
Solare Wandheizung mit Transparenter Wärmedämmung

Werner Platzer

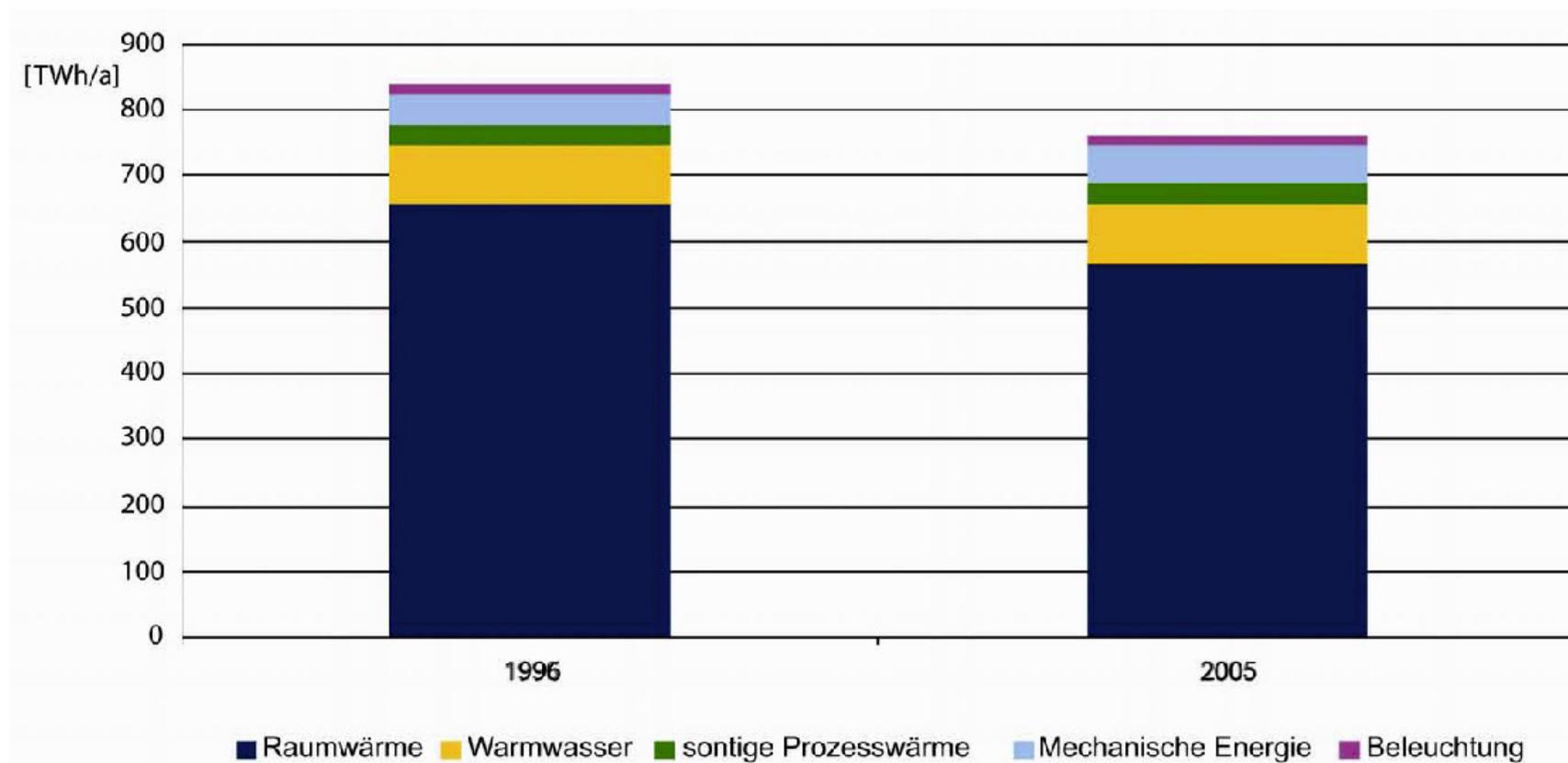
Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme
Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg
email: werner.platzer@ise.fraunhofer.de



Inhaltsübersicht

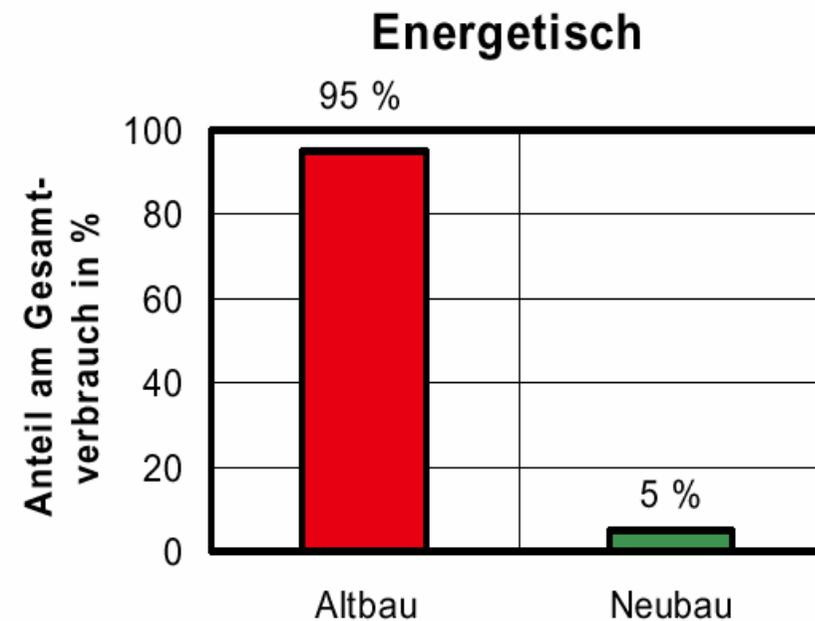
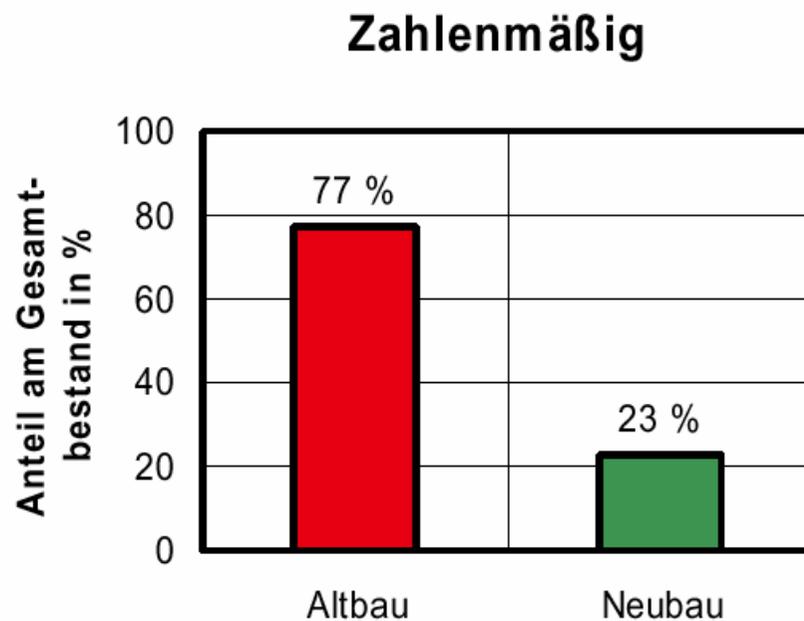
- Motivation
- Passive Solarenergie
- TWD-Materialien und Produkte
- Funktionsweise Solarwand
- Energetische Bewertung
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Wirtschaftlichkeit
- Fazit

Heizenergieverbrauch Wohngebäude



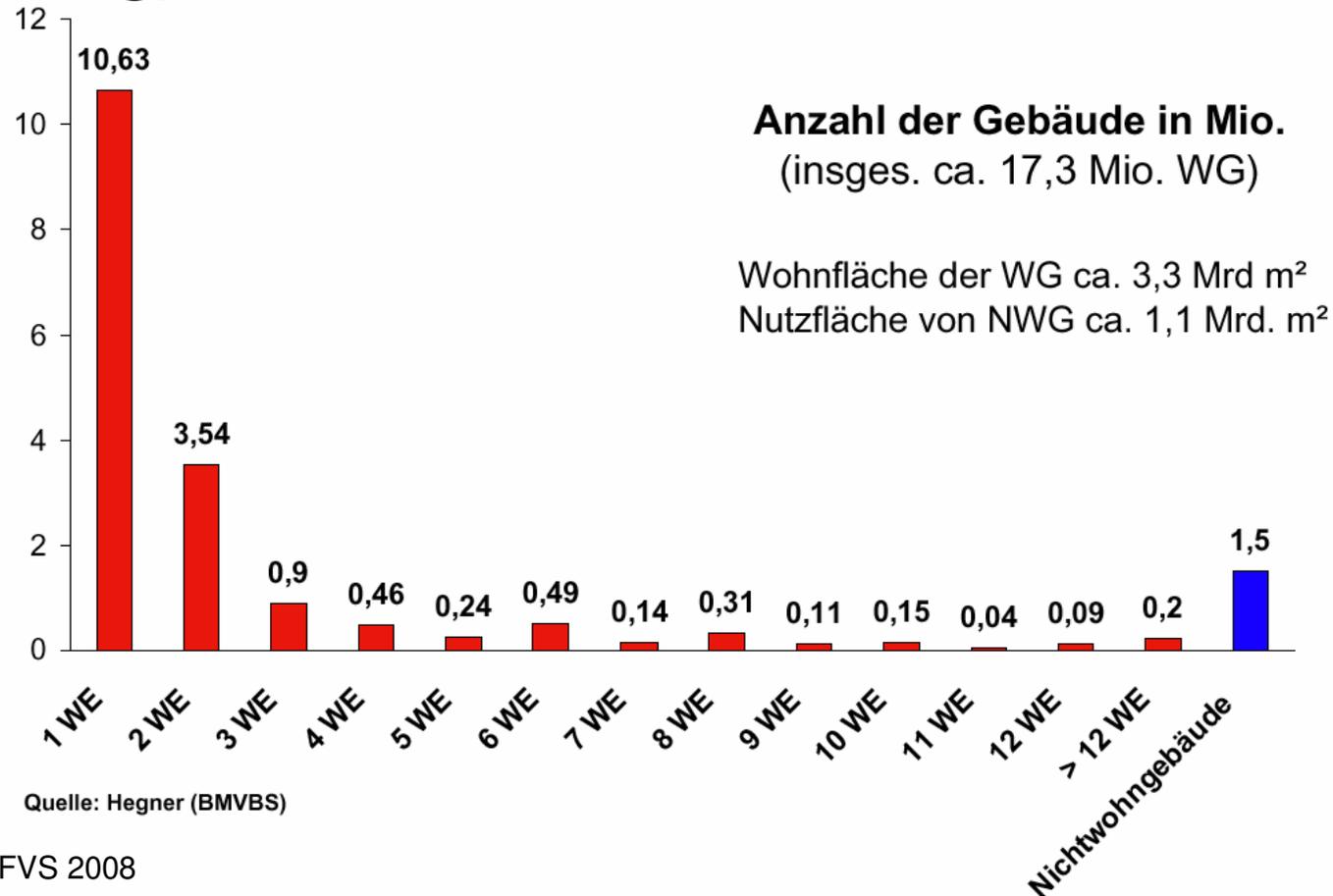
Quelle: AG Energiebilanzen

Altbau – das Potenzial der Zukunft



Quelle: Hauser / FVS 2008

Gebäudebestand in Deutschland 2003 (Schätzung)



nach: Hauser / FVS 2008



Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen

Szenario	Primärenergiebedarf		CO ₂ -Emissionen	
	TWh/a	kWh/m ² a	Mio.t/a	kg/m ² a
Status Quo 2005	750	226	191	58
Fortschreibung bis 2020	624	162	157	41
Nur erhöhte EnEV für Neubau	619	161	156	41
Zuwachs auf jährlich 3% Vollsanierung	577	150	145	38
Maßnahmenbündel „CO₂ minus 40 Prozent“	458	119	114	30

Quelle: Hauser / FVS 2008

Szenarium „CO 2 minus 40 Prozent“

- Vollsanierungsquote der Gebäude < 1979 ab 2008 3 %
- Qualität der Sanierung ab 2008 +30%
- EnEV Neubau 2008 + 30%; 2012 +50%; Basis 2007
- Verstärkte Umstellung auf Erneuerbare, so dass 2020 Anteil Gasheizungen 50%; 2/ 3 mit solarer Warmwasserbereitung
- Ölheizungen 25%; 40% mit solarer Warmwasserbereitung
- Pelletkessel 12,6%
- Strom und Fernwärme unverändert

Quelle: Hauser / FVS 2008

Schlussfolgerung aus Studie



- **40 % Ziel (2020):**
Nur über die erhöhte Sanierung des Bestands und Einbindung erneuerbarer Wärmeerzeuger realisierbar!

Quelle: Hauser / FVS 2008

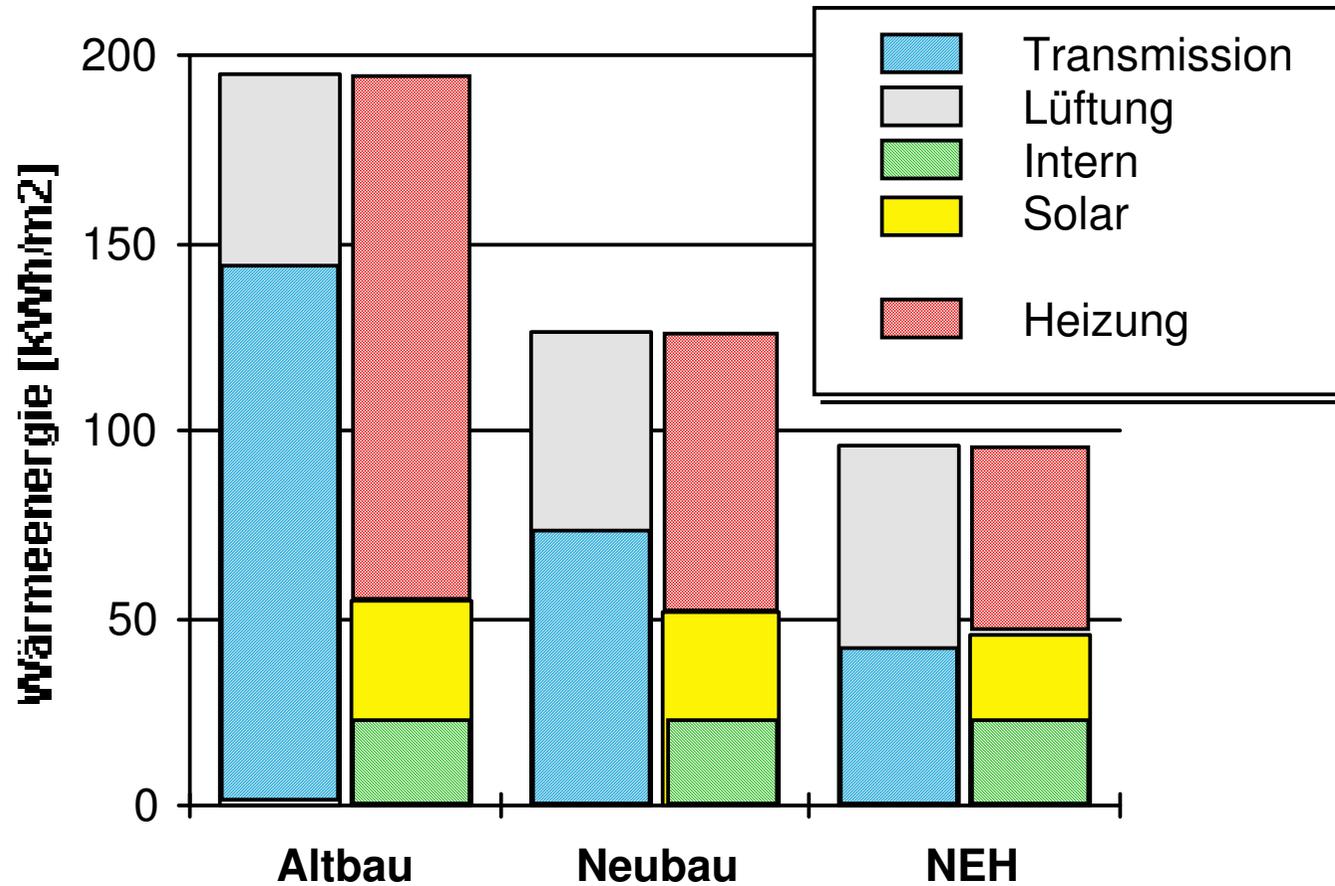


Warum passive Maßnahmen in der Gebäudehülle?

Einfach, günstig, wartungsarm?



Gebäudeenergiebilanz



Potenzial Solarenergie

Bedarfsdeckung

Solarbeitrag bei Wohngebäuden

Heizung

Passive Solarnutzung Fenster:

15% von 600 TWh/a

-> 80-100 TWh/a

Warmwasser
(+ Heizung)

Aktive Solarnutzung Kollektoren:

8-10 Mio m² à 400 kWh

-> 4-5 TWh/a

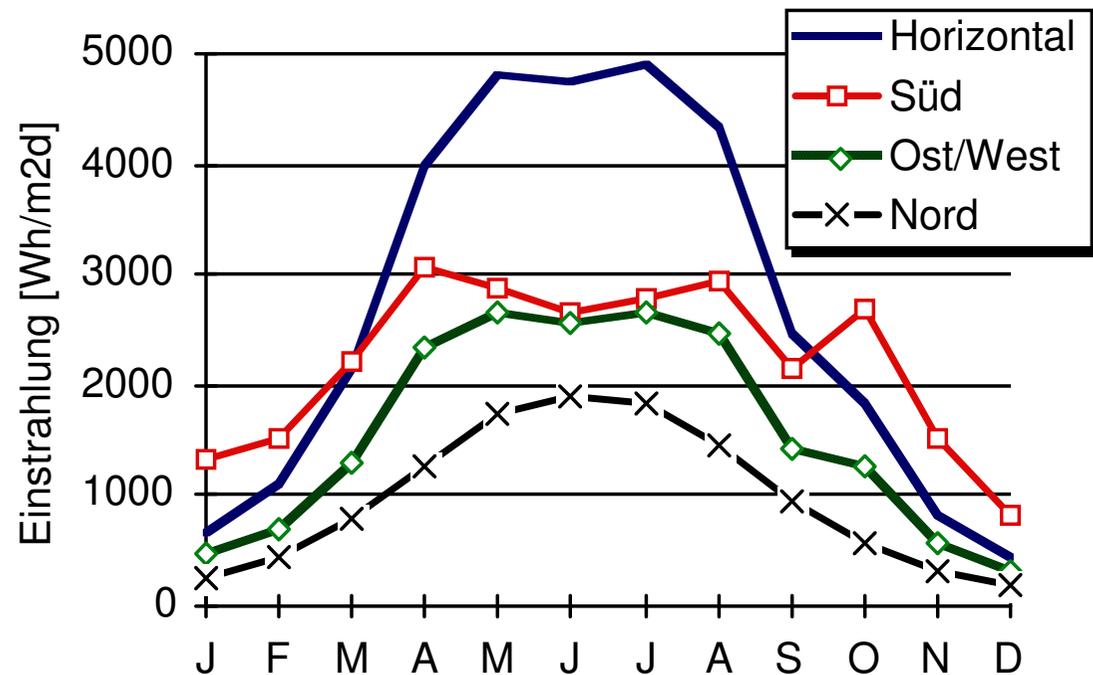
=> Solare Heizung ist die Zukunft!



Orientierung und Solarstrahlung

Vertikale Wände

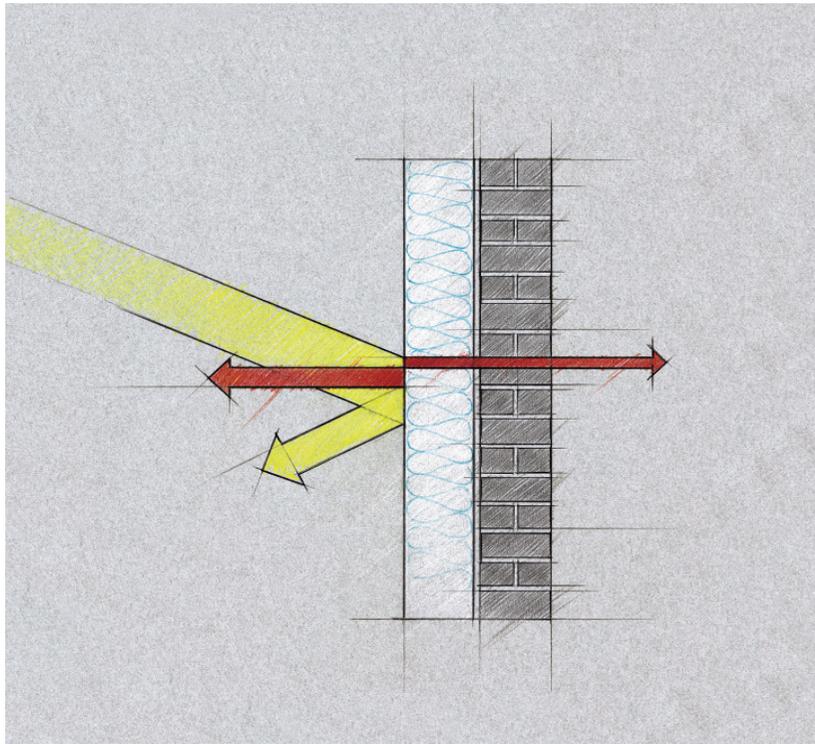
- Winter:
Hoher Direktanteil
-> tiefstehende Sonne
-> Südwand
- Sommer:
-> Süd, Ost und West
nahezu gleichwertig



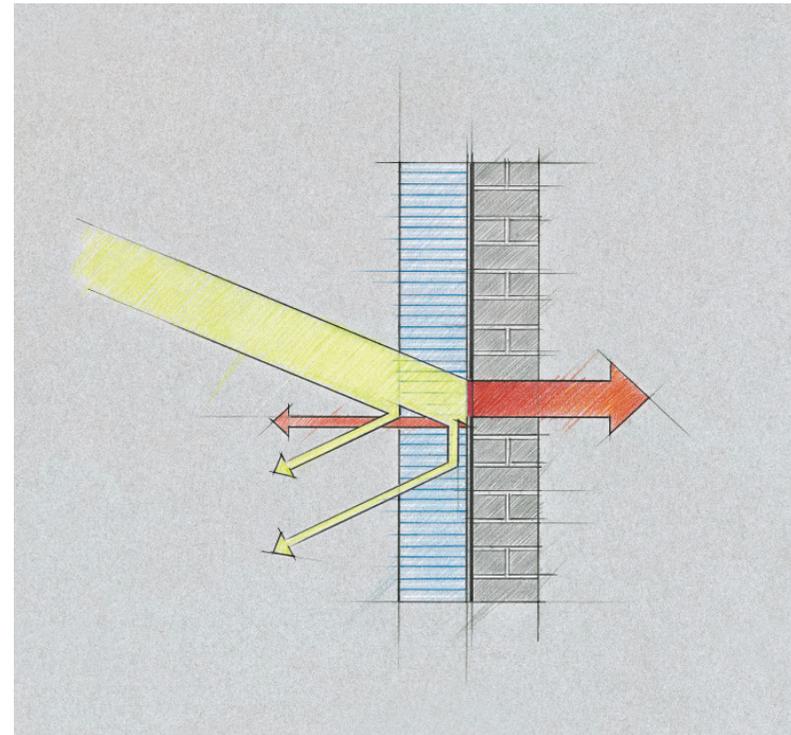
Grundvarianten solarer Fassadennutzung

- Direktgewinn über Fenster
- passive Speicherwand mit transparenter Wärmedämmung
- externe zweite Glashülle als Wintergarten oder Doppelfassade
- aktive Solarenergienutzung über Wasser- oder Luftkollektoren
- Zuluftvorwärmung
- Stromgewinnung über Photovoltaikfassaden

Solare Wandheizung und Wärmedämmung



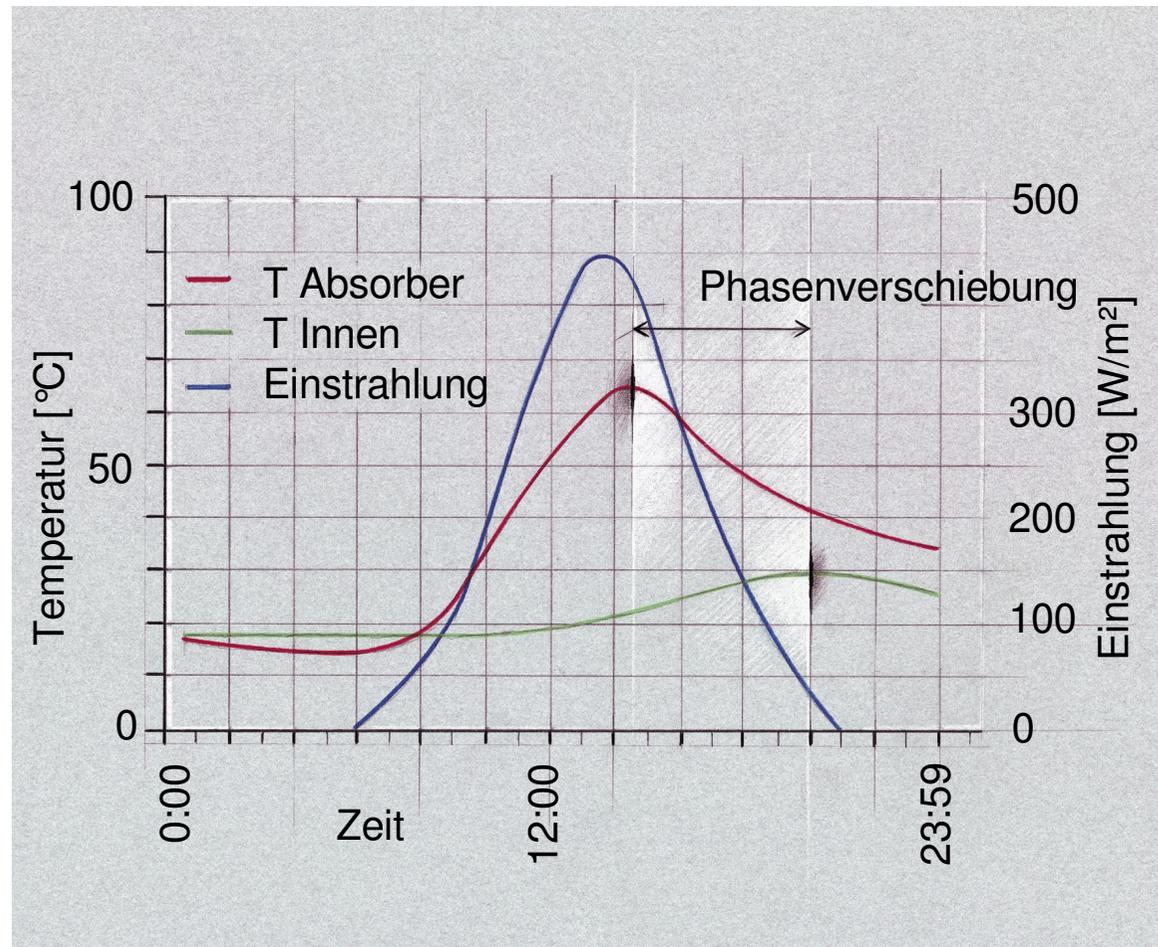
Wärmedämmung



Solarwand

Eigenschaften der Solarwand

Solare Gewinne
kommen nach
Sonnenuntergang
ins Haus!



Passive Solarwand

- Wärmedämmeigenschaft + Solarenergienutzung
- Wärmespeicherfunktion
- Wand als großflächiger Niedertemperatur-Radiator

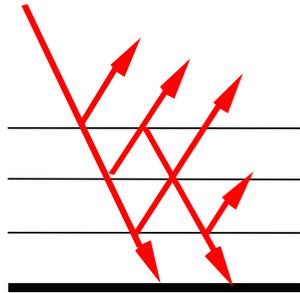
- keine mechanische Hilfsenergie erforderlich
- äußere, sichtbare Gebäudehülle
- Eignung für Neubau und Altbaunachrüstung
- keine Regelbarkeit der Solargewinne im Kurzzeitbereich

Transparente Wärmedämmmaterialien

Wabenstrukturen und
Nanomaterial

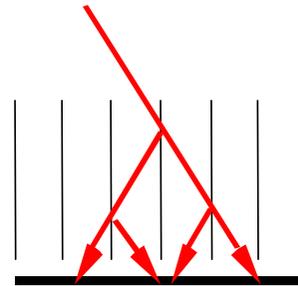


Transparente Wärmedämmmaterialien



Absorber-parallele Strukturen

- Folienabdeckungen
- Mehrfachverglasung



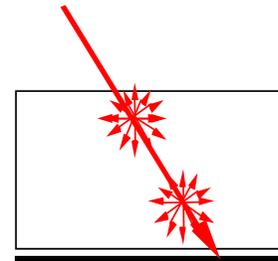
Absorber-senkrechte Strukturen

- Wabenstrukturen
- Kapillaren und Röhrcchen
- Folienstrukturen



Zellstrukturen

- Mehrfachstegplatten
- Transluzenter Schaum

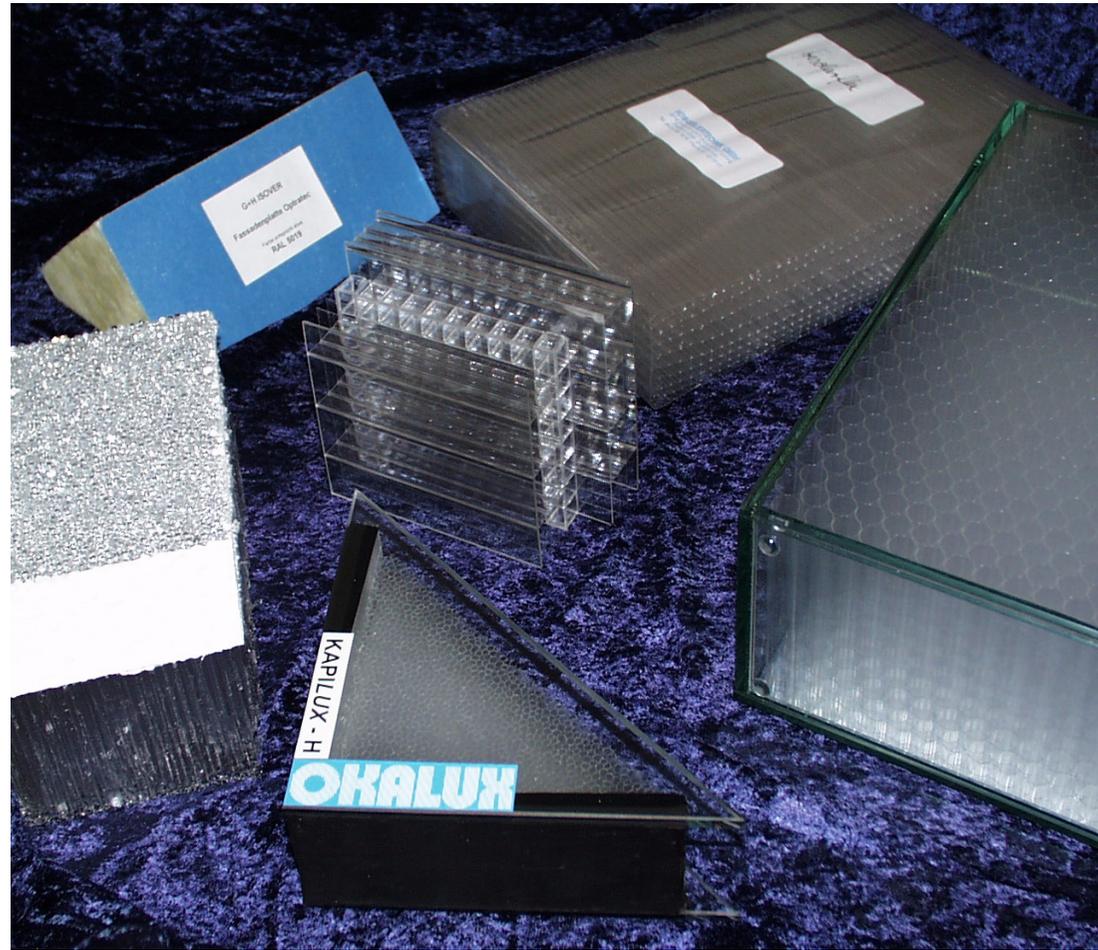


Homogene Materialien

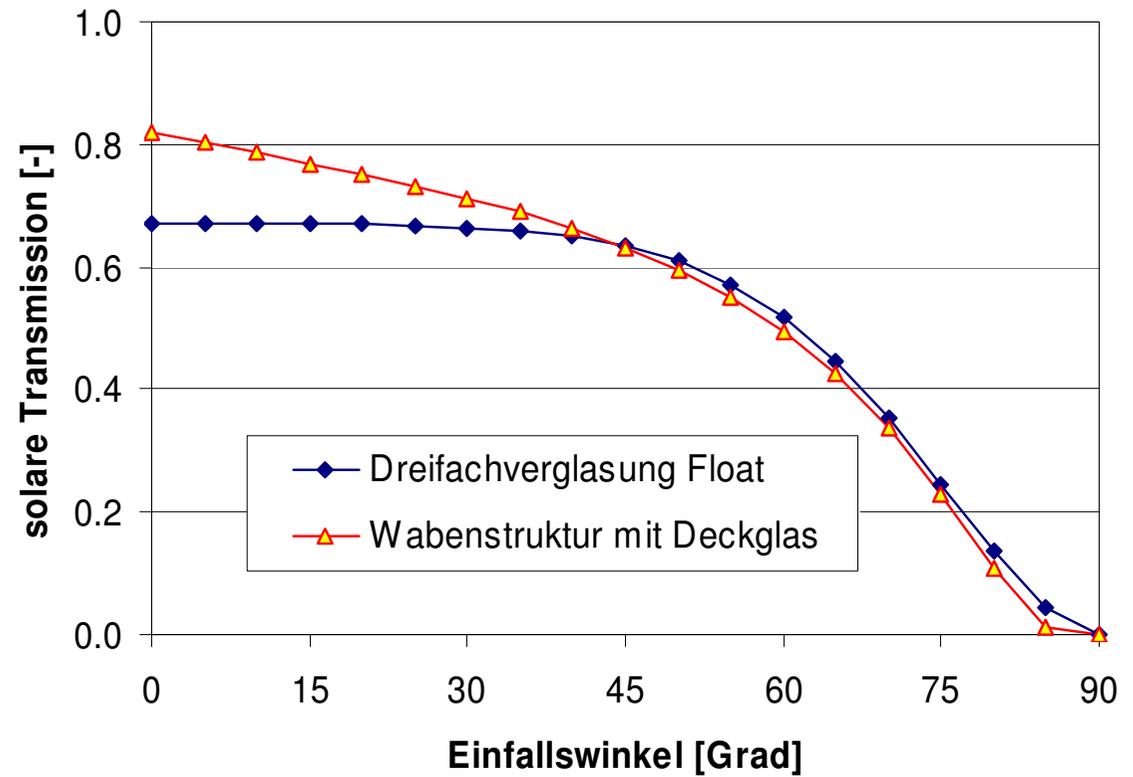
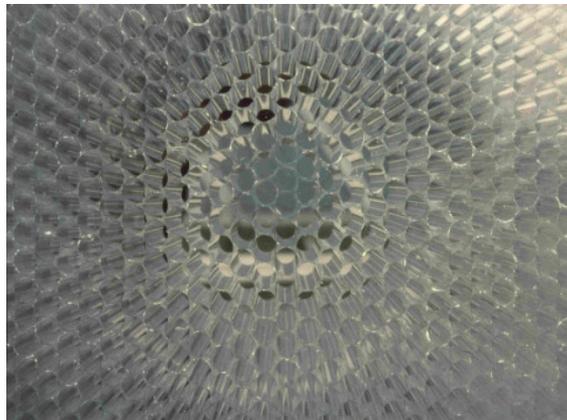
- Aerogele



Transparente Wärmedämm- materialien



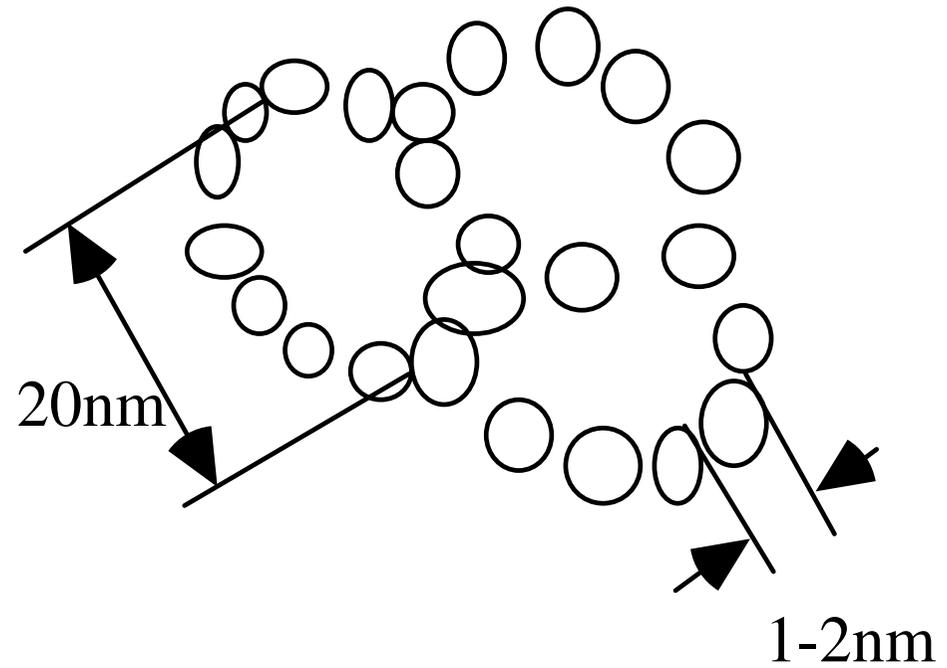
Absorbersenkrechte Kapillarstruktur



Aerogel

nanoporöse
Struktur

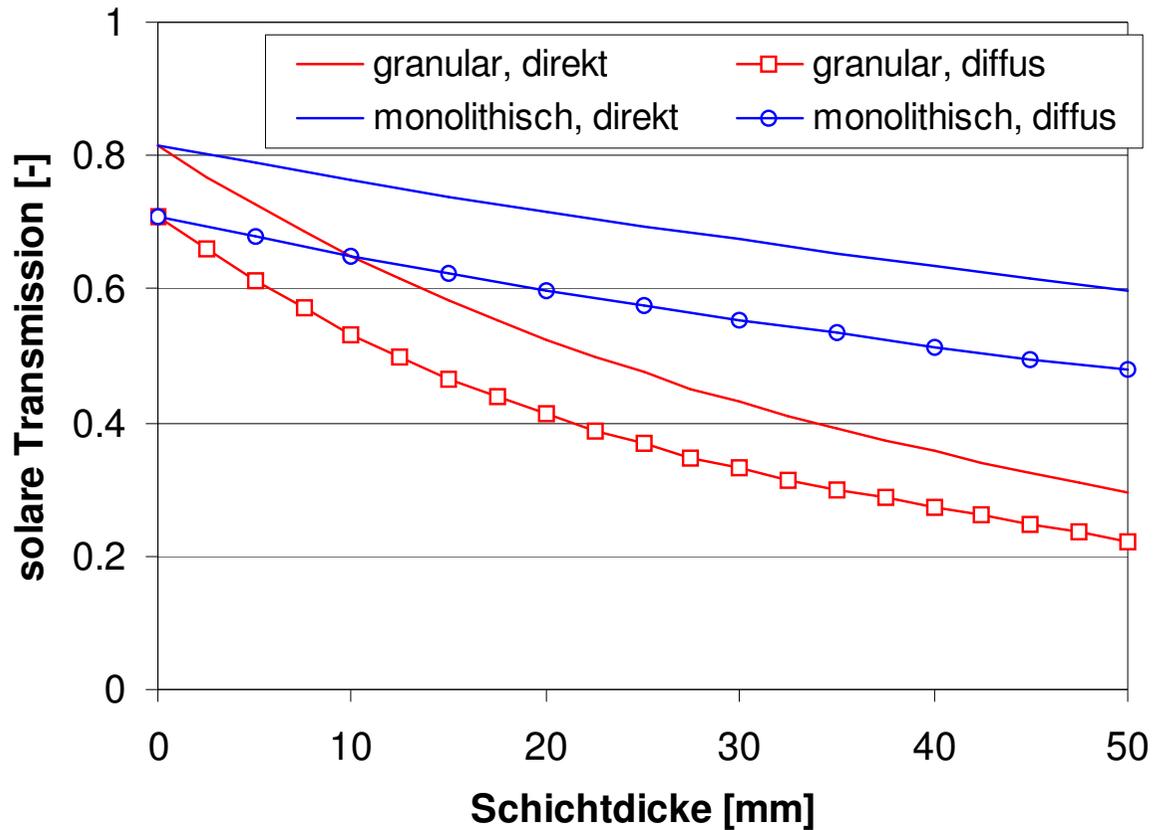
-O-Si-O-Ketten



Eigenschaften von Aerogel

Wärmeleitfähigkeit
 $16 - 19 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK} !$

Styropor
 $35 - 45 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

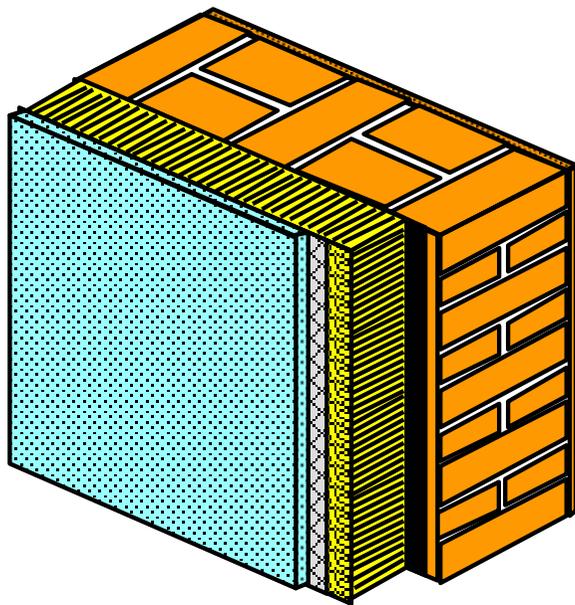


Produktvarianten

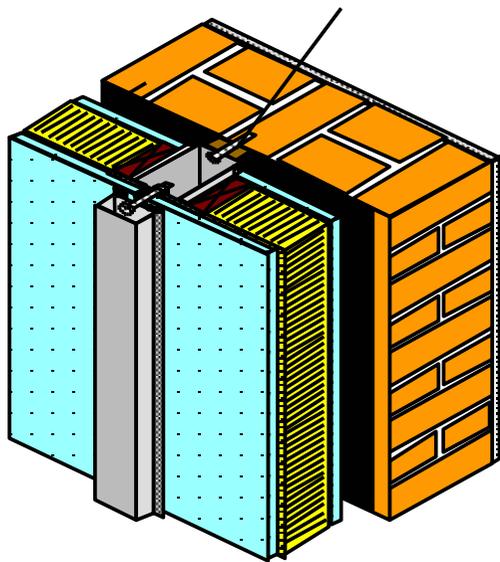
Tageslichtnutzung und
Solare Wandheizung



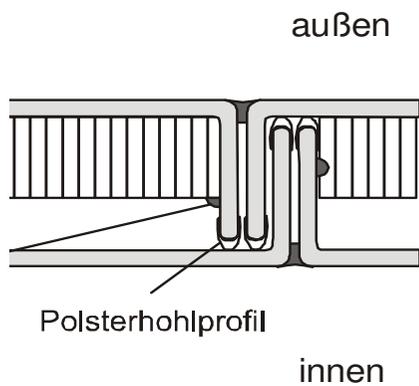
Transparentes Wärmedämmverbundsystem



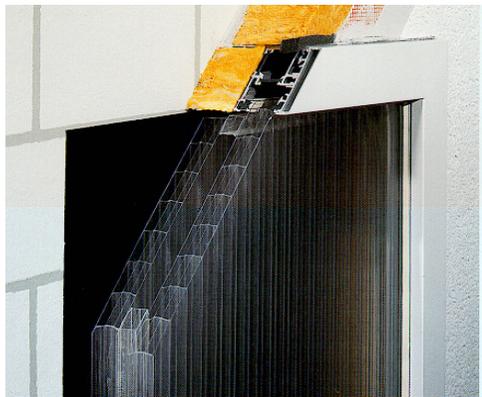
Pfosten-Riegel-Konstruktion



Profilglas-TWD



Stegplatten-TWD



Solare Wandheizung mit Latentspeicher und saisonalem Sonnenschutz

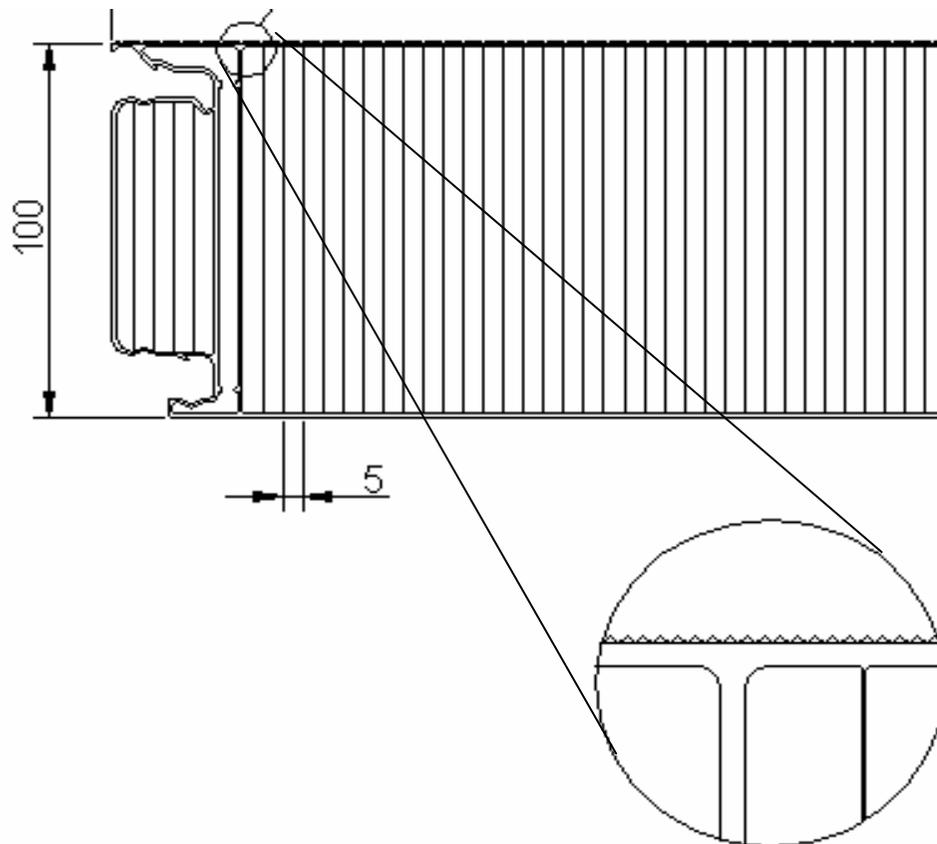
Projekt
Alterswohnen
Domat /Ems

Architekt:
D. Schwarz

Verglasung:
 $U_g = 0.48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 $g = 37\%$ (variabel)



Weiterentwicklung Solare Umweltwand



Spezialstegplatte mit
saisonaalem
Sonnenschutz

$$U_g = 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$
$$g = 60\% \text{ (variabel)}$$



Weiterentwicklung Solare Umweltwand

Hochwärmedämmende
Verglasungen mit
Konvektions-
unterdrückung

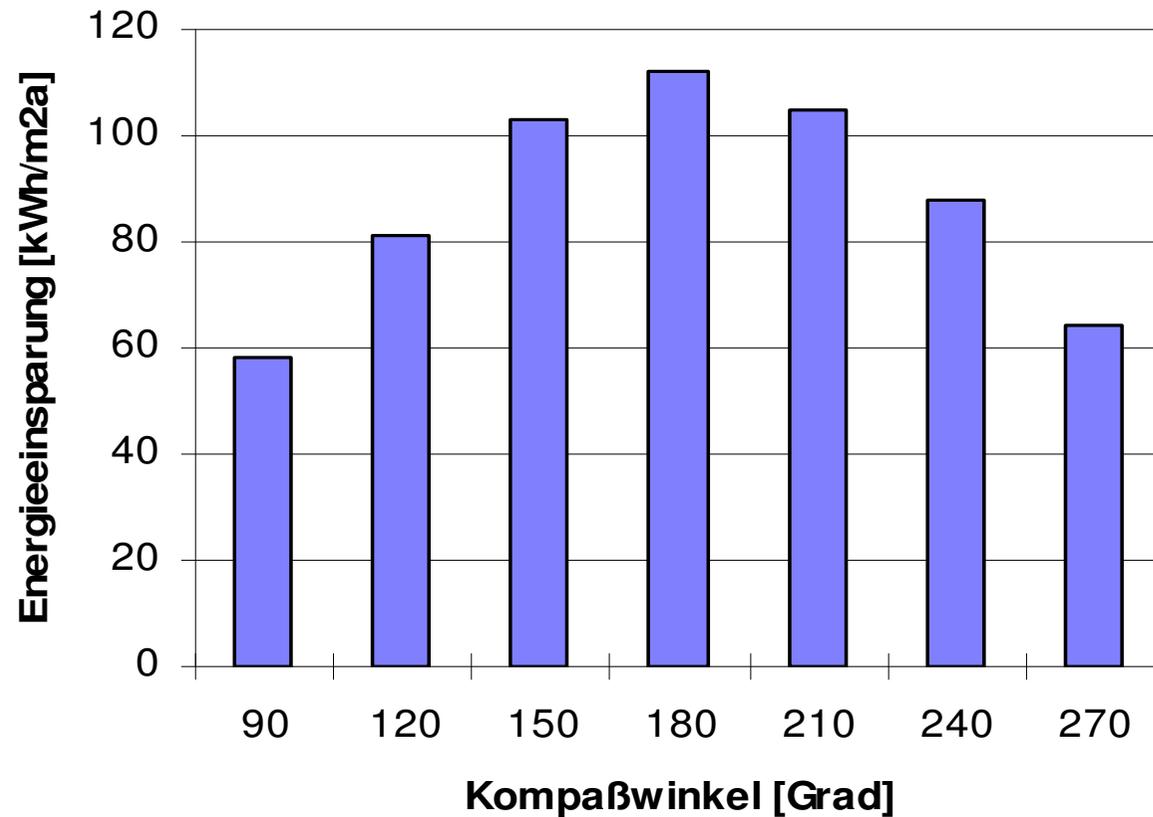
$$U_g = 0.6 \text{ bis } 0.9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$
$$g = 60\% \text{ bis } 65\%$$



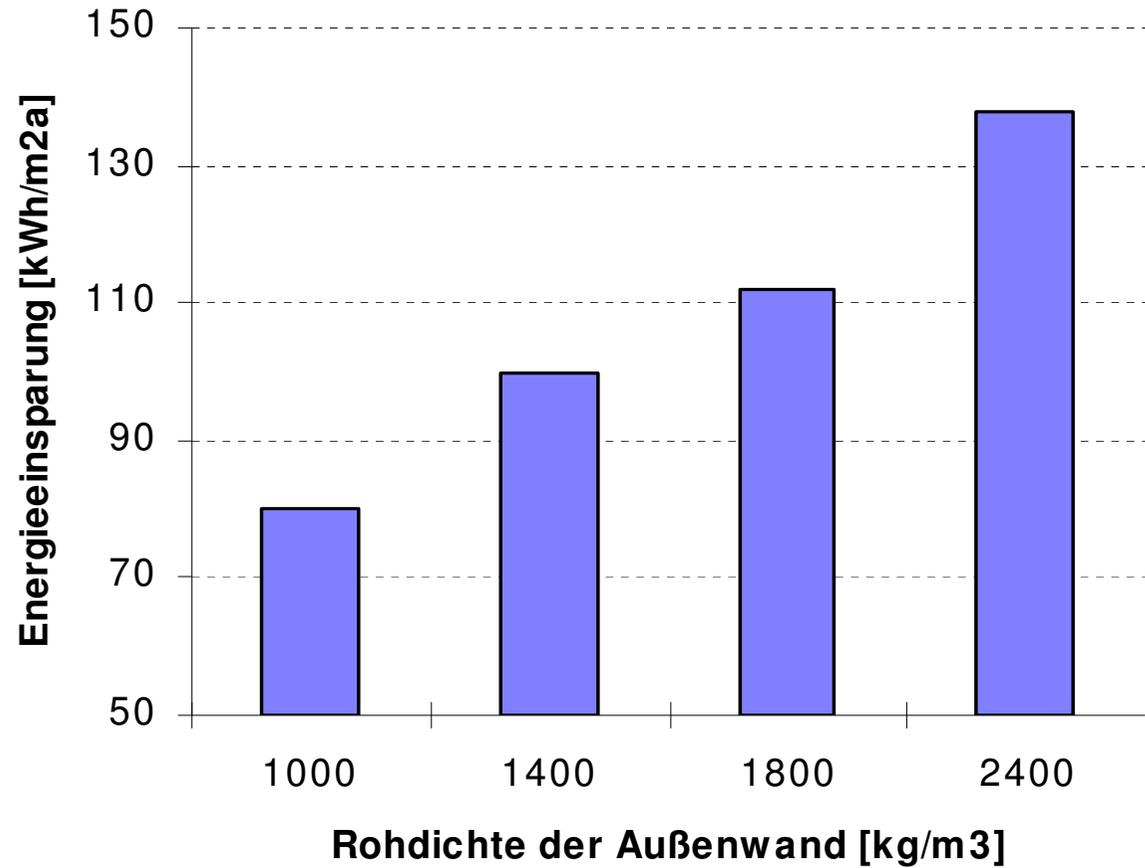
Funktionsweise Solarwand

Einfach massiv!

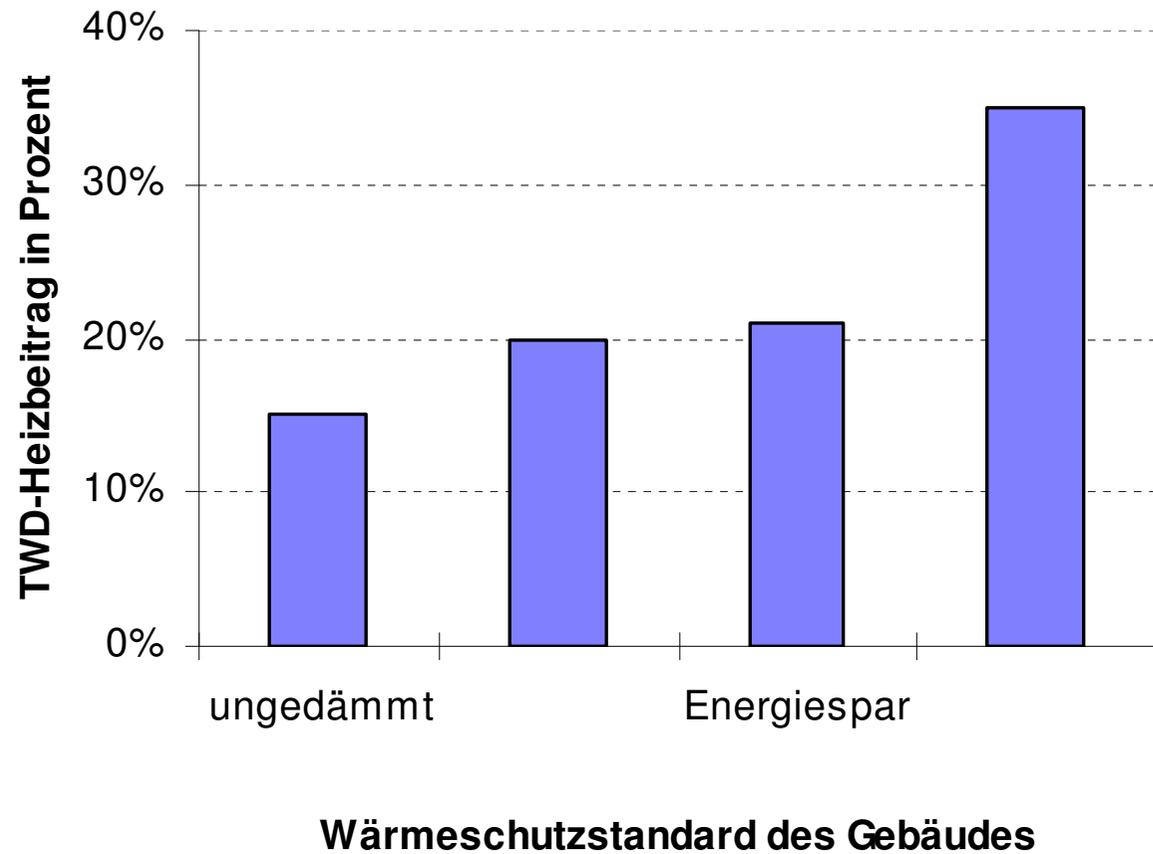
Einfluss der Orientierung des Kollektors



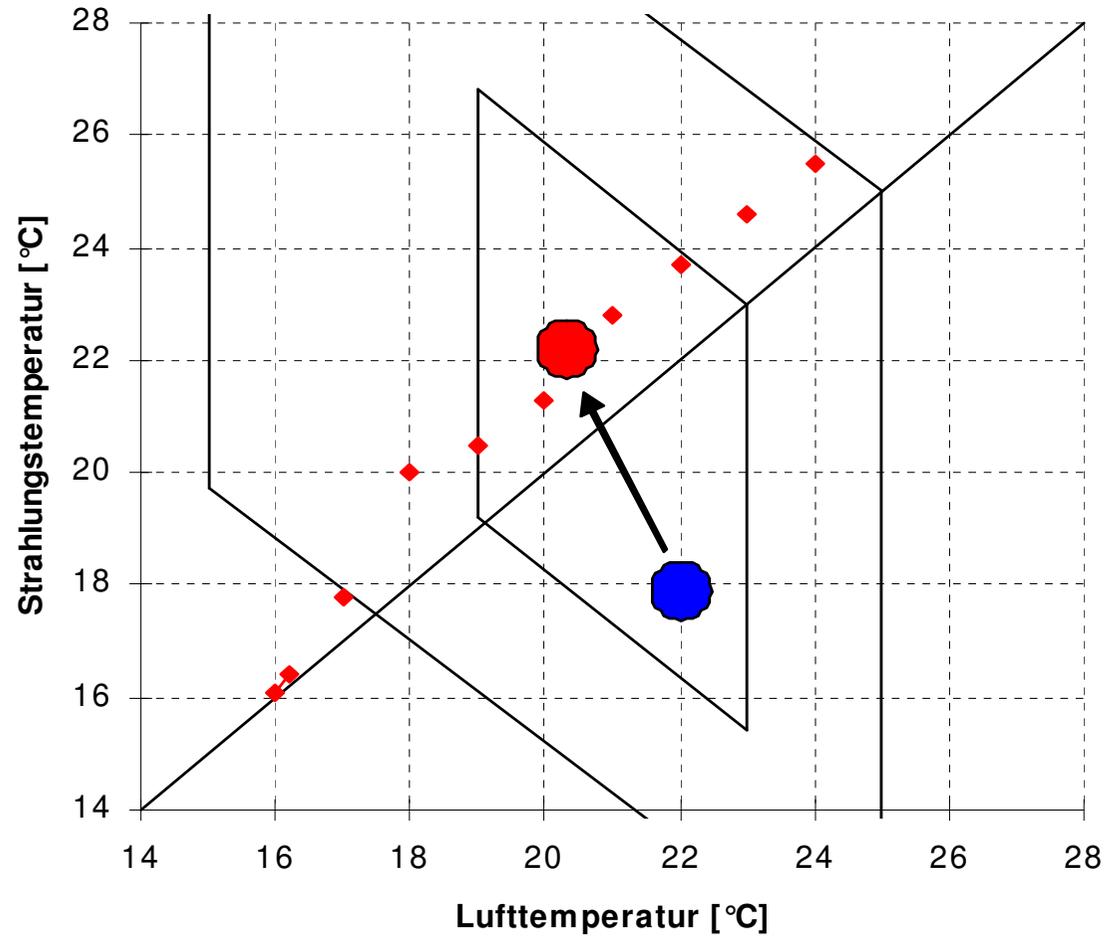
Einfluss der Rohdichte



Einfluss des Gebäudestandards



Komfort durch erhöhte Wandtemperaturen



Energetische Bewertung

Nutzbare Solargewinne tragen
zur Reduzierung des
Heizenergieverbrauchs bei!

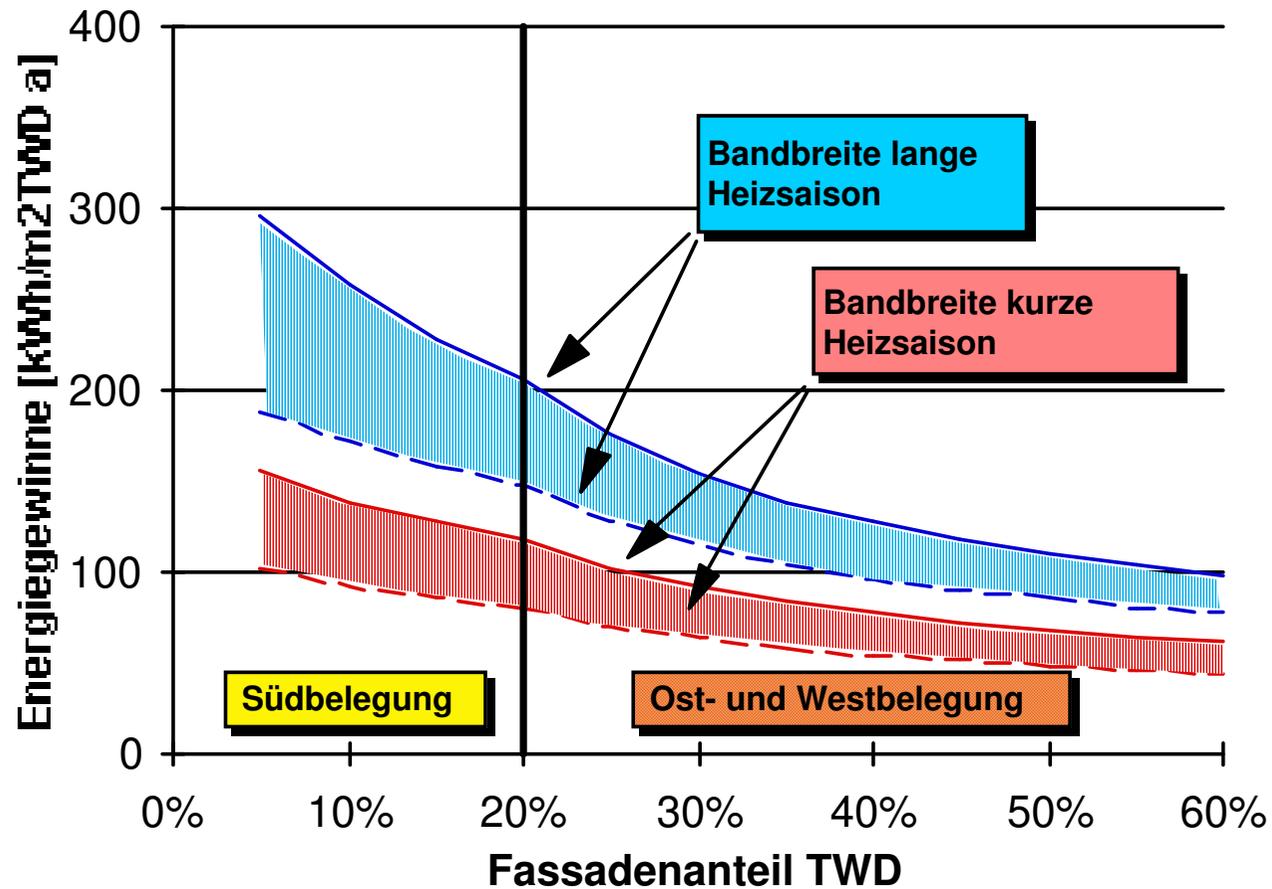


Solare Wandheizung in der Praxis

- Anwendung hauptsächlich in Wohngebäuden
- Anforderungen
 - + Reduzierung des Heizenergiebedarfs
 - + Erhöhung thermischer Komfort
 - + Vermeidung sommerlicher Überhitzung
- Auslegung: Kollektorfläche auf Südfassade
Richtwert: 1 m² Kollektor pro 10 m² Wohnfläche

-> **Lohnt sich der Aufwand? Funktioniert das?**

Effekt der Solaren Wandheizung



Berechnung des Solaren Energiegewinns (aktive Fläche)

Wärmegewinn

Rahmenfaktor

Gesamtenergiedurchlass
(Richtlinie FVTWD)

Berechnungszeitraum

$$Q_{TWD} = F_F \cdot F_S \cdot g_{TWD} \cdot U \cdot R_{TWD} \cdot I_s \cdot A \cdot t$$

Verschattung

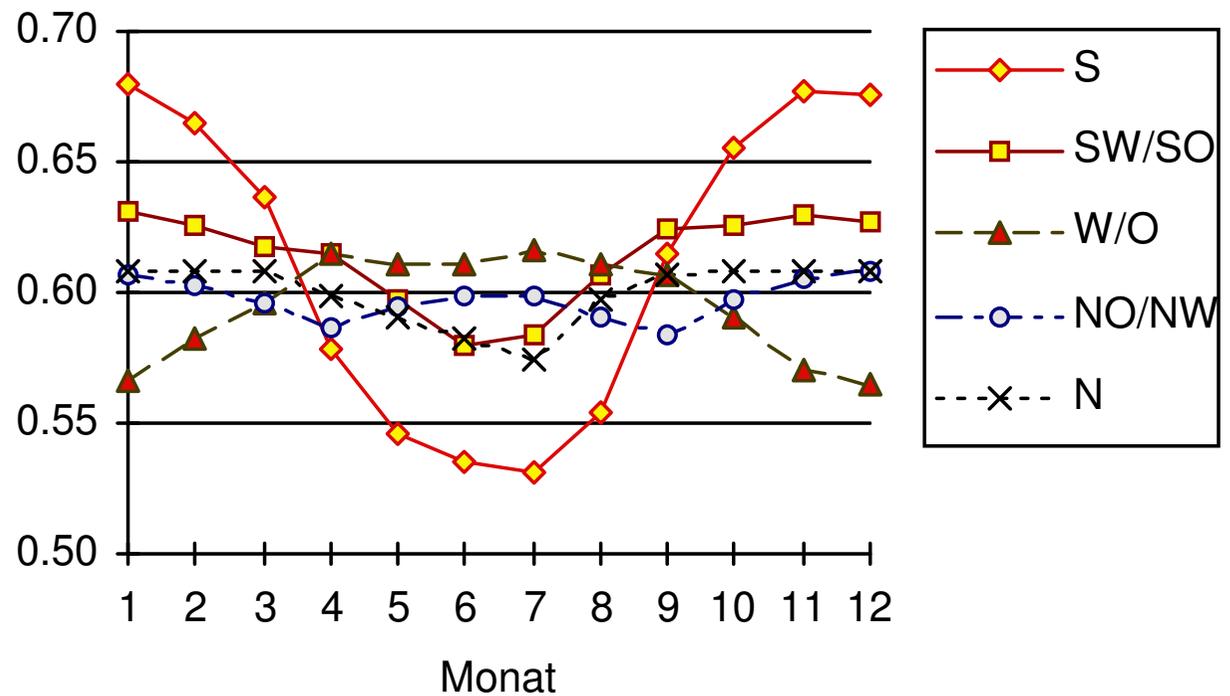
Wärmedurchgangskoeff.

Einstrahlung

Fläche

Effektiver Wirkungsgrad

TWD-Strukturen
reagieren auf
Sonnenstand!



Wirkungsgrad

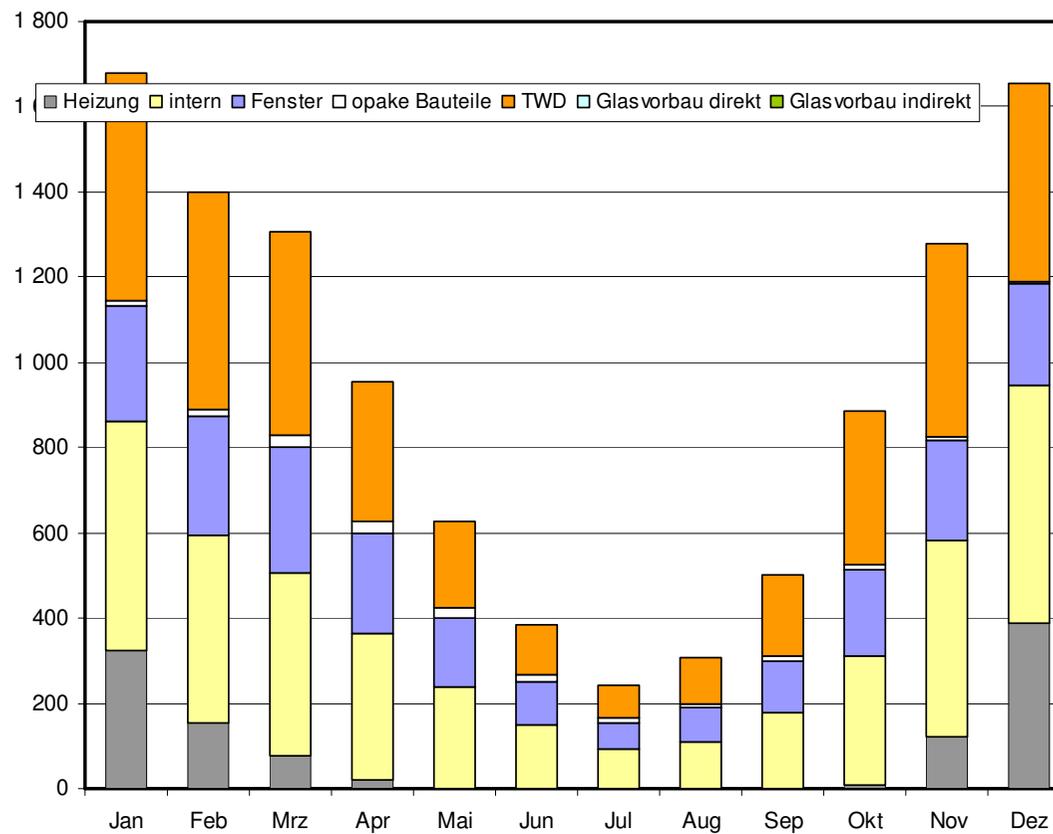
$$\eta_{\text{TWD}} = g_{\text{TWD}} \cdot U \cdot R_{\text{TWD}}$$

- Der Wirkungsgrad η entspricht dem g-Wert des Fenster aber: Effektivwert, nicht Maximalwert für senkrechten Strahlungseinfall!
- Einfache Berechnung der solaren Gewinne der solaren Wandheizung als zusätzliches „Fenster“!
- Konservative Abschätzung (Südseite) mittels diffusem g-Wert:

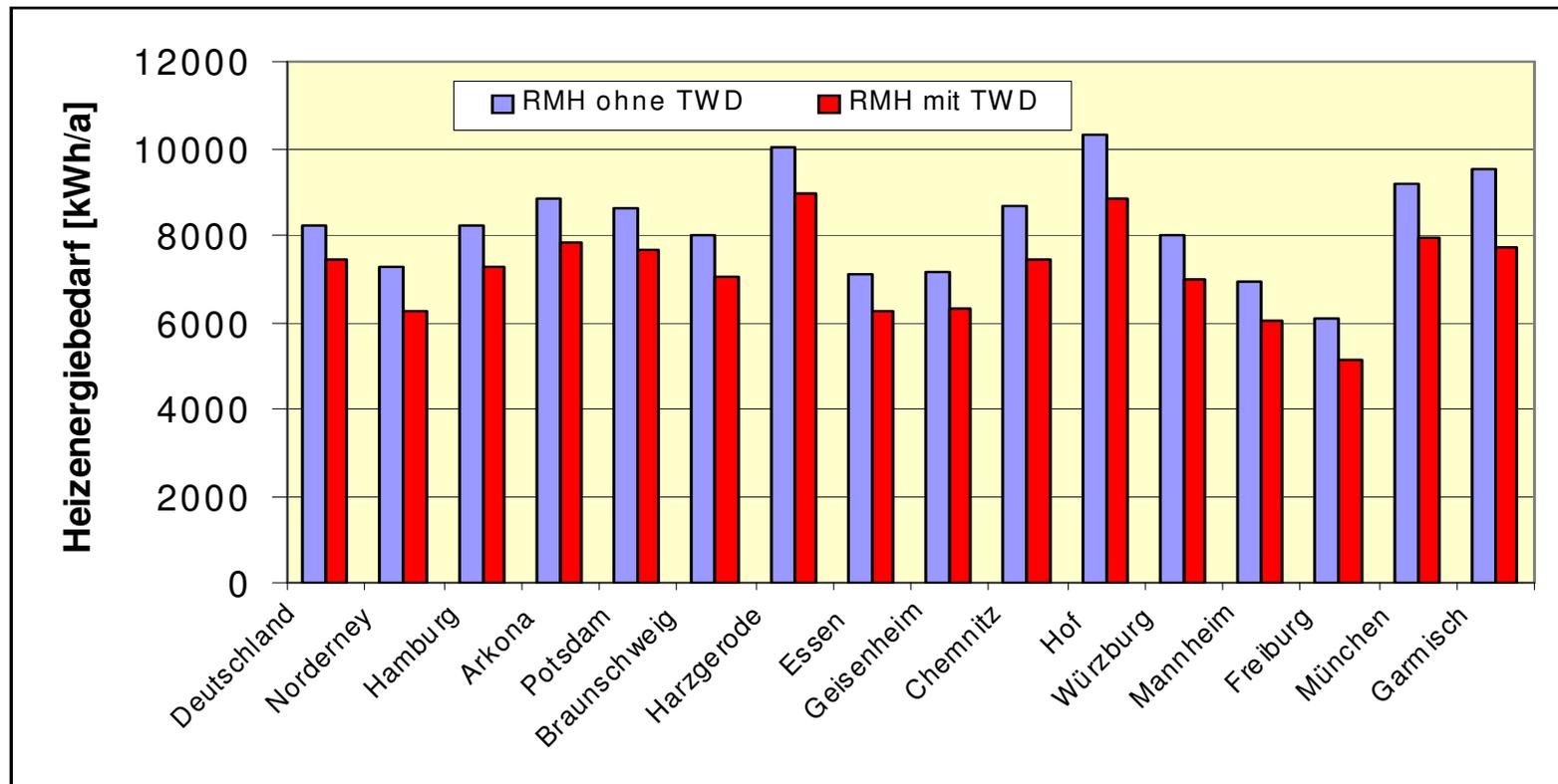
$$g_{\text{TWD,Süd}} \geq g_h \cong F_w \cdot g$$

Nutzbare monatliche Gewinne

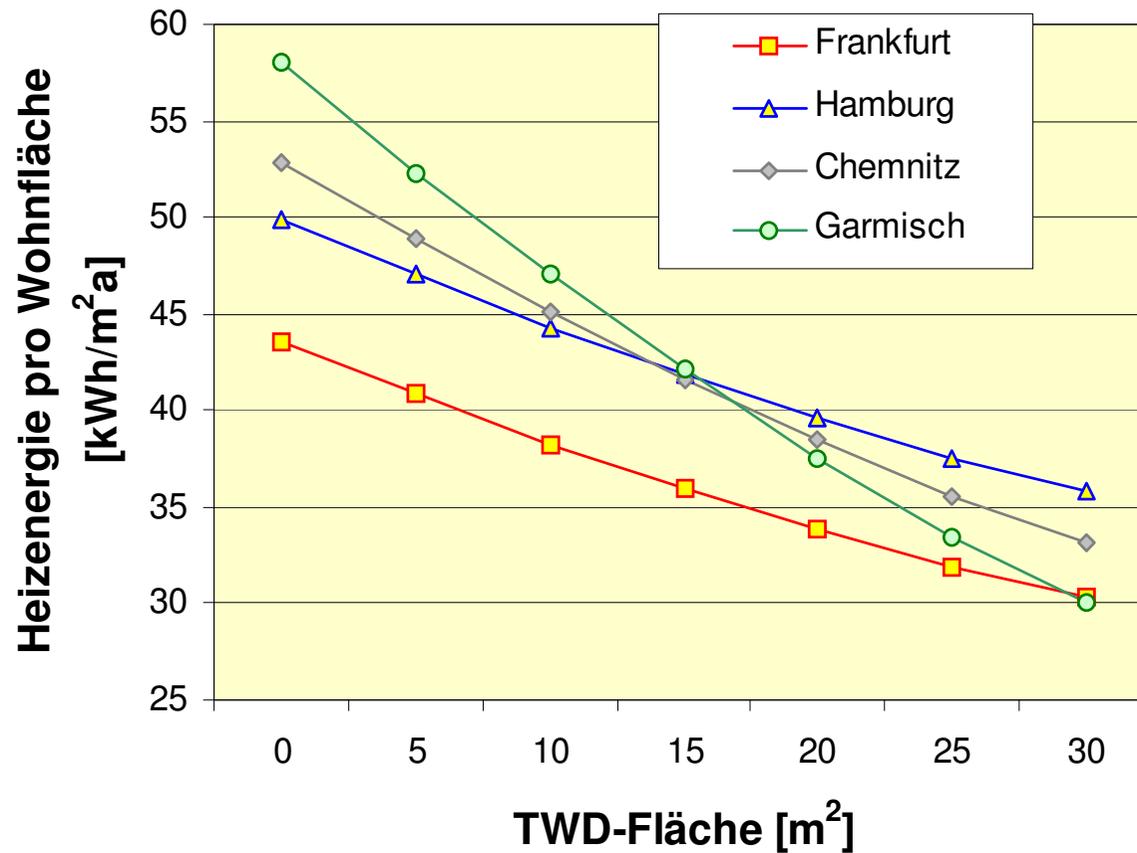
Monatswerte der nutzbaren Gewinne [kWh/Monat]



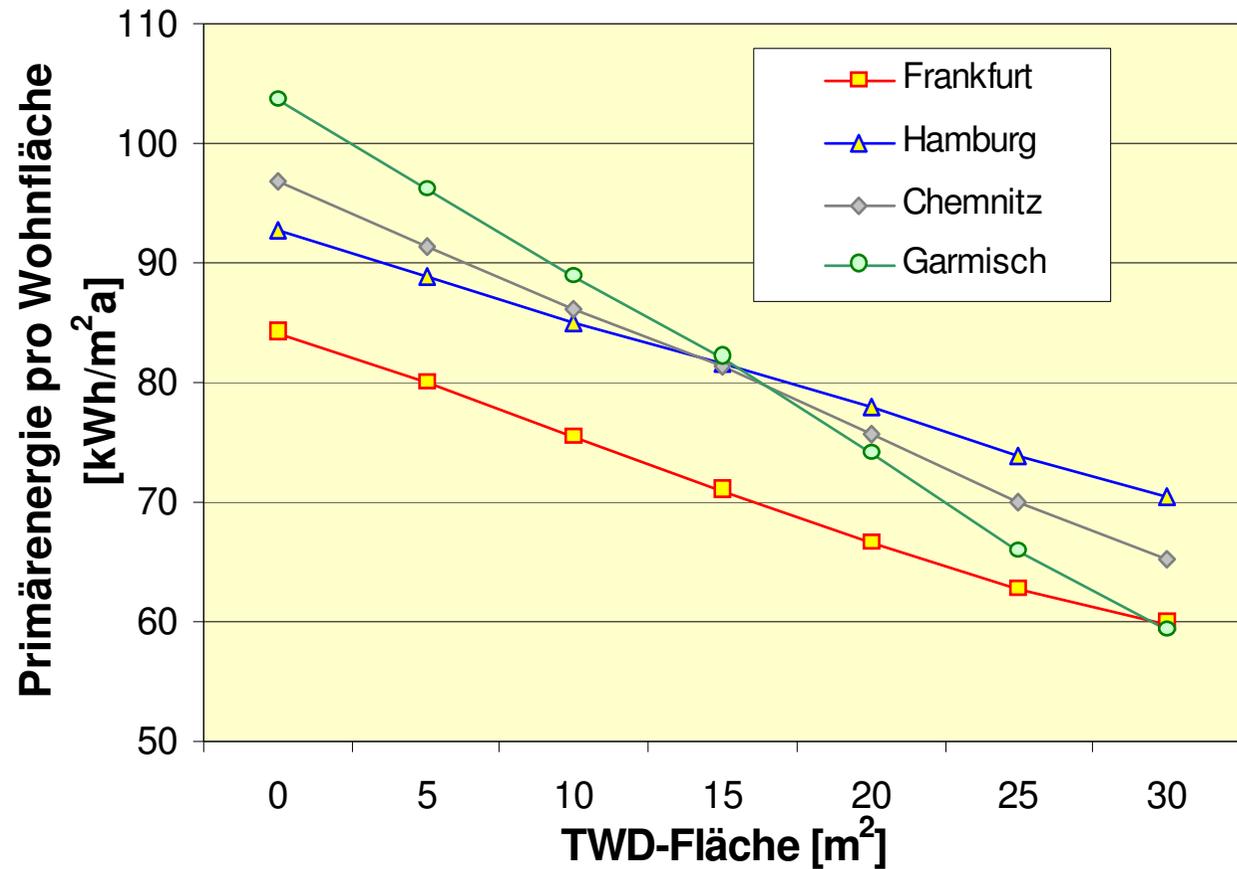
Berechnung RMH nach EnEV und standortabhängig



Reduzierung Heizenergie



Jährliche Brennstoffeinsparung



Sommerlicher Wärmeschutz

... das wird doch sowieso viel zu heiß!?

Sommerlicher Wärmeschutz

Einflussgrößen

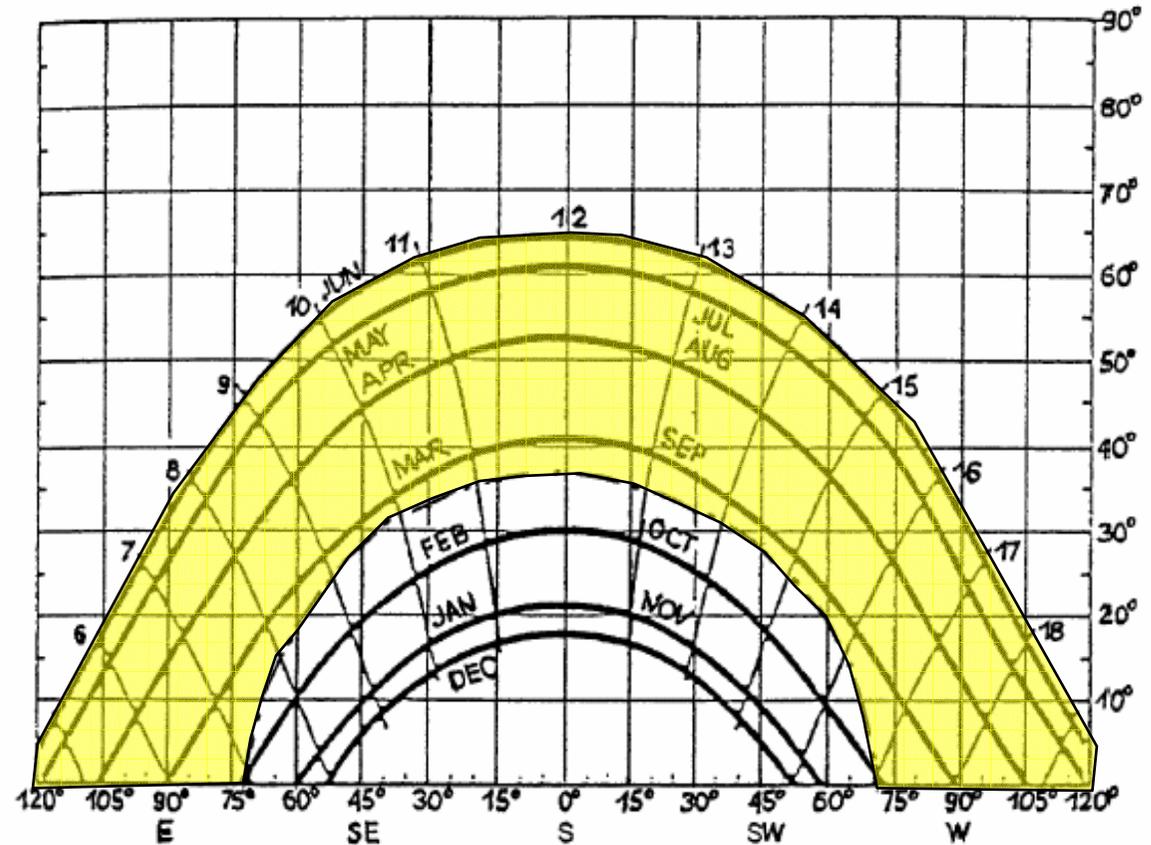
- Gebäudekategorie – Nutzerstandard
- Gebäudestandard – Wärmedämmung
- Interne Lasten
- Solare Gewinne durch Fenster
- Raumgröße / Lüftung

- Wirkungsgrad Solarwand
- Flächenbelegung Solarwand
- Phasenverschiebung
- Verschattungsvorrichtungen



Saisonaler Sonnenschutz

Für die gelb unterlegten Sonnenstände wird meist keine Heizenergie benötigt!



Saisonale Verschattung

Balkon und Überhänge

Prismenverglasung

Streckbleche, Stanzbleche

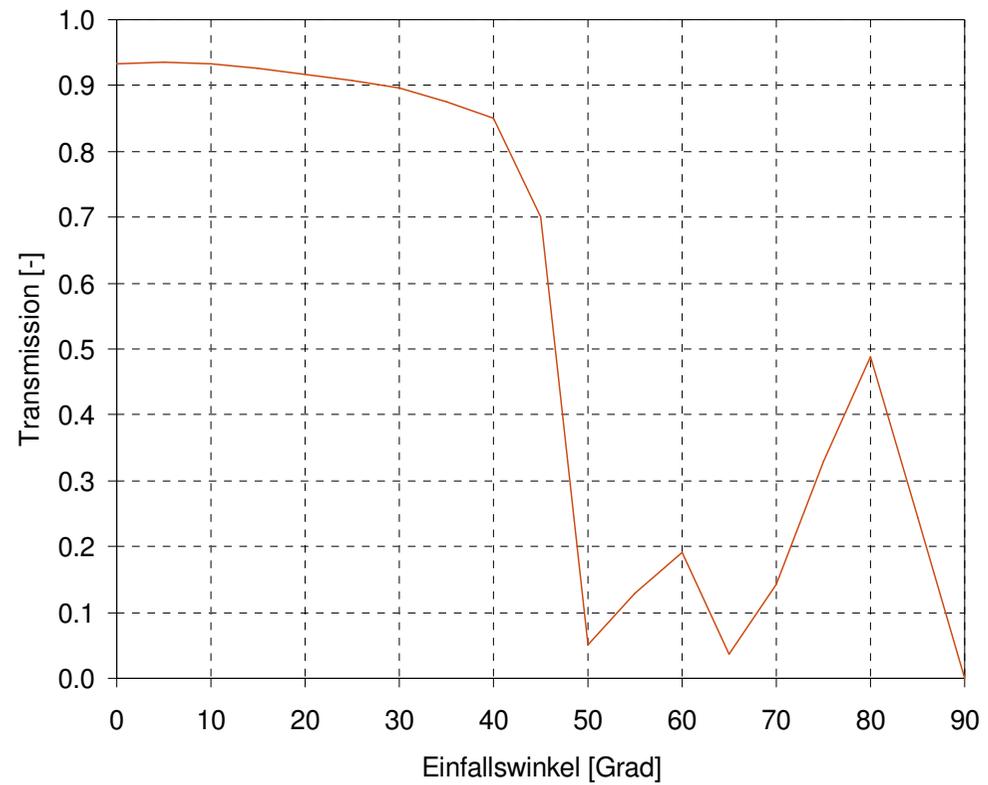
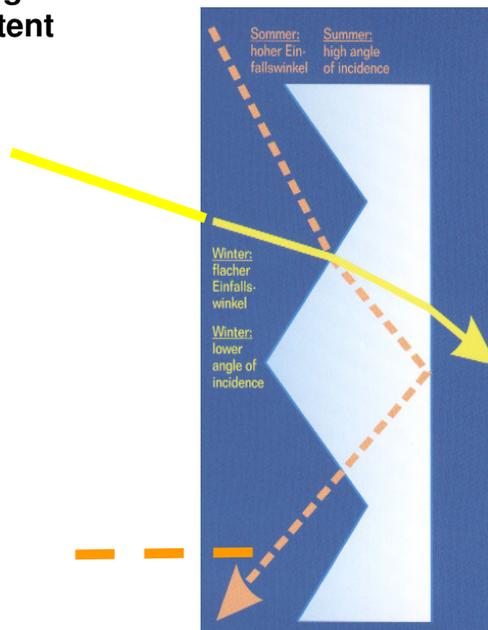
-> nur sinnvoll bei südorientierten
Fassaden!

Schnellwachsende Pflanzen (z.B.
Hopfen)

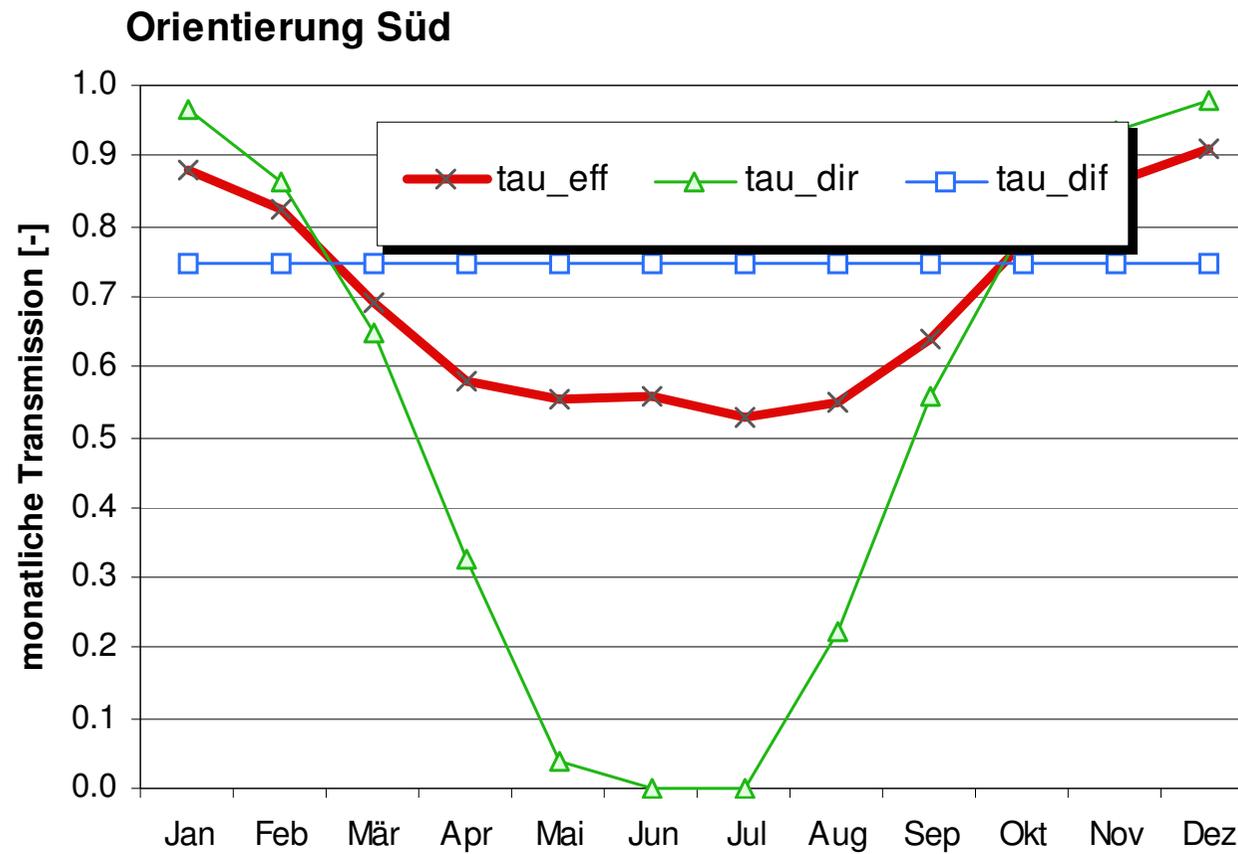


Asymmetrische Prismenstruktur

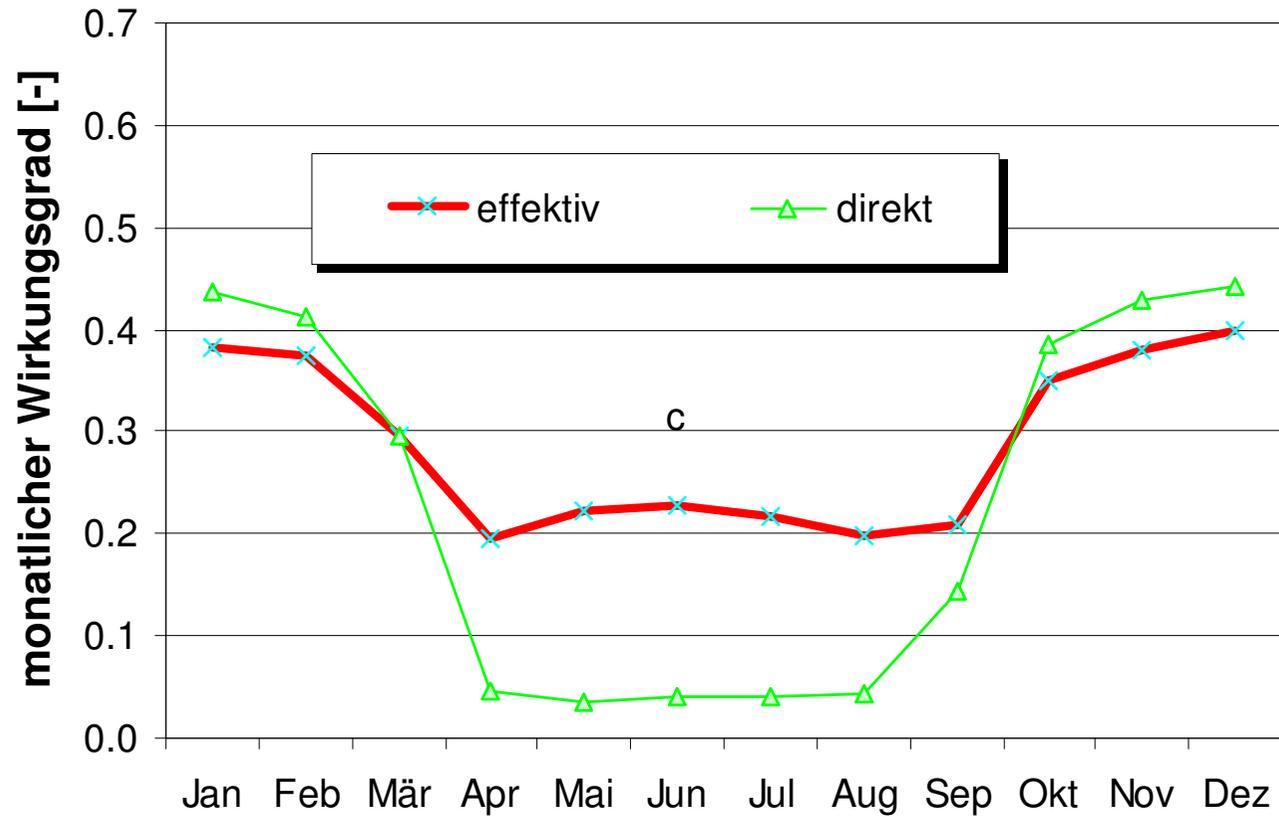
Prismen
außenliegend
ISFH-Patent



Verschattung durch Balkon



Saisonale Verschattung mit Prismen



Prismenglas Glasfabrik Lamberts



Prismenglas GlassX



Sommerlicher Wärmeschutz DIN 4108-2

- Norm bezieht sich nur auf transparente Bauteile, nicht auf die Solare Wandheizung!
- In der Planung sollte dennoch der Anteil der Solaren Wandheizung mit berücksichtigt werden, auch wenn dies baurechtlich nicht zwingend ist
- Tatsächliches Verhalten lässt sich am besten mit dynamischer Gebäudesimulation berechnen

Beispiel StoSolar auf Kalksandstein

- StoSolar 140mm $g_{\text{dif}}=0.40$, $R=1.13 \text{ m}^2\text{K/W}$
KSS240 240mm $R=0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Berechnung des effektiven g-Wertes (Wirkungsgrad) der Solarwand mit Exceltool „enev-fenster.xls“
 $g_{\text{eff}}=0.34$

Spezielle Abhängigkeit des g-Wertes von Sonnenstand
(niedriger Wert im Sommer!) ist NICHT berücksichtigt!

Beispielrechnung Fenster

Wohnraum, südorientiert

Fassade 5m x 6m

Fenstertür

2.0m x 2.3m

Fenster

3.0m x 1.5m

g_v (WSV)

0.62

Schwere Bauart, keine Nachtlüftung

$$S_{\max} = 0.14 / 0.18$$

Sonnenschutz: innenliegende Jalousien $F_c=0.75$

Maximaler g-Wert der Verglasung:

$$g_{\max} = 0.53 / 0.68$$



Beispielrechnung TWD allein

Wohnraum, südorientiert

Fassade 5m x 6m

TWD

2.0m x 5.0m

g_{eff}

0.34

Schwere Bauart, keine Nachtlüftung

$S_{\text{max}} = 0.18 / 0.22$

Sonnenschutz: **keiner(!)** $F_c = 1.00$

Maximaler g_{eff} -Wert der Solarwand:

$g_{\text{eff,max}} = \mathbf{0.46 / 0.56}$



Beispielrechnung Fenster+TWD

10m² TWD + 9m² Fenster

$S_{\max} = 0.14 / 0.18$ (KEINE erhöhte Nachtlüftung)

Sonnenschutz saisonal: $F_{C,SW}=0.50$ $F_{C,F}=0.50$

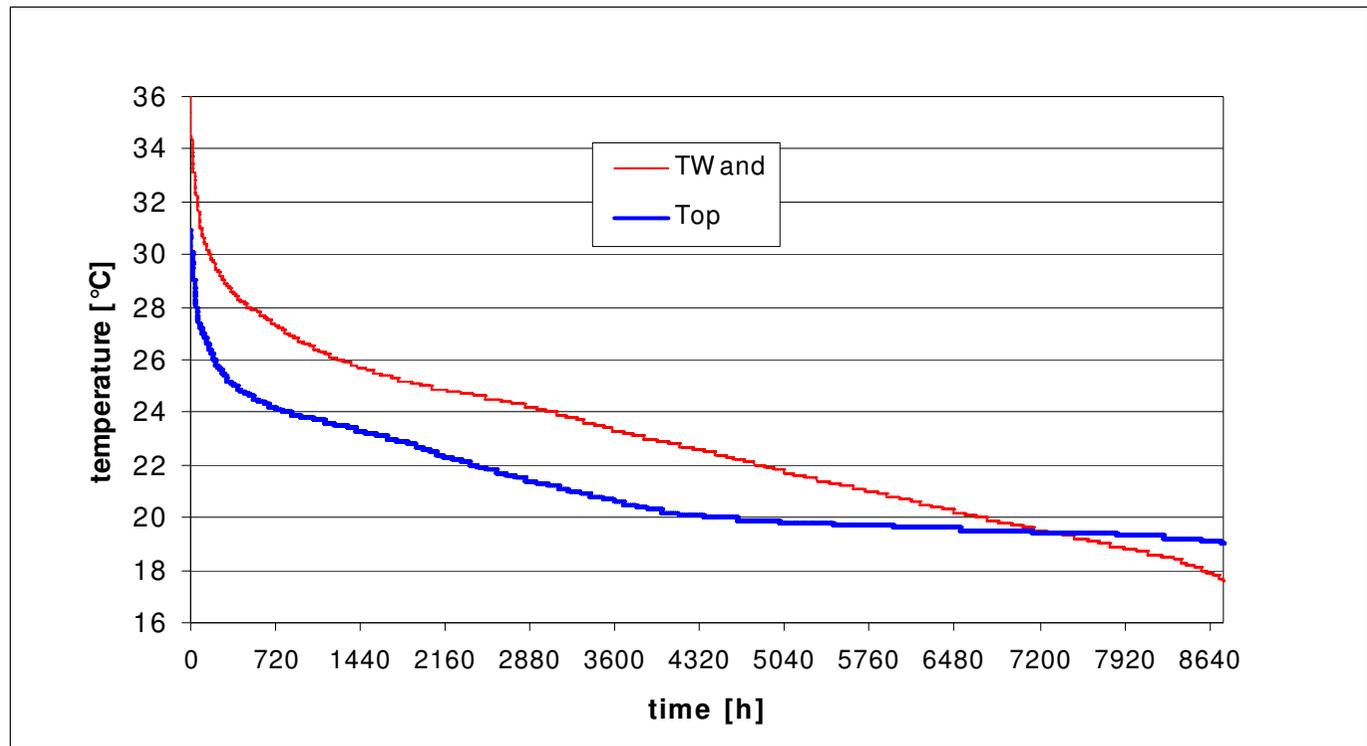
Maximaler g-Wert des Fensters:

$g_{\text{eff,max}} = 0.56 / 0.86$

Mit ausreichendem Dachüberstand für Fenster + Solarwand ist der sommerliche Wärmeschutz gewährleistet!



Jahresdauerkennlinie aus Simulation Balkon+Nachtlüftung



Vergleich DIN4108 Teil 2 mit Simulation

- TWD: Überhitzungsstunden aus der Simulation werden für gerade noch erlaubten Fall (TWD-Fläche) berechnet
- Klimazonen: Kassel, Freiburg
- Erlaubt sind etwa 250-450h über 26 °C (3-5%)
erlaubt sind etwa 50-230h über 28 °C (0.5-2.5%)
- Fall nur Fenster (Konstantlüftung) :
mehr als 700h über 26 °C, 360h über 28 °C!

=> Simulation zeigt, dass TWD weniger kritische Zustände produziert als Fenster!



Weitere Faktoren pro Solarwand

- Zeitverzögerung der Wärmewelle durch die Wand macht es wesentlich einfacher, die Wärme nachts wieder abzuführen
- Die Winkelabhängigkeit der TWD reduziert den Sonneneintrag stark bei hochstehender Sonne im Sommer (g_{eff} kleiner als berechnet)

$$g_{n,B}=0.59 \quad g_{h,B}=0.40 \Rightarrow \text{Sommerwert} \quad g_{\text{So}} = 0.35$$
$$\text{Wirkungsgrad} \quad g_{\text{eff}} = 0.31 < 0.34$$

Anwendung

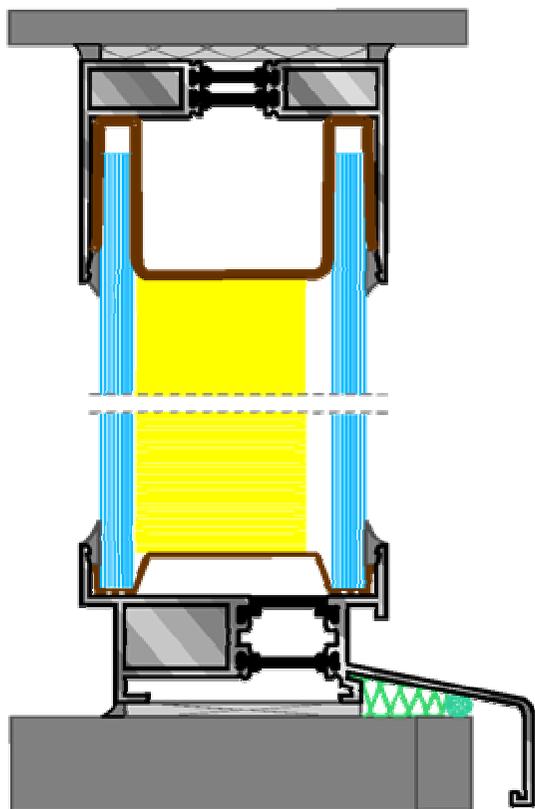
Architektur und
Wirtschaftlichkeit

Energetische Sanierung Gründerzeitvilla

- Wärmedämmung
- Solare Wandheizung
10cm StoSolar
- Verglasung
 $U_g = 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Solaranlagen
Brennwertkessel



Tageslicht und Arbeitssicherheit im Industriebau



**Saniertes Industriegebäude,
Salzgitter**



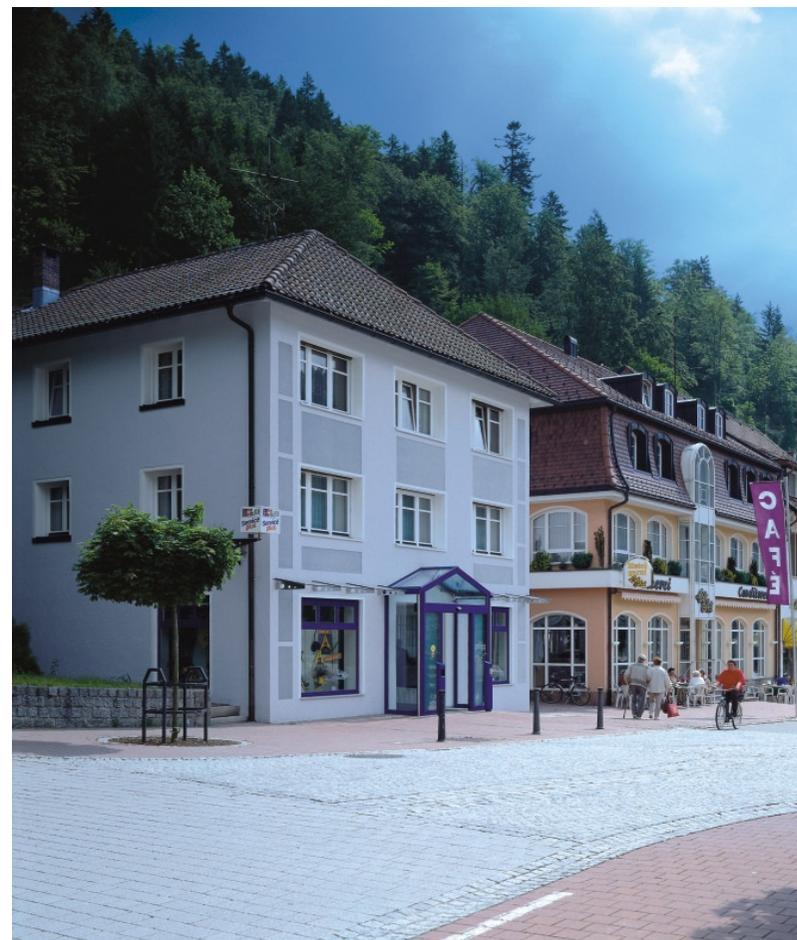
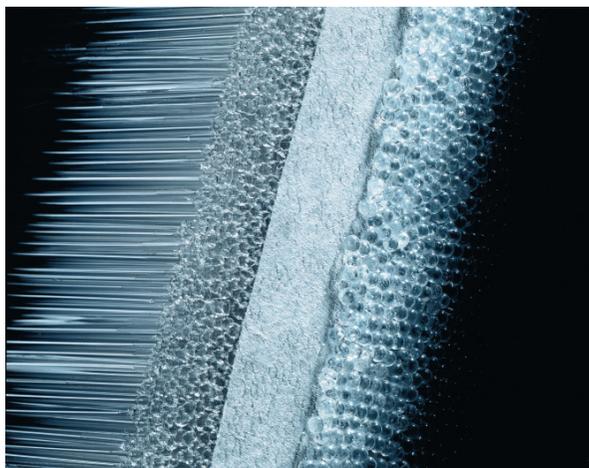
Passivhaus mit Holzelementbau und TWD

Architekt:
Dieter Schwarz,
Domat/Ems



Sanierung Volksbank St. Blasien

Transparentes WDVS
StoSolar



Niedrigenergiesiedlung Eulachhof/Winterthur

Architektur GlassX

136 Wohnungen

Minergie-P-Eco

**Heizenergie 13
kWh/m²a**



Bürgerhaus Döbeln – Transluzente Fassade

OkaluxVerglasung
zur Lichtstreuung



Supermarkt Souchaix - Frankreich

Nanogel und Profilglas
Murail Architecture



Wirtschaftlichkeit

... Geiz ist geil - aber auf die
Dauer teuer!



Wirtschaftlichkeit Umweltwand

Aufwand

<

Nutzen

Investitionsmehrkosten

Energieminderkosten

Betriebskosten

Marktpreis Niedrigstenergiehäuser

Instandhaltung, Wartung

Vermiedene Umweltschäden, CO₂-
Reduzierung

Wartungskosten

Imagegewinn

Gestaltung

Unabhängigkeit



Wirtschaftlichkeit - Teil1



Sanierung
Berlin/Emrichstraße

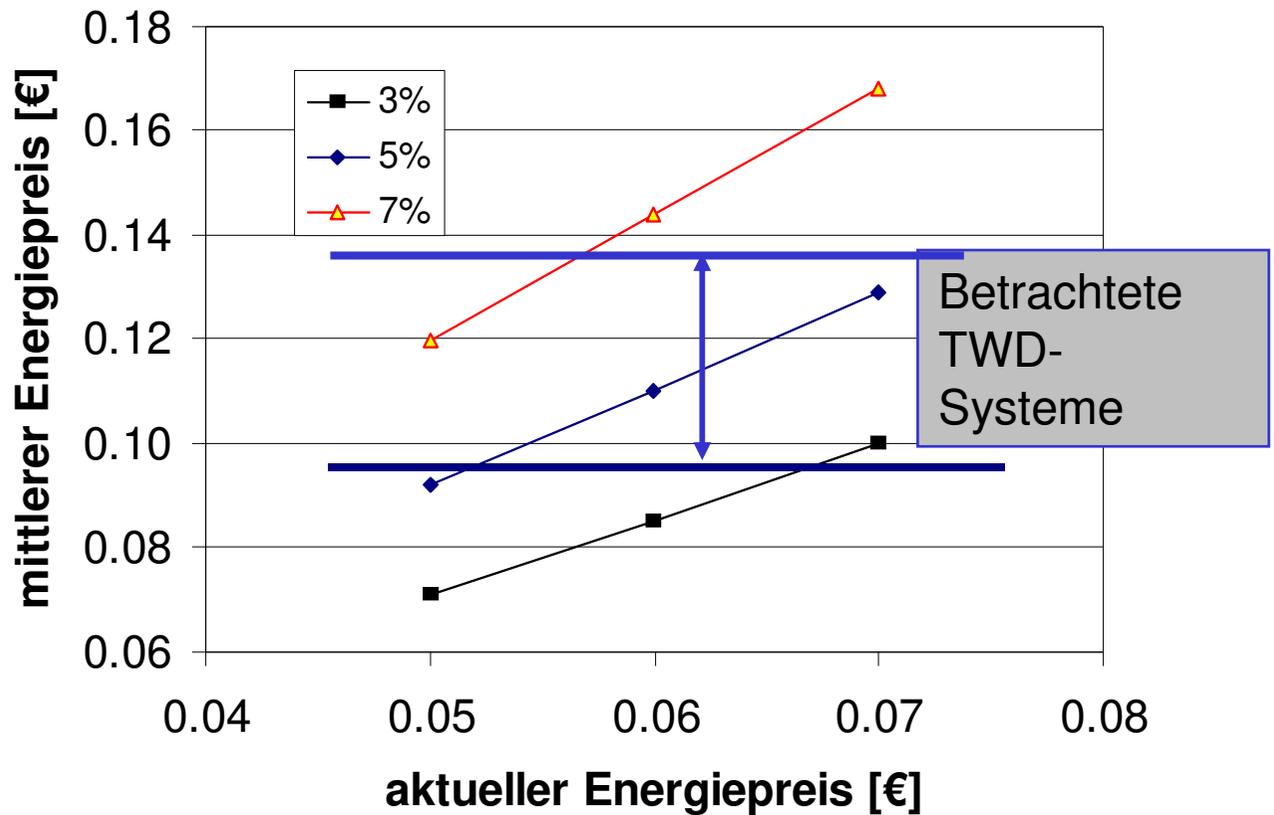


Sanierung Berlin/Emrichstraße

System	Energieeinsparung [kWh/m ² a]	Energiekosten einsparung [€/m ² a]	Abgerechn. Kosten [€/m ²]	Stat. Amortisat. [a]
Wärmedämmung WDVS 14cm	80	4,00	62	15
TWD Sto Solar 14cm	144	7,20	230	31
TWD Hinterlüftetes System	107	5,35	460	83
Flachkollektoren Buderus	319	15,95	1050	63
Vakuumkollektoren Paradigma CPC14	415	20,75	1630	75



Energiepreissteigerung und mittlere Brennstoffkosten



Wirtschaftlichkeit - Teil 3

Solarhaus Gundelfingen



TWD-Fläche
25 m² brutto
21 m² netto

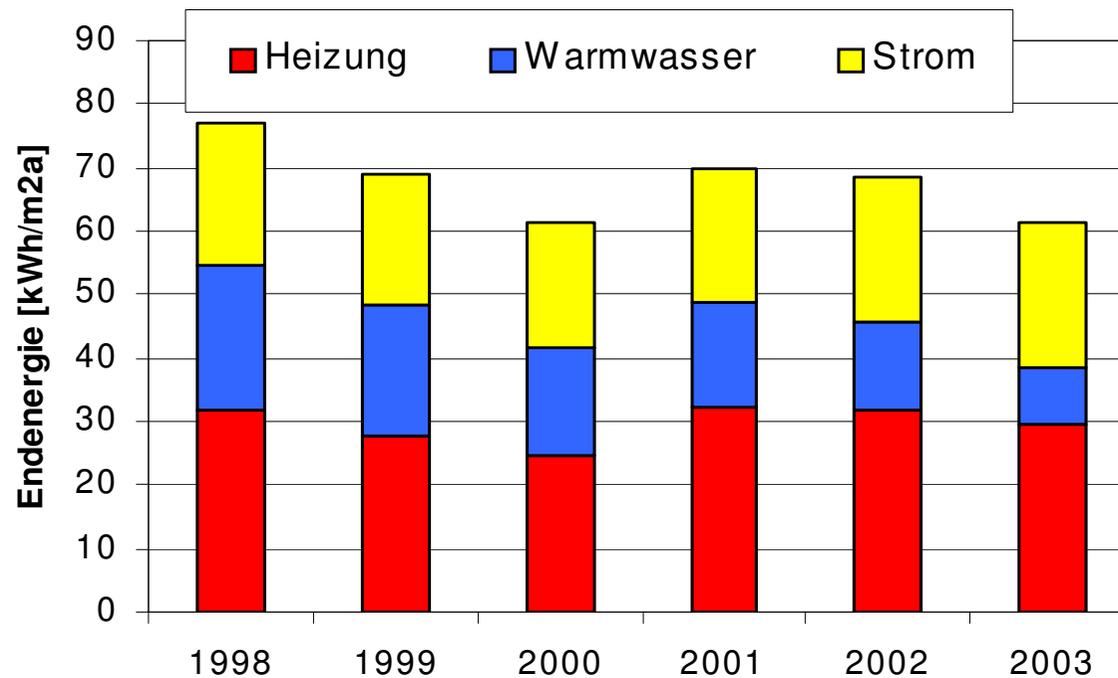


Energieverbrauch Heizung

WSVO 95
Ausweis

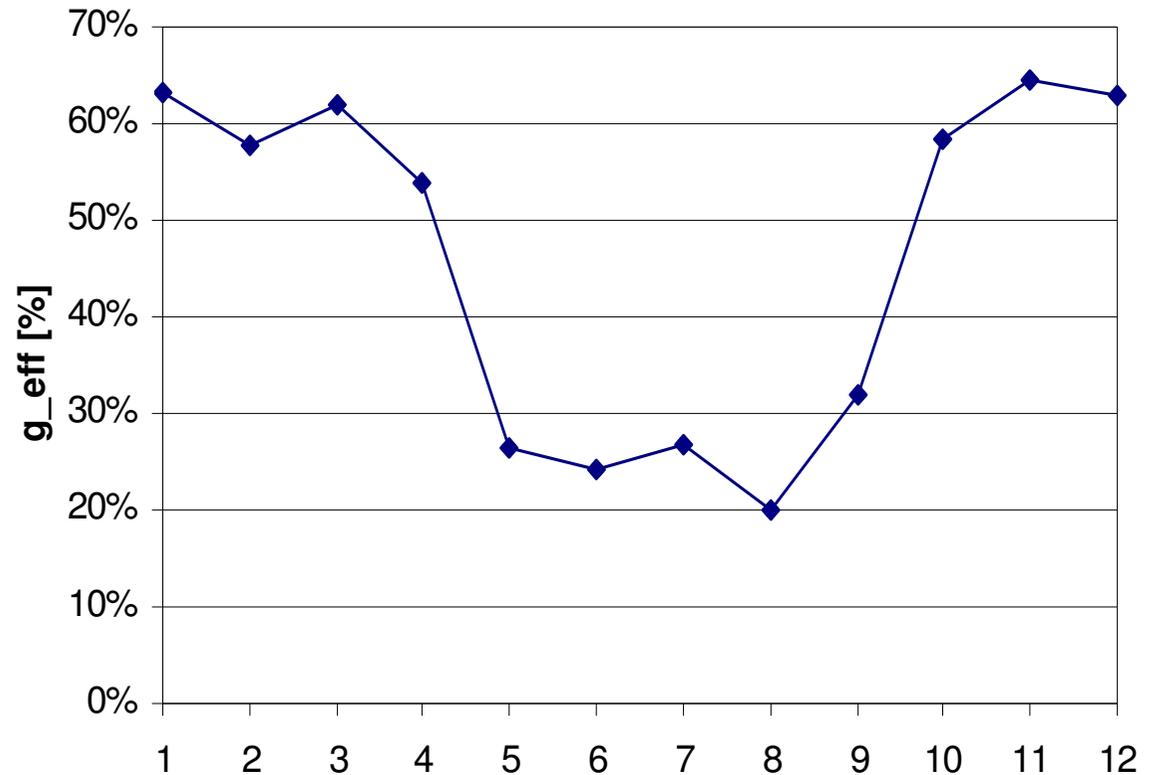
Q_H 52 kWh/m²a (ohne TWD-Gewinne)

Verbrauchswerte
gemessen über
11 Jahre
=> 40%
Einsparung !



Gemessene Energietransmission

Verschattung
durch 1.1m
breiten Balkon
funktioniert!



Kosten der TWD (Kosten 1997)

Material	TWD	780 €
	Glas	780 €
	Kleber	650 €
	Aluprofile	800 €
	Holz, Sonstiges	
Arbeit Eigenleistung	Summe	4000 €
	entspricht	160 €/m ²
Wärmedämmung	13200 € entspricht	130 €/m ²

Wirtschaftlichkeit – Teil4

Altbau MFH-Sanierung

Rang		Ökomaßnahme	Amortisationszeit (Jahre)	Lebensdauer (Jahre)	Äquivalenter Energiepreis (Eurocent / kWh)
1	M2	Holzpellet-Kessel für besteh. Zentralheizung,	5..... 55	20	Nicht sinnvoll, da Energiemehrverbr.
2	M6	TWD an Fassade Einfachsystem	19... 24 ...32	40	2,8 Ct/kWh
3	M7	TWD an Fassade Mittlerer Aufwand	23... 28 ...39	40	3,4 Ct/kWh
4	M1	WDVS auf 30 cm erhöhen	23... 28 ...39	40	3,4 Ct/kWh
5	M8	TWD an Fassade hocheffektiv	24... 30 ...kA	40	3,8 Ct/kWh
6	M3	Kollektoren zur Heizungsunterstützung	22... 27 ...kA	30	5,0 Ct/kWh
7	M4	Lüftungsanlage mit WRG	22... 28 ...kA	30	5,2 Ct/kWh

Amortisationszeitangaben für optimistische, **mittlere** und pessimistische Entwicklung

Quelle: Vergleichende Studie Kerschberger/Binder, 2006



Fazit

- Die solare Umweltwand ist mehr als Wärmedämmung, sie ist ein Kollektorsystem zur Reduktion des Heizenergiebedarfs
- Deutliche Einsparungen bei vertretbaren Kosten
- Handwerkliche Lösungen / Eigenbau sind möglich -> Info 7 mit Ratschlägen zur Verlegung
- Guter sommerlicher Komfort bei vernünftiger Auslegung – Nachtlüftung und saisonaler Sonnenschutz unterstützen Komfort

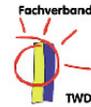
Infos

Gefördert durch das:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

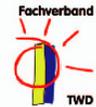
Energiebilanz verbessern, Produktivität erhöhen Einsatzbeispiele und Investitionsvergleich



Eine Information des Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.



Solarenergie nutzen: Tageslichtsysteme und Solare
Umweltwand im Gewerbe-, Objekt- und Mietwohnungsbau



Die Solare Umweltwand Sonnenlicht und Wärme nutzen

Eine Information des Fachverband Transparente Wärmedämmung



Fassadensysteme
mit Sonnentank und Lichtgewinn

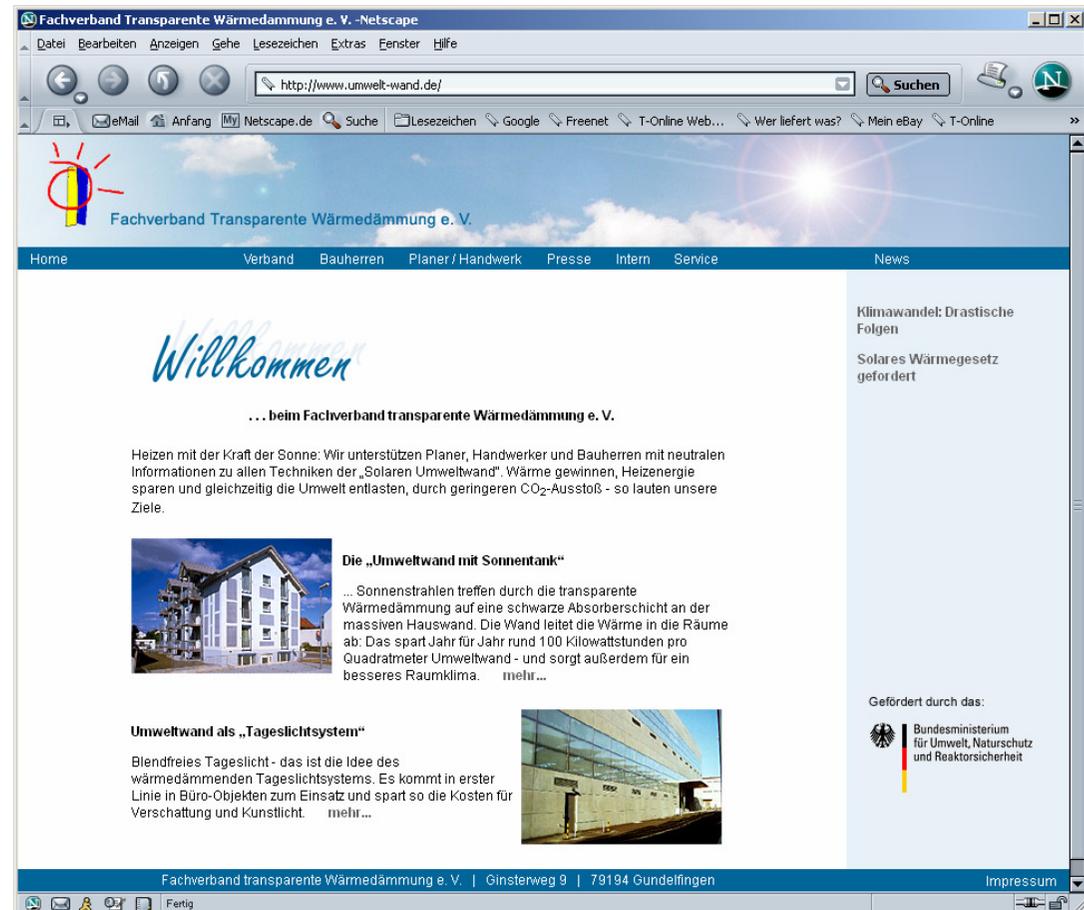


Fraunhofer
Institut
Solare Energiesysteme

Mehr Informationen ?

Viele Infos
Im Bereich Service/Download

www.umwelt-wand.de



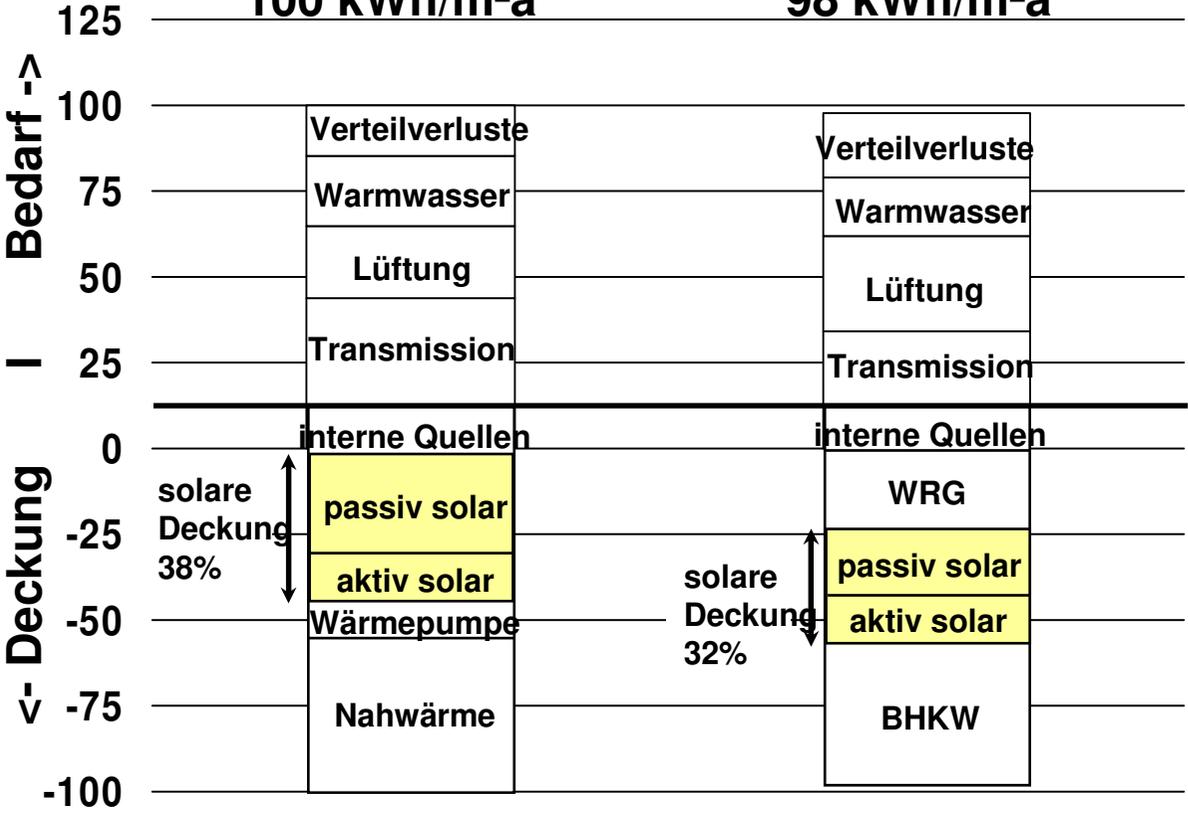
Solarhaus Gundelfingen

Daten zum Gebäude

Wärmebilanzen



Solarhaus Gundelfingen **100 kWh/m²a** Passivhaus Vauban **98 kWh/m²a**



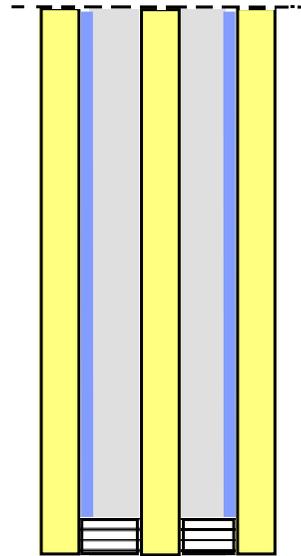
Mehrfamilienhaus Gundelfingen



Architekt: D. Hölken,
Vörstetten



Mehrfamilienhaus Gundelfingen

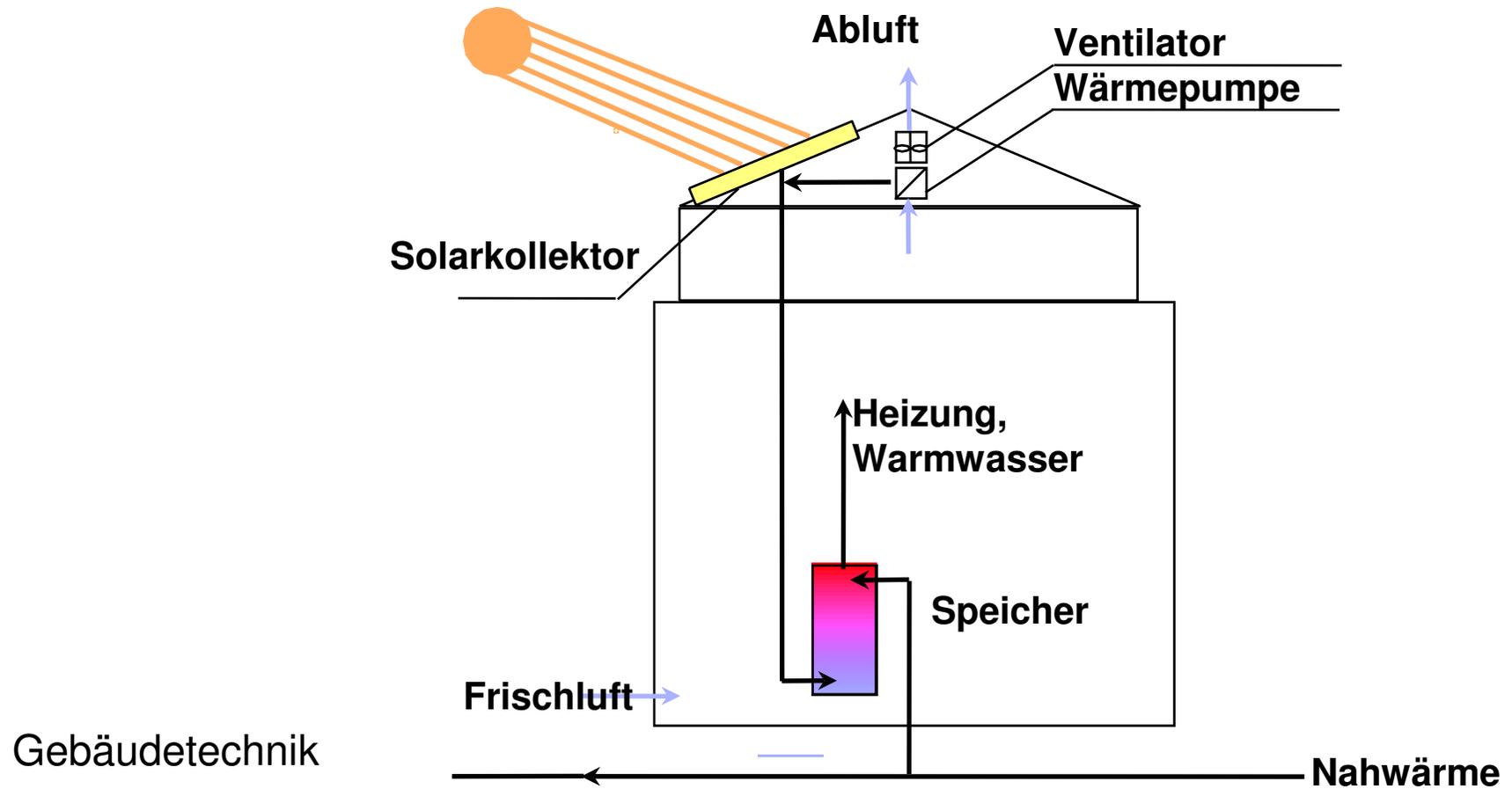


**Energieeffiziente
Verglasung**

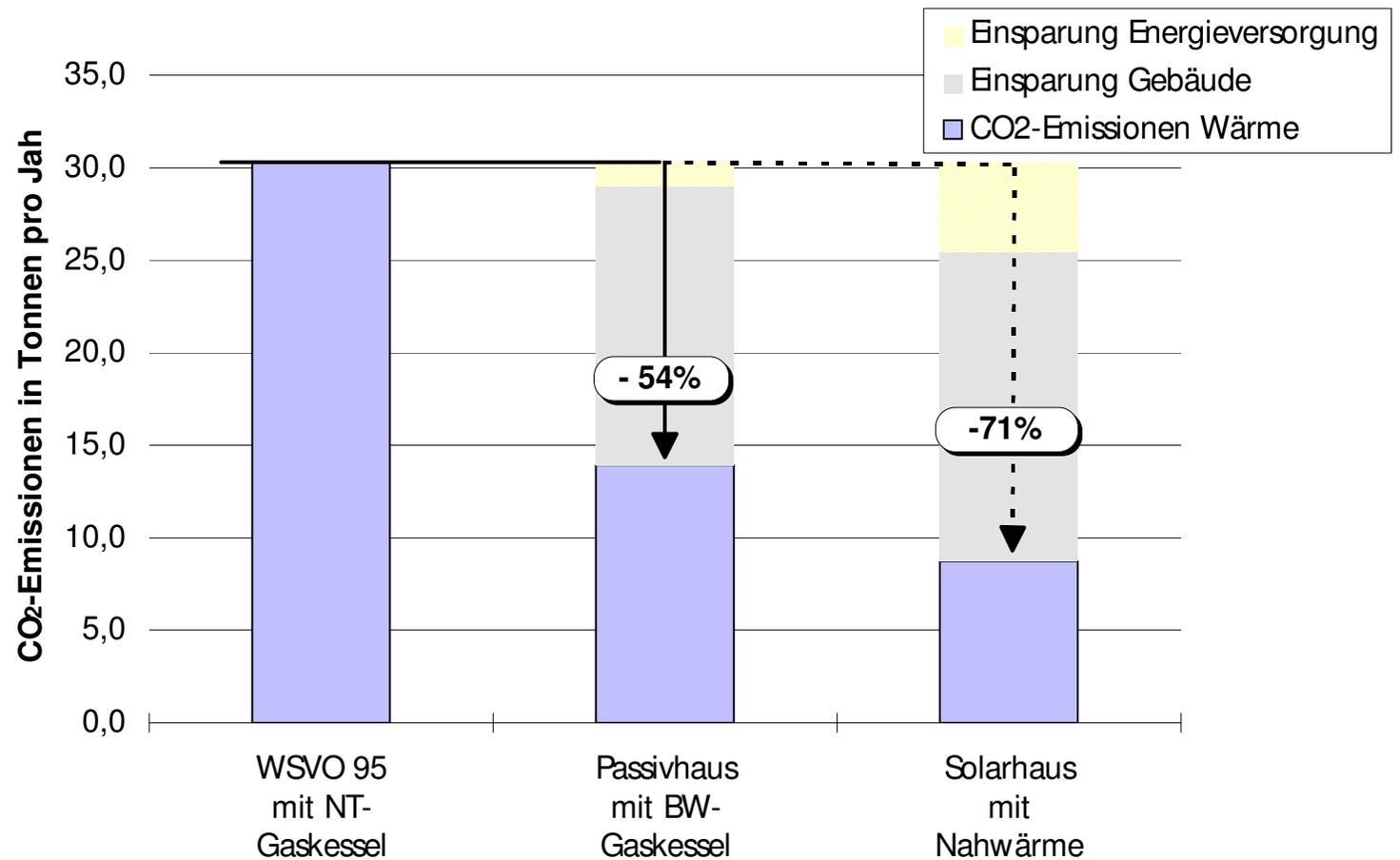


**Transparente
Wärmedämmung**

Mehrfamilienhaus Gundelfingen



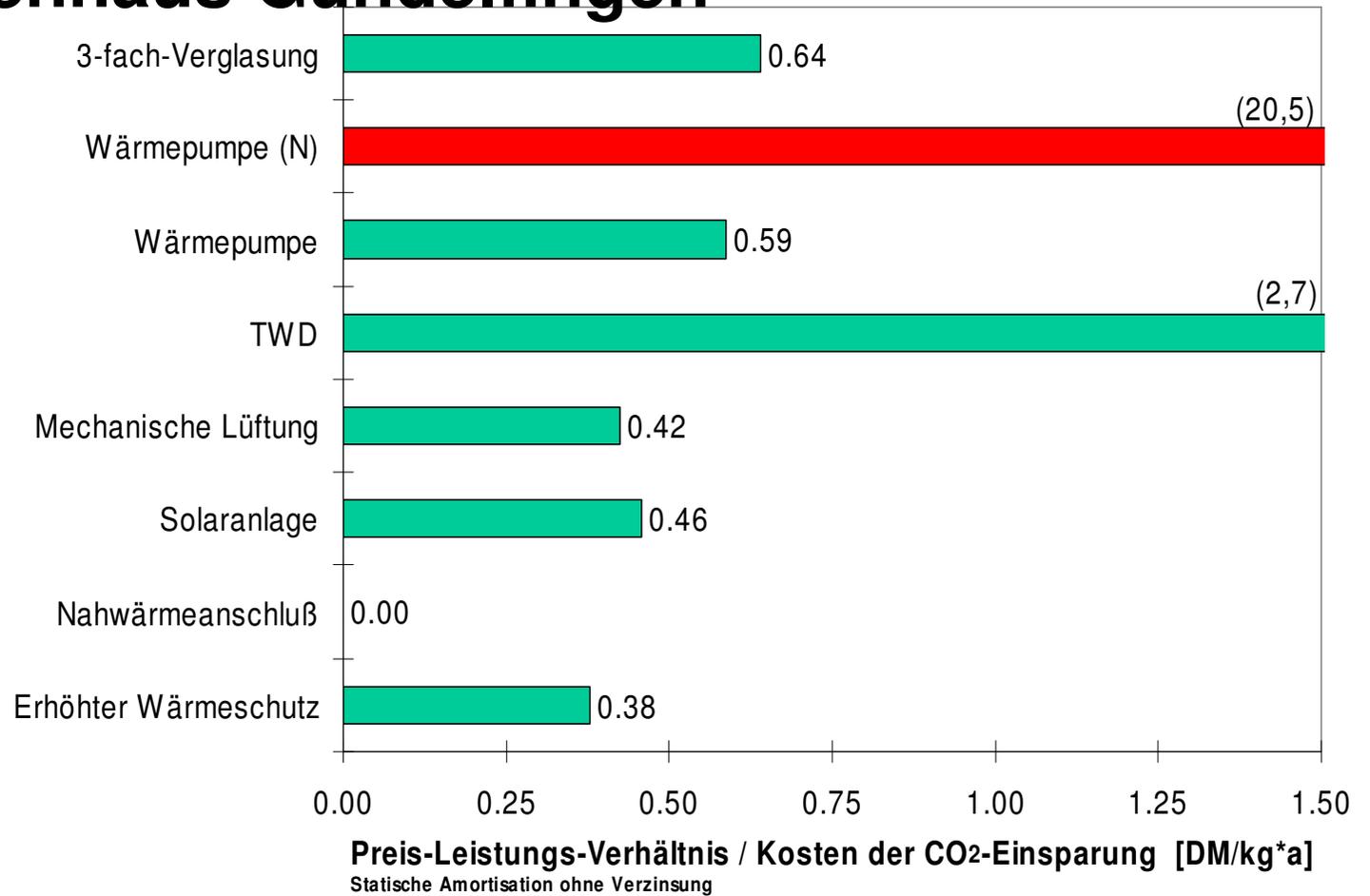
Mehrfamilienhaus Gundelfingen



CO₂-Emissions



Mehrfamilienhaus Gundelfingen



Preis-Leistungs-
Verhältnis



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit !**