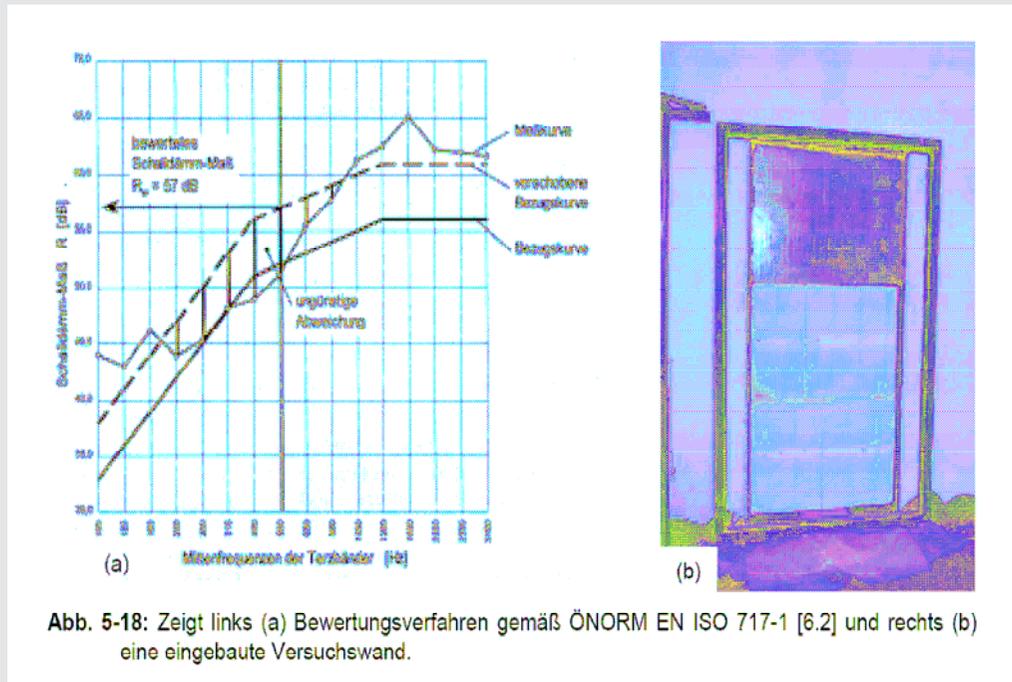
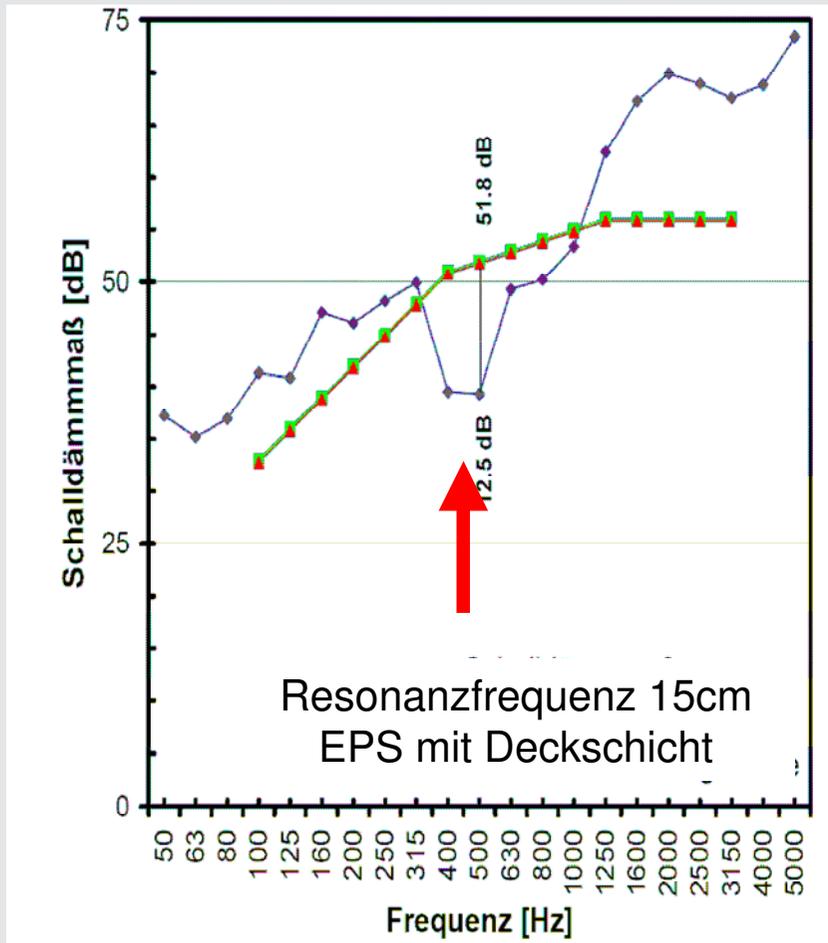


Tabelle 5-2: Schalltechnisch untersuchte Wandaufbauten.

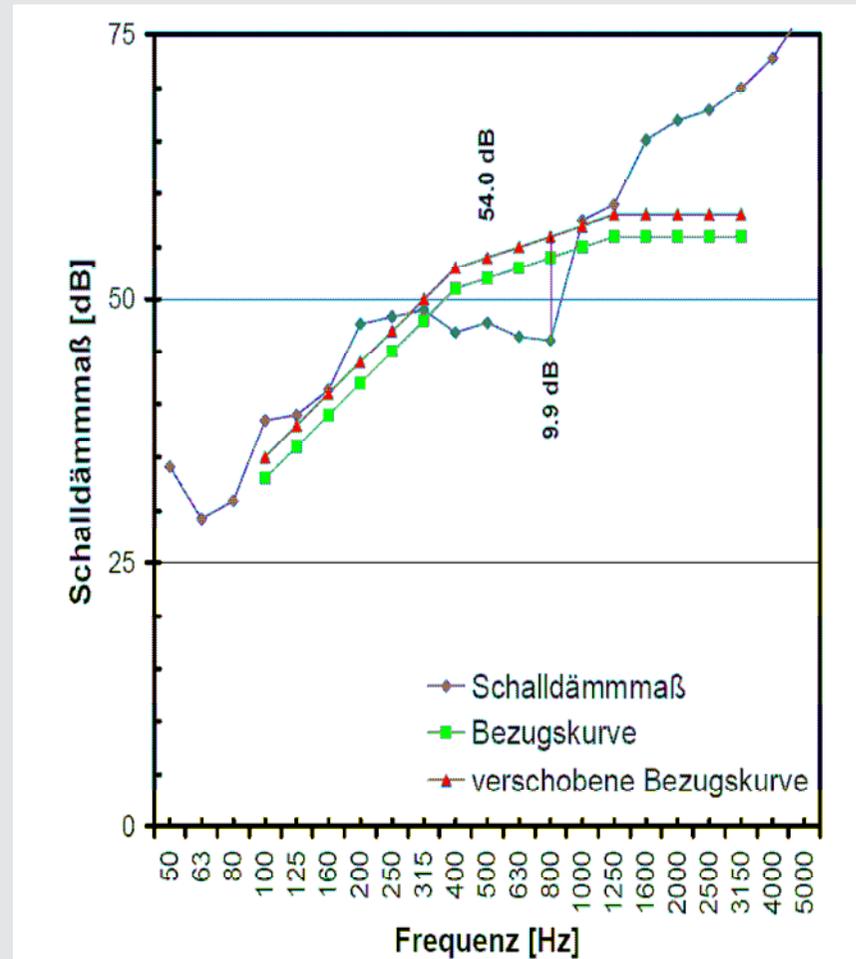
	Putzschicht	Wandschichten			Putzschicht
		1	2	3	
Variante1		15 cm EPS	14 cm Beton	7 cm Sonderziegel	
Variante2	Klebespachtel	15 cm EPS	14 cm Beton	7 cm Sonderziegel	MPI 25
Variante3		15 cm EPS	15 cm Beton	10 cm Ziegel	
Variante4	Klebespachtel	15 cm EPS	15 cm Beton	10 cm Ziegel	MPI 25

Tabelle 5-3: Überblick über die Ergebnisse der schalltechnisch untersuchten Wandaufbauten.

Variante	R _w [dB]	max. ung. Abw.	
		f [Hz]	R _w [dB]
1	53.9	400	8.5
2	51.8	500	12.5
3	54.7	1250	9.1
4	54.0	800	9.9



Variante 2



Variante 4

► Brandverhalten von Baustoffen und Gebäuden

Bauen mit Stroh

Fassadenbrand bei hohen Dämmstärken

Was ist eine Fassadenbrandprüfung?

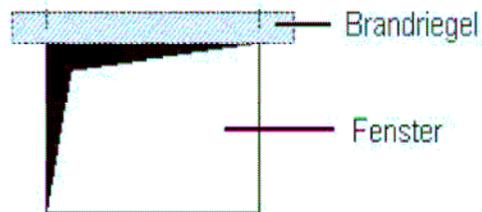


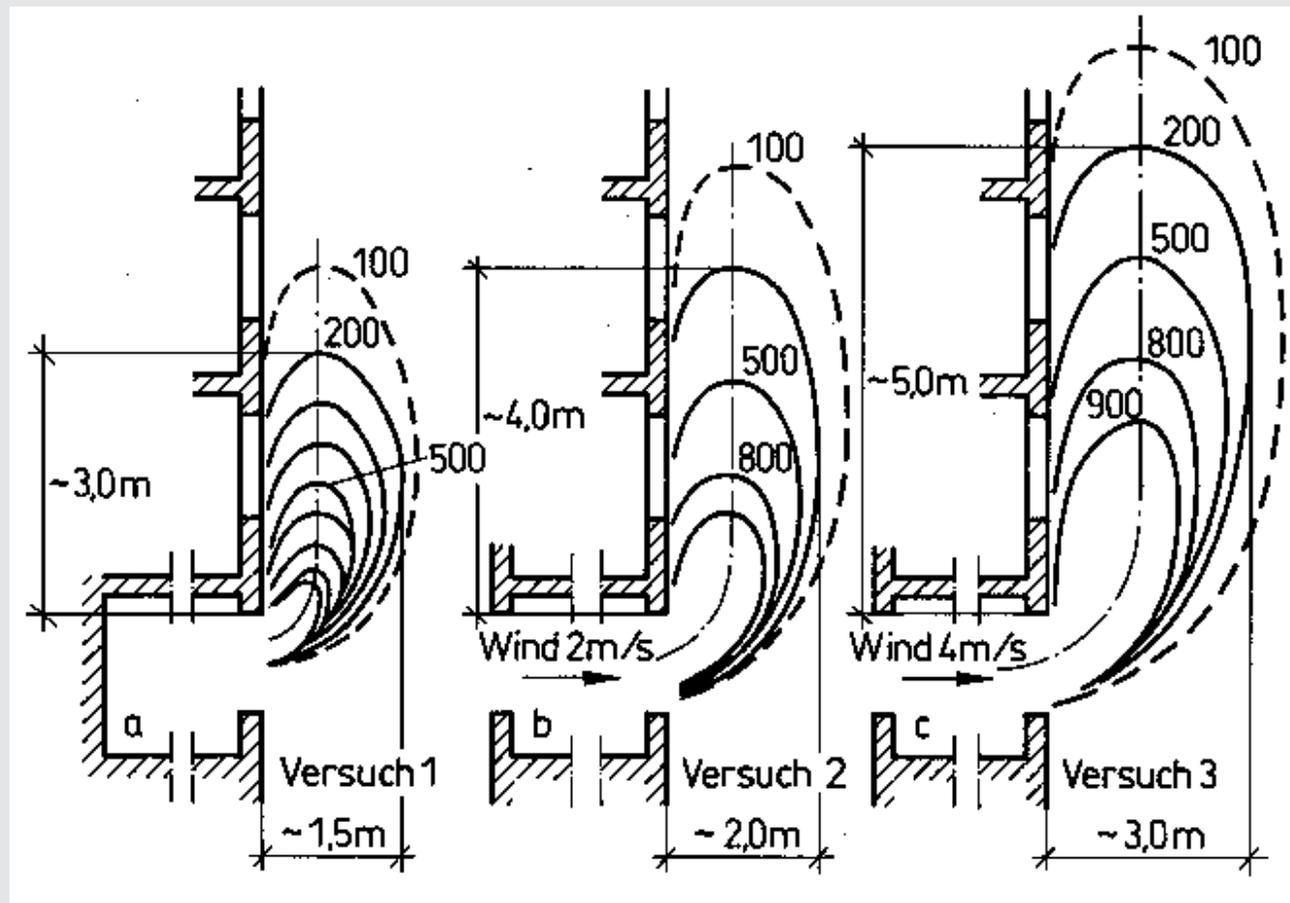
Abb. 28. Ansicht Fenster mit Brandriegel

Schutzziele:

- Vermeidung einer Brandweiterleitung
- Vermeidung eines Herabfallens wesentlicher Fassadenteile
- Vermeidung einer Gefährdung von Rettungsmannschaften

- **Nachweis** der **Vermeidung** einer
- **Brandweiterleitung**, eines **Herabfallens wesentlicher Fassadenteile** und einer **Gefährdung von Rettungsmannschaften**
- mittels eines **idealisierten Brandangriffes**
- durch **Prüfung** in einer hierfür
- **akkreditierten Prüfstelle**

Fall: Ausbrand (innenventiliert)



Möglichkeiten der Testbedingungen

- Minimum
 - 25 kg Holzkrippe
 - 6 m Prüfstandshöhe
 - 1 am 0-Niveau liegendes Fenster
- Schutzziel
 - **2.** Geschoß über Primärbrandherd

- Maximum
 - 60 kg Holzkrippe
 - 12 m Prüfstandshöhe
 - 2 übereinander liegende Fenster
- Schutzziel
 - **1.** Geschoß über Primärbrandherd



Pöhn, C.; Brandschutz bei grossen Dämmstoffstärken
Ergebnisse Brandversuche



12 10:21 AM





12 10:36AM







► Nutzungstoleranz

Heizlast...

- ▶ Feuchteverhalten der Baukonstruktion
 - ▶ Luft- und Winddichtes Bauen
 - ▶ Feuchtetoleranz von Baustoffen

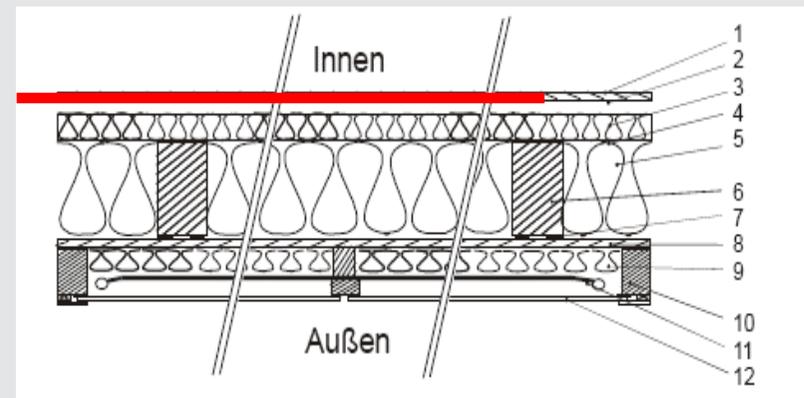
► Feuchteverhalten der Baukonstruktion

Nachweis der Funktionstüchtigkeit nicht mehr über einfache quasistationäre Verfahren sondern über Simulation des hygrothermischen Verhaltens



Abbildung 7.3: Testfassade mit 55 m² Kollektorfläche auf einem Zweifamilienwohnhaus in Graz

Dampfbremse /-sperre ?



I. Bergmann, W. Weiß
Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung
2002

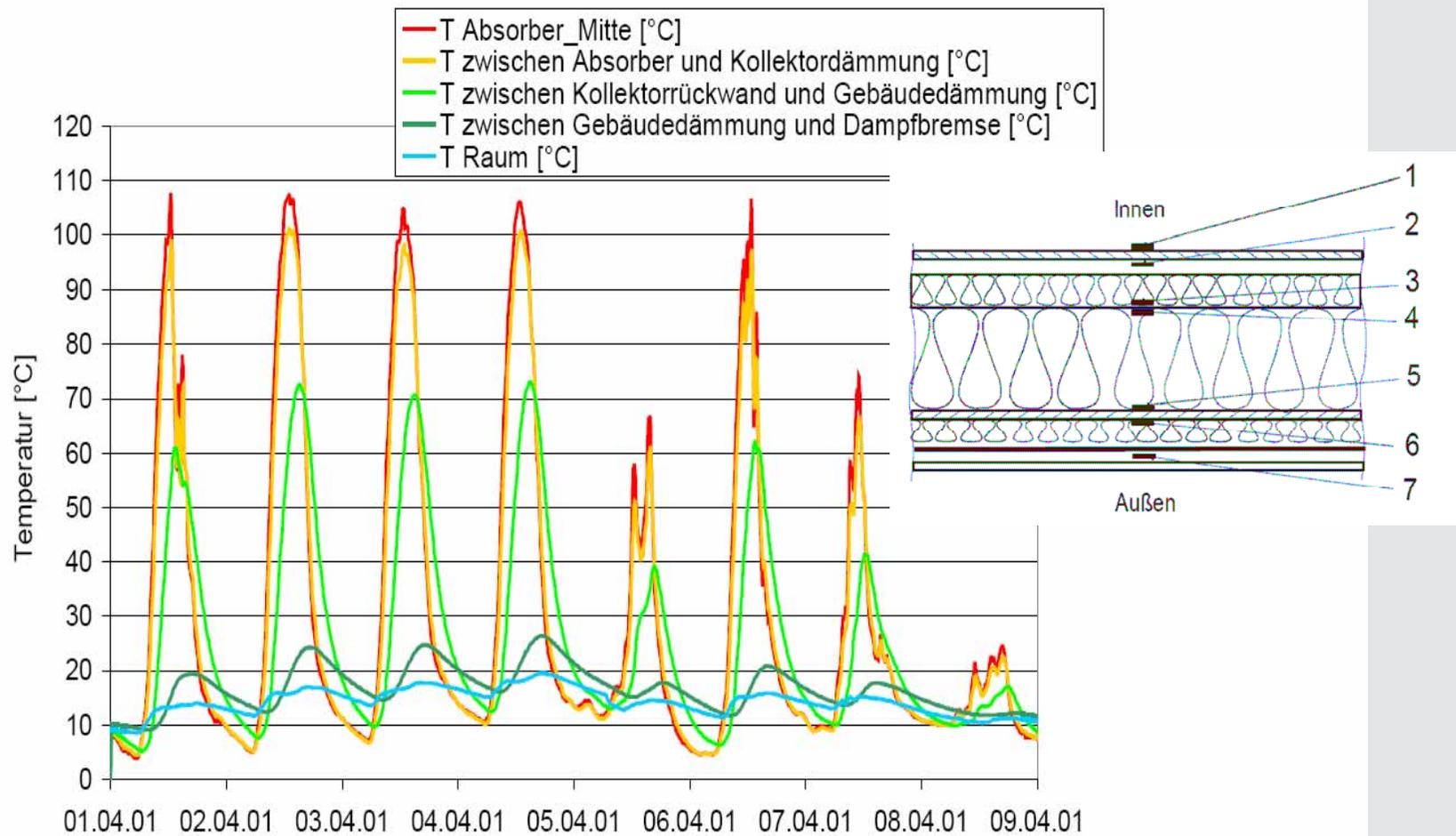


Abbildung 7.15: Temperaturen im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001

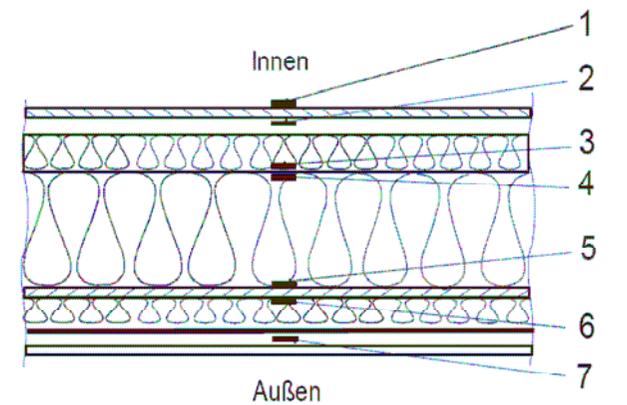
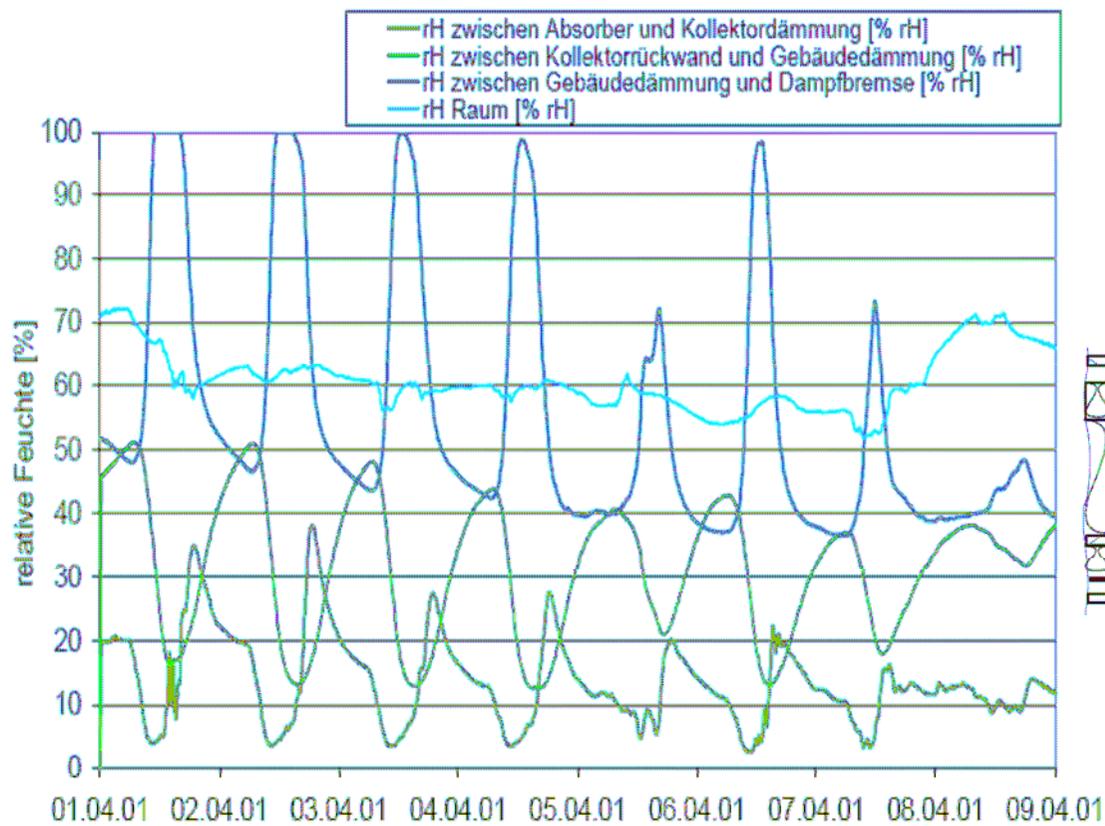


Abbildung 7.16: Relative Feuchtigkeit im Wandaufbau vom 1.04.2001 bis 9.04.2001

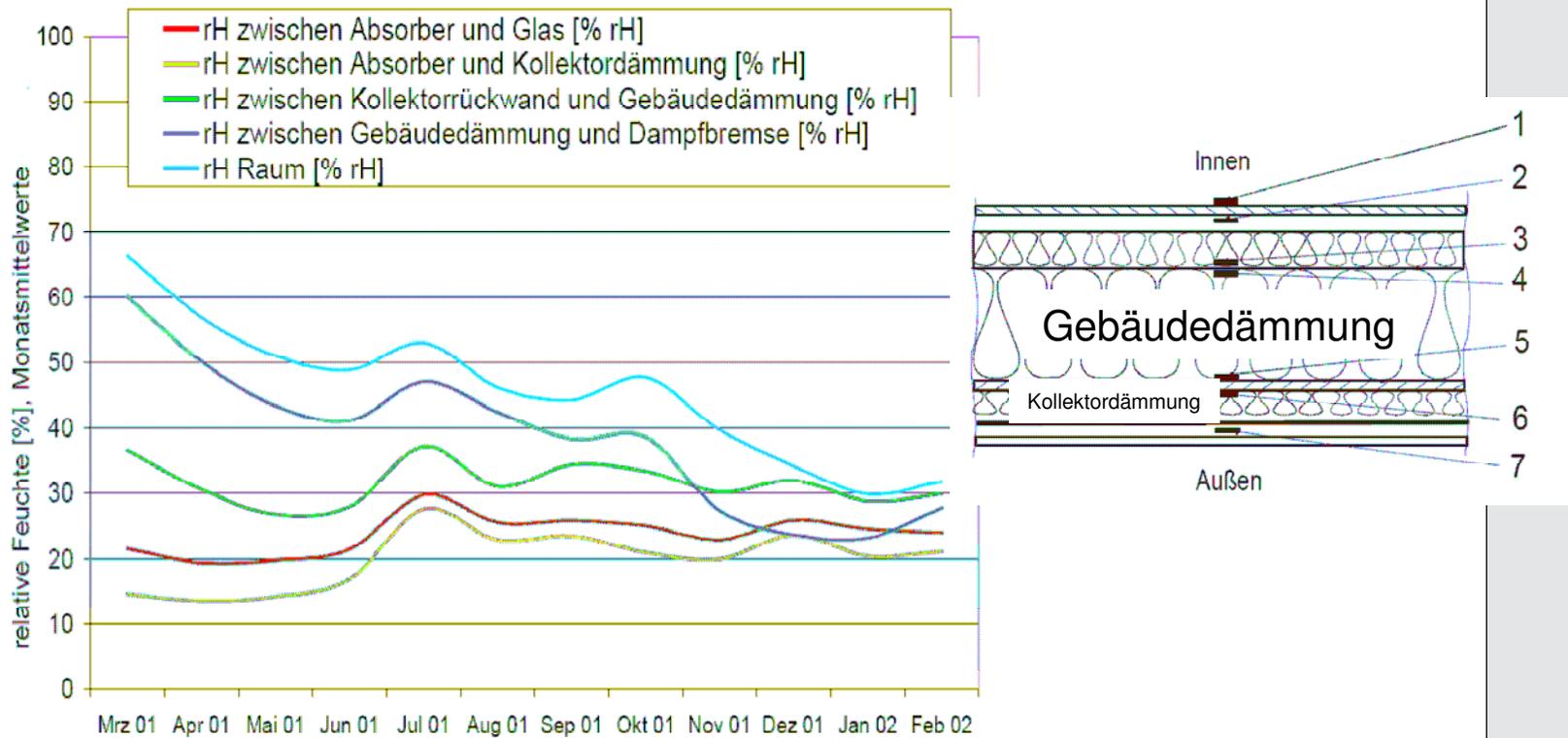


Abbildung 7.18: Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit zwischen Gebäudedämmung und Dampfbremse von März 2001 bis Februar 2002.

sd-Wert der eingesetzten Dampfbremse betrug 0.8m

- ▶ Optimierung ist kein Schlagwort sondern eine lösbare Aufgabe
 - Zieldefinition am Anfang
 - Definition des Nachweisverfahrens (-> Rechtssicherheit)
 - ÖNORMEN derzeit unbefriedigend hinsichtlich Vereinfachungen
 - Kein Simulationstool ist bis jetzt in der Lage alle Aspekte abzubilden
- ▶ Auslegung von Anlagen auch unter Berücksichtigung von Risiken
- ▶ Realverhalten von Konstruktionen ist mess- und berechenbar
 - Validierte Modelle verwenden
 - Standardisierte Messverfahren für Baustoffkenngrößen in Arbeit
 - Feuchtetoleranz der Baustoffe ist zu ermitteln
- ▶ Virtuelle Gebäude
- ▶ Bauphysikalische kompetente ÖBA und Abnahmemessung (Schallschutzmessung, Luftdichtheit,..) verstärken
- ▶ unabhängiges Gebäude-Monitoring für Inbetriebnahme sehr hilfreich