

Studie über den Einfluss der solaren Erträge über die Außenwände auf den Energiehaushalt eines Wohngebäudes

verfasst von
Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann
Ingenieurbüro DIMaGB, Berlin

Berlin im April 2009
redigiert 16.07.2009, danke, Horst

„Manche Menschen würden eher
sterben als nachdenken.“
Bertrand Russell

1 Vorwort

Solare Gewinne bedeuten, man gewinnt Energie von der Sonne, die mildernd in die Energiebilanz einfließt. Solare Gewinne in Wohngebäuden bedeuten, man gewinnt Energie von der Sonne über die Fenster. Geschieht dies während der Heizperiode, ist weniger Energie für die Heizwärme aufzuwenden.

Fenster sind transparente Bauteile, sie lassen Licht hindurch. Licht ist der sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums, den der Mensch zum sehen nutzt, indem seine Rezeptoren im Auge auf eben diese Frequenzen reagieren (VIS = visible = ca. 380 bis 780 nm). Die anderen Frequenzen sind für den Menschen unsichtbar: UV Strahlung, IR Strahlung usw.

Die Sonne strahlt kurzwellige Strahlung ab, die durch die Fensterscheiben nach innen gelangt und den Raum erwärmt. Angestrahlte Gegenstände absorbieren diese kurzwellige Strahlung, sie werden wärmer und geben langwellige Strahlung ab, die Wärmestrahlung (MIR = mittleres Infrarot = ca. 3...50 μm). Es wird wärmer im Raum und somit muss weniger geheizt werden.

Die Energiemenge, welche auf diesem Wege gewonnen wird, lässt sich berechnen: $\Phi_S = I \cdot A_S$, wobei I die Strahlungsintensität der solaren Einstrahlung ist und A_S die effektive Kollektorfläche. Einflussfaktoren sind Verschattung, Sonnenschutzvorrichtungen, der Rahmenanteil und der g-Wert als Durchlassgrad in Abhängigkeit von der Verglasung.

Opake Bauteile sind nicht transparente Bauteile wie z.B. die Außenwand. Solare Gewinne bedeuten hier, man gewinnt Energie von der Sonne, die jedoch für die Energiebilanz des Gebäudes keine Rolle spielt – zumindest, wenn man der Propaganda sowie den Berechnungsverfahren nach Norm bzw. EnEV Glauben schenkt.

"Wenn solare Gewinne und langwellige Abstrahlung der Bauteile berechnet werden soll, so ist diese Option zu aktivieren. Der Einfluss ist in der Regel gering, genaue Angaben zu den Oberflächen der Bauteile liegen oft nicht vor." weiß z.B. ein Softwarehersteller zu berichten. ¹ Das ist nur ein Beispiel von zahllosen dafür, dass die Auffassung, dass die solaren Gewinne über opake Bauteile keine Rolle spielen sollen, ungeprüft übernommen wird.

Es gibt eine Reihe von Fachleuten, die diese Auffassung für falsch und nicht wissenschaftlich belegt halten. Es gibt auch genügend Hinweise in der Literatur, die diese Lehrmeinung anhand jahrzehntelanger praktischer Erfahrungen in Frage stellen. Der Artikel befasst sich sowohl mit den Berechnungsverfahren nach Norm als auch mit alternativen Betrachtungen zum Thema und folgt damit Bestehendem. ²

Der Artikel vermittelt ein umfangreiches Grundlagenwissen, er enthält zahlreiche Quellen- und Literaturangaben, Formeln und Abbildungen. Die Komplexität und Tiefe der Behandlung dieses speziellen Themas stellt in dieser Form ein Novum dar.

Danksagung

Der Autor dankt den Herren Prof. em. Dr.-Ing. Paul-Michael Weinspach, Dipl.-Ing. Peter Rauch, UBI, Ingenieurbüro für Arbeitsgestaltung und Baubiologie, Leipzig, und Dipl.-Ing. Niels Christiansen, öbuv SV, Bau-Sachverständigenbüro, Itzehoe, für ihre freundliche Unterstützung durch Lektorat, Materialzusendung und Gedankenaustausch.

Berlin, im April 2009

2 Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	2
2	Inhaltsverzeichnis.....	3
3	Berechnung nach Norm.....	4
3.1	DIN 4108 / DIN EN ISO 6946.....	4
3.2	Ein Berechnungsbeispiel.....	6
4	Methodische und logische Fehler.....	8
4.1	Fehler #1: Mehrfachverwendung von Einflussgrößen.....	8
4.2	Fehler #2: Verwendung irrelevanter bzw. imaginärer Einflussgrößen.....	10
4.3	Fehler #3: Stationäre Modellbildung für dynamische Prozesse.....	10
4.4	Fehler #4: Modellbildung unter Missachtung der Thermodynamik.....	14
4.5	Fehler #5: Weitere Ungereimtheiten.....	16
5	Empirik versus Hermeneutik.....	17
5.1	Erste Hälfte des 20. Jahrhunderts.....	17
5.2	EMPA 1992.....	18
5.3	AMz 1997.....	18
5.4	Donau Universität Krems 2000.....	20
5.5	Fraunhofer IBP, 2000.....	21
5.6	IB Rauch, 2001.....	22
5.7	IB Rauch, 2002.....	23
6	Grundlagen, Lösungsansätze.....	25
6.1	Korrekturen in den Normen?.....	25
6.2	Physik vs. „Bauphysik“.....	26
6.3	Datenbasis: das Sonnenangebot.....	28
6.4	Berechnungen außerhalb der DIN: Ueff.....	38
6.5	Modellbildung der besonnten Wand.....	41
6.5.1	Randbedingungen.....	43
6.5.2	Betrachtung von Zeitintervallen.....	43
6.6	Instationärer Wärmeschutz.....	47
6.7	Bekanntes Formelwerk.....	51
7	Zusammenfassung.....	54
8	Verzeichnisse.....	54
8.1	Abbildungsverzeichnis.....	54
8.2	Formelverzeichnis.....	56
8.3	Tabellenverzeichnis.....	56
8.4	Referenzen, Literatur.....	57

3 Berechnung nach Norm

3.1 DIN 4108 / DIN EN ISO 6946

Geht es um Energieeinsparung im Gebäude, verlangt der Gesetzgeber, dass sich die Planer und Energieberater an die EnEV halten.³

Hier findet sich in Fußnote 1) zu Tabelle 1 in Anlage 3 der Hinweis: "... für die Berechnung opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946 : 1996-11 zu verwenden."⁴ Diese DIN EN ISO 6946 behandelt dem Namen nach die Berechnungsverfahren für den Wärmedurchlasswiderstand und den Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils.⁵ Warum der Gesetzgeber die alte Fassung aus November 1996 der neueren aus Oktober 2003 vorzieht, ist dem Autor unbekannt.

An dieser Stelle erscheint es erforderlich, kurz auf die zwei Begriffe oben einzugehen. Der Wärmedurchlasswiderstand ist das Maß des Widerstandes gegen die Wärmedurchlässigkeit eines bestimmten Materials. Die Verhältnismäßigkeit zwischen Materialdicke und Wärmeleitfähigkeit erklärt hierbei den Wärmedurchlasswiderstand.

$$R = \lambda / d$$

Formel 1: Wärmedurchlasswiderstand als Reziprok (Kehrwert) des Wärmedurchlasskoeffizienten

Inzwischen größter Bekanntheit erfreut sich der U-Wert. Man wird wohl kaum jemanden antreffen, der ihn nicht kennt, selbst wenn sich ihm der Gehalt nicht erschließt. Zudem ist es ebenso ein trauriger Erfolg beständiger Propaganda, dass der U-Wert als der energetische Kennwert angesehen wird.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}}$$

Formel 2: Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils als Reziprok (Kehrwert) des Wärmedurchgangswiderstandes

Dabei sind R_{se} der äußere Wärmeübergangswiderstand in $(K \cdot m^2)/W$, R_{si} der innere Wärmeübergangswiderstand in $(K \cdot m^2)/W$, d_1 die Schichtdicke der ersten Schicht in m, λ_1 die spezifische Wärmeleitfähigkeit der ersten Schicht in $W/(K \cdot m)$, 2 steht als Index für die 2. Schicht usw. Der U-Wert ist der Kehrwert vom Wärmedurchgangswiderstand, der Wärmedurchgangswiderstand = Wärmedurchlasswiderstände + Wärmeübergangswiderstände.

Da sich dieser Artikel an einen weiter gefächerten Empfängerkreis richtet, wird es nicht ausbleiben, dass Verständnisdefizite auftreten. Die Begriffsvielfalt aus der wunderbaren Welt der Bauphysik mag beeindruckend erscheinen, jedoch ist z.B. mit der „Bauphysik für jedermann“ eine verständliche Hilfe angeboten worden.⁶

Auffällig sind die entscheidenden Stoffwerte d und λ , die lediglich Vorgänge der Wärmeleitung behandeln. Verständlich ist: je dicker das Bauteil, um so größer der Wärmedurchlasswiderstand – oder: je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, um so größer der Wärmedurchlasswiderstand. Das hat mit Strahlung nichts zu tun, denn Strahlungsvorgänge finden an der Oberfläche statt.

Nach dieser unumgänglichen Betrachtung der Grundlagen befassen wir uns nun mit der Berechnung solarer Warmegewinne. Die EnEV verweist auf die DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“. Mit der Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs befasst sich die DIN V 4108-6.⁷

Am „V“ zwischen DIN und 4108 wird deutlich, dass es sich um keine Norm handelt, sondern um eine Vornorm.⁸ Dass diese Nuance durchaus eine Rolle spielt, verdeutlicht ein Online-Artikel.⁹ Denn ein

weiterer Grundpfeiler der normierten Berechnungsmethoden, die wärme- und feuchteschutztechnischen Bemessungswerte, unterliegt solchen Vorbehalten.¹⁰

Bei der Betrachtung solarer Gewinne opaker Bauteile ist es nutzbringend, eine Angrenzung auf das Bauteil Außenwand vorzunehmen. Angesichts der großen Bestände im Wohnungsbau soll dies zudem die monolithischen, geputzten, ungedämmten Außenwände betreffen. Gegenstand der Betrachtung ist die Formel in DIN V 4108-6, welche auf DIN EN 832 verweist.¹¹

$$Q_{S,op} = U \cdot A_j \cdot R_e (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_\tau \cdot \Delta\theta_{er}) \cdot t$$

Formel 3: Formel (60) aus DIN V 4108-6 zur Berechnung des Wärmegewinns infolge Absorption auf opake Bauteile

$Q_{S,op}$

ist das Formelzeichen für die Wärmemenge. S steht für solar und op für opak.

U

ist der U-Wert, der in Formel 2 beschriebene Wärmedurchgangskoeffizient. An dieser Stelle wird sich mancher wundern, was die maßgebliche Kenngröße für die Transmission (Wärmeleitung) in der Formel für Strahlungsvorgänge zu suchen hat. Dass die Wärmeleitfähigkeit eine beeinflussende Größe darstellt, liegt nahe. Eine gute Wärmeleitfähigkeit bedeutet zwar ein schlechtes Dämmvermögen, jedoch gleichzeitig eine gute Weiterleitung solarer Gewinne ins Wandinnere.

A_j

ist die von der Sonne beschienene Fläche, j ist der Index für die Orientierung: O, SO, S, SW, W ...

R_e

ist der äußere Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils. In diesem Fall ist $R_e = R_{se}$. Diesen Term kennen wir bereits aus der U-Wert-Formel (2) weiter oben.

t

ist die Zeit, genauer gesagt die Dauer des Berechnungszeitraumes.

$(\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_\tau \cdot \Delta\theta_{er})$

ist der Strahlungsanteil netto, das heißt die Differenz aus solarer Zu- und langwelliger Abstrahlung. Er soll später noch genauer erläutert werden. Nennen wir ihn „Str“ für Strahlungsgewinn.

Zum besseren Verständnis lässt sich die Formel umstellen:

$$Q_{S,op} = U \cdot A_j \cdot R_e \cdot t \cdot (\text{Str})$$

Formel 4: Formel 3, leicht modifiziert

So liest sich die Formel leichter. Der Wärmegewinn infolge Absorption auf opake Bauteile ist das Produkt aus dem Strahlungsgewinn, multipliziert mit der Zeit und der Fläche und unter Einbeziehung von Widerständen an der Oberfläche.

Um einen möglichst hohen Wärmegewinn infolge Absorption auf das opake Bauteil Außenwand zu erzielen, gibt es mehrere Zielgrößen:

- eine große beschienene Fläche
- eine lange Zeit der Bestrahlung (Sonnenscheindauer)

- ein hoher U-Wert, der schlechtes Dämmvermögen bedeutet
- ein hoher Wert des äußeren Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils R_{se}

Betrachten wir nun den Strahlungsanteil.

$$\text{Str} = (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_\tau \cdot \Delta\theta_{er})$$

Formel 5: Beschreibung des Strahlungsanteils Str aus Formel 4

$$\alpha \cdot I_s$$

ist die Zustrahlung. α ist der Absorptionsgrad für die solare Strahlung, das ist der energieintensive Anteil aus dem zugestrahlten Spektrum. I_s ist die Strahlungsintensität. Im Kapitel „das Sonnenangebot“ wird hierauf genauer eingegangen. Nachvollziehbar ist, dass die Strahlungsintensität von der Jahreszeit und von der Neigung des Bauteils (Wand: 90°, Dach z.B. 45°) abhängt.

Um einen möglichst hohen Wärmegewinn infolge Absorption auf das opake Bauteil Außenwand zu erzielen, gibt es mehrere Zielgrößen:

- einen hohen Absorptionsgrad (nach Norm für mineralische Oberflächen 0,9)
- eine hohe Strahlungsintensität

$$F_f \cdot h_\tau \cdot \Delta\theta_{er}$$

ist die Abstrahlung. F_f ist ein so genannter Formfaktor, für die senkrechte Wand beträgt er 0,5. Zum Vergleich: für waagerechte Flächen beträgt er 1,0. Hierdurch wird berücksichtigt, dass sich jeder Körper im Strahlungsaustausch befindet und dass dabei die Ausrichtung auf bestimmte Raumsegmente eine Rolle spielt (einfach ausgedrückt: mehr zum freien Himmel hin oder mehr zur Umgebung einschl. Erdboden hin).

$\Delta\theta_{er}$ ist die mittlere Differenz zwischen der Temperatur der Umgebungsluft und der scheinbaren Temperatur des Himmels. Vereinfachend kann $\Delta\theta_{er} = 10 \text{ K}$ angenommen werden. h_τ ist der so genannte äußere Abstrahlungskoeffizient. Er kann in erster Näherung mit $h_\tau = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt werden.

Um einen möglichst hohen Wärmegewinn infolge Absorption auf das opake Bauteil Außenwand zu erzielen, gibt es mehrere Zielgrößen:

- einen niedrigen Abstrahlungskoeffizienten
- einen niedrigen Formfaktor
- eine geringe Temperaturdifferenz

Die Auflistung der Zielgrößen ist mathematischer Natur, in praxi kann man sie nicht beeinflussen, sie sind gegebene Größen.

Die Botschaft aus der Formel verbrämten normierten Betrachtungsweise lässt sich wie folgt zusammenfassen: wirksam wird nur die Strahlungsdifferenz, der Netto-Wert von Zu- und Abstrahlung. Diese kleine Energiemenge wird noch durch die Material gegebenen Widerstände verringert.

Das klingt zunächst erst einmal logisch. Dass diese Berechnungsmethode fehlerbehaftet ist, wird im folgenden Kapitel erläutert.

3.2 Ein Berechnungsbeispiel

Gegeben sei ein als Hotel genutztes saniertes Gebäude mit folgenden Parametern:

beheiztes Volumen V_e	5.950 m ³
Nutzfläche A_N	1.188 m ²

Verhältnis A/V_e	0,39 1/m
Luftvolumen V	4.522 m ³
Fläche Gebäudehülle A	2.302,6 m ²
Fläche Außenwände A_{AW}	1.298,2 m ²
Fläche Fenster A_F	184,5 m ²
Fensterflächenanteil $A_F/(A_{AW} + A_F)$	12 %

Variante: ohne solare Gewinne opaker Bauteile

Heizwärmebedarf Q_h	211.765 kWh/a
spezifischer Heizwärmebedarf q_h	178 kWh/m ² a
Transmissionswärmeverluste Q_t	168.321 kWh/a

Variante: mit solaren Gewinnen opaker Bauteile

Heizwärmebedarf Q_h	210.456 kWh/a
spezifischer Heizwärmebedarf q_h	177 kWh/m ² a
Transmissionswärmeverluste Q_t	165.953 kWh/a

Das Ergebnis besteht in einer Minderung des Heizwärmebedarfs um 1.309 kWh/a (-0,6 %) bzw. in einer Minderung der Transmissionsverluste um 2.368 kWh/a (-1,4%). Der Unterschied in den Relationen resultiert aus der Rechenvorgabe $Q_{h,T} = 66 \cdot HT$, wobei eine Differenz infolge des Wärmebrückenzuschlages entsteht).

Der Transmissionswärmeverlust wird über die Formel $HT = \sum (F \cdot U \cdot A) + A \cdot 0,05$ berechnet. F ist der Beiwert für die Außenluft berührte Wand mit 1,0, U der U-Wert und A die Wandfläche. Zur Unterscheidung bekommen alle Terme einen Index. Nach dem Pluszeichen steht ein Wärmebrückenzuschlag.

Der Transmissionswärmeverlust geht mit in die Formel für den Heizwärmebedarf ein: $Q_H = 66 (HT + Hv) - 0,95 (Q_s + Q_i)$. Der Heizwärmebedarf, nur aus den Transmissionsverlusten resultierend, lässt sich vereinfachend mit $66 \cdot HT$ berechnen. Gegeben sind die Gebäudelage, die Gebäudegeometrie und die Wandmaterialien. Randbedingungen sind die Außentemperatur in Abhängigkeit vom Referenzklima und die Innenraumtemperatur, die im vereinfachten Verfahren mit 19°C definiert ist.

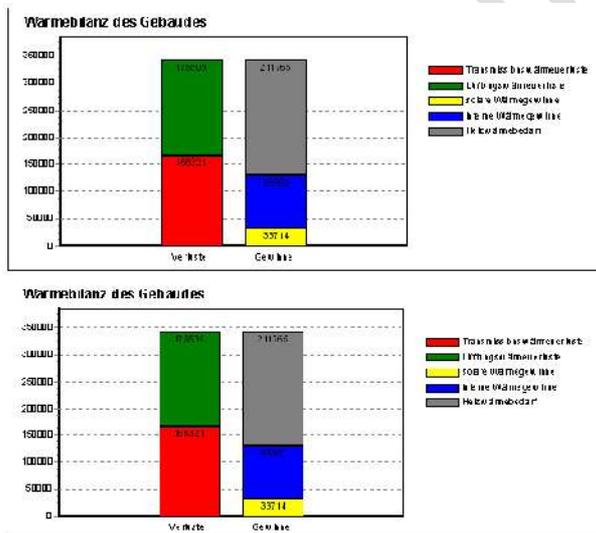


Abbildung 1: Ergebnisschema der Bilanz zum Rechenbeispiel, die solaren Gewinne über die opaken Bauteile werden nicht ausgewiesen, lediglich eine marginale Verringerung der Transmissionswärmeverluste (rot) und des Heizwärmebedarfs (grau) werden angegeben

Anhand dieses Beispielen wird es manchem formel-, norm- und softwaregläubigen Zeitgenossen leicht fallen, dieser genormten Theorie zu folgen. Bestätigt sie sich doch anhand sich selber, wie wir es von der U-Wert Theorie an sich kennen.

4 Methodische und logische Fehler

An dieser Stelle wird es unerlässlich, noch einmal die Grundlagen anzuführen. Obwohl es sich bei solaren Gewinnen auch um Vorgänge der Strahlungsphysik handelt, bleibt eine Verhaftung mit der U-Wert-Theorie bestehen. Der U-Wert ist ungeeignet, diese Vorgänge mit erklären zu wollen.

Stationärer Zustand bedeutet: konstante Innentemperatur, konstante Außenlufttemperatur, Feuchte unabhängige definierte Materialwerte. In diesem eingeschwungenen Zustand gibt es keine Dynamik, so dass die Rohdichte ρ und die spezifische Wärme c keine Rolle spielen. Deshalb tauchen diese Größen in keiner Formel auf. Bezeichnenderweise spielt das Speichervermögen der Außenwand bei TWD nun wiederum eine wichtige Rolle.¹²

Der Wärmestrom wird als durchweg gleich bleibend angenommen. Veränderungen im Temperaturgradienten resultieren nur aus unterschiedlichen Wärmeleitahlen der Bauteilschichten. Die Temperaturkurve im folgenden Bild ist dennoch stetig von innen nach außen geneigt. Für die Diffusionsvorgänge wird das praxisuntaugliche Glaser-Verfahren¹³ heran gezogen, kapillare Vorgänge werden erst gar nicht betrachtet.¹⁴

Um die U-Wert-Theorie zu stützen, wird ohne wissenschaftliche Hinterlegung¹⁵ ein Dogma aufgestellt, nämlich dass der instationäre Zustand über Mittelung rechnerisch in den stationären überführt werden könne. Wissenschaftliche Beweise werden durch In-sich-Beweise ersetzt.¹⁶ Der Autor charakterisiert den In-sich-Beweis der U-Wert-Theorie wie folgt: $3 \times 4 = 9$, denn $9 : 4 = 3$.

4.1 Fehler #1: Mehrfachverwendung von Einflussgrößen

Dies wird deutlich, wenn man sich die Formeln noch einmal vor Augen führt. Wir setzen hier noch einmal die Formeln von weiter vorn in Kontext. Von R_e haben wir vorn erfahren: Das ist der äußere Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils. In diesem Fall ist $R_e = R_{se}$. Diesen Term kennen wir bereits aus der U-Wert-Formel (2) weiter oben. Schreibt man die Formel 4 etwas um, indem Formel 2 in ausgeschriebener Form für U eingesetzt wird, zeigt sich, dass R_{se} zweimal verwendet wird.

$$Q_{S,op} = U \cdot A_j \cdot R_e \cdot (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_\tau \cdot \Delta\theta_{er}) \cdot t$$

$$Q_{S,op} = U \cdot A_j \cdot R_e \cdot t \cdot (\text{Str})$$

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}}$$

$$Q_{S,op} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}} \cdot A_j \cdot R_{se} \cdot (\text{Str}) \cdot t$$

Formel 6: von Formel 3 zu Formel 4 und dann Formel 2 in Formel 4 eingesetzt, R_{se} erscheint 2x

Da selbst jemandem, der sich im Alltag mit diesen Formeln überhaupt nicht befasst, auffällt, dass R_{se} gleich zwei Mal in die Berechnung eingeführt wird, stellt sich die Frage nach Begründung und Berechtigung. Eine Aufhebung des Terms durch sich selbst ($R_{se}/R_{se} = 1$ oder $1/R_{se} \cdot R_{se}$ bzw. $25 \times 0,04 = 1$) scheidet aus, da R_{se} in der Formel für den U-Wert als Summand im Nenner steht.

Man erkennt im vorangehenden Absatz bereits das Fehlerpotenzial, das hier aufgebaut wurde. Wir reden immerhin von einem Faktor 25 (der Kehrwert von 0,04). Das bedeutet, die solaren Gewinne werden um das 25-fache schlecht gerechnet.

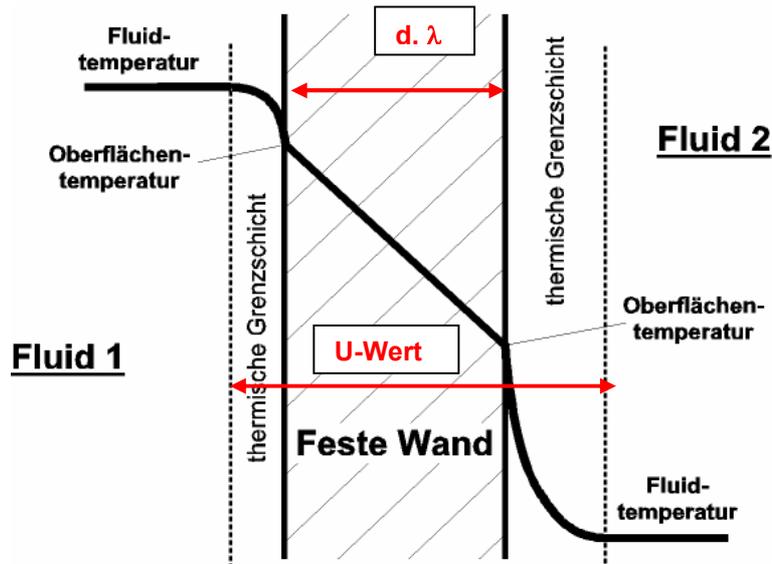


Abbildung 2: Temperaturverlauf im stationären Zustand nach U-Wert-Theorie

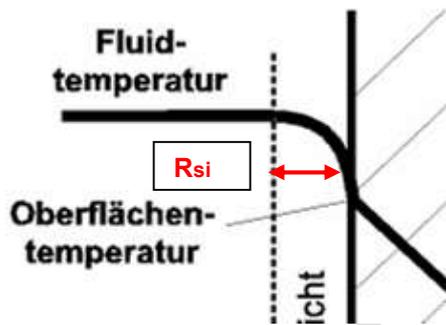


Abbildung 3: Wärmeübergang von der Innenraumluft zur Wandoberfläche innen, der Übergangswiderstand R_{si} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur, $R_{si} = 0,13 \text{ W/mK}$.

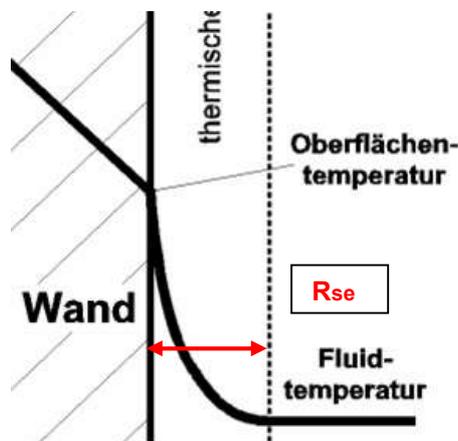


Abbildung 4: Wärmeübergang von der Wandoberfläche außen zur Außenluft, der Übergangswiderstand R_{se} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur $R_{se} = 0,04 \text{ W/mK}$.

Das Weglassen von R_{se} ist für das Ergebnis der U-Wert-Formel nicht so bedeutend. Ein Rechenbeispiel soll das belegen: eine 38 cm starke Ziegelwand mit $\lambda = 0,5$, $R_{se} = 0,04$ und $R_{si} = 0,13$. Der U-Wert beträgt in diesem Fall $U = 1 / (0,04 + 0,38/0,50 + 0,13) = 1,08$. Lassen wir R_{se} weg, lautet das Ergebnis $U = 1 / (0 + 0,38/0,50 + 0,13) = 1,12$. Das sind nur rd. 4%.

Entscheidend ist jedoch, dass durch das wiederholte Einführen von R_{se} als R_e die solaren Erträge um das 25-fache verringert werden. Mit einem simplen Formeltrick.

4.2 Fehler #2: Verwendung irrelevanter bzw. imaginärer Einflussgrößen

Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} (für innen (interior)) und R_{se} (für außen (exterior)) kennzeichnen die Wärmeübergänge von der Raumluft auf die Innenoberfläche des Bauteils bzw. von der Außenoberfläche des Bauteils zur Außenluft. Im Fall der Außenwand ist der Wärmestrom horizontal orientiert. Die Rechenwerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung von Energieverlusten sind der DIN EN ISO 6946 zu entnehmen.

Da wir nach Norm mit dem Nettobetrag der Strahlung zu rechnen haben, stellt sich nun die Frage, was der Übergangswert des Wärmetransportes von innen nach außen am Übergang von der Transmission (Wärmeleitung innerhalb des Bauteils) zu den Oberflächenvorgängen (Konvektion und Strahlung) zu suchen hat.

Da sich die solaren Gewinnen $Q_{s,op}$ letztendlich in einem Wärmestrom nach innen auswirken, der unter der äußeren Wandoberfläche beginnt, nachdem die Netto-Einstrahlung umgewandelt wird und als Wärmeleitung im Bauteil weiter geht, darf der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} in dieser Formel überhaupt nicht auftauchen.

Vergl. hierzu **Abbildung 4: Wärmeübergang von der Wandoberfläche außen zur Außenluft, der Übergangswiderstand R_{se} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur $R_{se} = 0,04 \text{ W/mK}$.**

Folgerichtig ist im nächsten Schritt zu untersuchen, ob R_{si} eine Berechtigung in dieser Formel findet. Da der Wärmeübergangswiderstand R_{si} für innen den Wärmeübergang von der Raumluft auf die Innenoberfläche kennzeichnet, darf er in dieser Formel überhaupt nicht auftauchen. Für diese Richtung des Wärmetransportes hat dieser Wert keine Gültigkeit.

Vergl. hierzu **Abbildung 3: Wärmeübergang von der Innenraumluft zur Wandoberfläche innen, der Übergangswiderstand R_{si} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur, $R_{si} = 0,13 \text{ W/mK}$.**

Somit verbleiben die Wandstärke d und die Wärmeleitfähigkeit λ des Wandmaterials. λ/d ergibt den Wärmedurchlasswiderstand R der Wand. Aus Gründen des Wärmeschutzes soll er möglichst hoch sein. Vergl. hierzu Formel 1 und Formel 2 im Kapitel „verordnete Berechnungen“. Für den Wärmetransport innerhalb der Wand ist der Wärmedurchlasswiderstand R der Wand entscheidend, insofern muss er in der Formel enthalten sein.

4.3 Fehler #3: Stationäre Modellbildung für dynamische Prozesse

Unterstellen wir, dass Formel (60) aus DIN V 4108-6 zur Berechnung des Wärmegewinns infolge Absorption auf opake Bauteile stimmen würde, dann träfe dies nur für einen Fall zu: den stationären Zustand. Dessen Charakter ist zu Beginn des Kapitels „Methodische Fehler“ beschrieben.

Nun bedarf es nicht der Ausführungen des Fraunhofer IBP zu seinem Simulationsprogramm WUFI¹⁷, um die Defizite einer auf Annahmen und Ausschlüssen begründenden Theorie zu erkennen. Jedem Fachmann vom Bau sollte geläufig sein, dass es sich stets um die Betrachtung des gekoppelten Wärme-Feuchte-Transportes geht, wenn es um den Wärmeschutz von Bauwerken geht. Die Praxisferne lässt sich mit der Größenordnung von bis zu ca. 44% angeben.¹⁸ Zum Vergleich: eine Niederschlagswahrscheinlichkeit von 50% bedeutet, es regnet – oder auch nicht.

Unverständlich ist auch, dass nach wie vor die absurde Lehrmeinung durch Europas Universitäten und Hochschulen geistert, dass Bauwerke im Winter feucht würden und im Sommer trockneten. Die Praxis ist dadurch gekennzeichnet, dass im Sommer das Dampfdruckgefälle nach innen gerichtet ist und dass im Winter ein Trockenheizen stattfindet.

Jeden Fachmann vom Bau müssten die aberwitzigen Klimarandbedingungen nach Glaser / DIN 4108 verwundern. Tauwasser entsteht, wenn der Wasserdampfdruck den Sättigungsdruck erreicht. Man geht davon aus, dass dieses Tauwasser unschädlich ist, sofern ein bestimmter Grenzwert nicht überschritten wird und solange die Verdunstungsmenge größer ist als die Tauwassermenge.

Für den Berechnungsansatz sind die Klimawerte genormt. Es darf berechtigt angenommen werden, dass diese normierten 150 Tage für die Witterungsverhältnisse eines Jahres nicht repräsentativ sein sollten. Was sollen wir uns Gedanken machen über die Raumtemperatur? 18 oder 20 °C? Egal, in der Verdunstungsperiode nach DIN sind es eh nur 12 °C – und das bei Schimmelpilz fördernden 70% rel.LF.

	Tauperiode	Verdunstungsperiode
Außenklima	-10 °C, $\phi = 80\%$, $p_a = 208 \text{ Pa}$	12 °C, $\phi = 70\%$
Innenklima	20 °C, $\phi = 50\%$, $p_a = 1.170 \text{ Pa}$	12 °C, $\phi = 70\%$
Dauer	1.440 h (60 d)	2.160 h (90 d)

Tabelle 1: genormte Klimawerte des Glaserverfahrens, wie sie in DIN 4108 verankert sind

Zurück zur Praxis. Wärmetransport ist stets gekoppelt mit Feuchtetransport. Was aber ist Wärme? Ist Wärme gleich Temperatur? Der Realtest wird es immer wieder zeigen, dass selbst ausgewiesene Fachleute einige Mühe haben, diese simplen Fragen zu beantworten.

Ein fester Bestandteil der U-Wert-Theorie ist das unveränderliche Temperaturprofil im Bauteil, dessen Verlauf lediglich durch die Übergangswiderstände und das konduktive Verhalten der Bauteilschichten gekennzeichnet wird. Aus diesem Schema wird abgeleitet, dass von der Temperatur an einer bestimmten Stelle auf den Wärmestrom geschlossen werden kann. Hierzu zwei simple Fragen:

- Ist Temperatur gleichzusetzen mit Wärme?
- Ist der Wärmestrom in praxi durchgehend gleich bleibend?

Diese Fragen sind so simpel, dass sie selbst Fachleute verblüfft. Die Antworten sind im Gehalt sehr unterschiedlich. Die Antworten lassen sich leicht verständlich formulieren:

Zu a) Löschen Sie ein Streichholz mit zwei Fingern. Die Erfahrung ist schmerzlich, aber von kurzer Dauer, es sind immerhin um die 800 °C. Nun legen Sie die flache Hand auf eine um 700°C „kältere“ Herdplatte. Eine Minute soll genügen.

Zu b) Messungen der ETHZ haben ergeben, dass die Wandoberfläche der beschienenen Wand bei -10°C im Januar bis +40°C betragen kann. Der Wärmestrom fließt immer nur vom höheren zum niederen Niveau. Fließt ein Wärmestrom von + 18 °C Wandoberflächentemperatur innen nach + 40 °C Wandoberflächentemperatur außen?

Zu b) Wie sind Aufheiz- und Abkühlvorgänge mit konstanten Wärmeströmen erklärbar?

Die Fragen sind bewusst simpel gehalten, weil die Antworten darauf verblüffend einfach sind. Man kann Wärme auch anders definieren: „Der erste Hauptsatz sagt: Wärme ist eine Energieform, die aus mechanischer Energie erzeugt oder in solche umgewandelt werden kann. Wegen des Prinzips der Erhaltung der Energie kann also Wärme weder entstehen noch verschwinden, ohne dass ein gleich großer Betrag anderer Energie verschwindet oder entsteht.“¹⁹

Von der Raumwärme her kennen wir einen Vorgang, wo eine Umwandlung in mechanische Energie erfolgt. Die Konvektion bewirkt ein Aufsteigen warmer Luft. Luft ist ein Gasgemisch, das Wasser enthält. Das Abkühlen der Luft bedeutet Wärmeverlust infolge mechanischer Energie, trotz der Umwandlung bleibt die Summe gleich 0. Konvektion bedeutet auch, Wärmeübertrag an die Wand, indem die Luftmoleküle anstoßen.

Im Bauteil Wand liegt die Feuchte in zwei Aggregatzuständen vor: flüssig und gasförmig. Dem entsprechen die Formen des Flüssigtransportes: Diffusion und Kapillartransport. Neben Temperaturgefälle besteht auch noch ein Feuchtegefälle, in der Summe auch ein Dampfdruckgefälle. Diffusions- und kapillare Leitungsvorgänge können gleichzeitig und sogar gegengerichtet ablaufen, was sogar partiell zu Kreislaufsituationen führen kann.

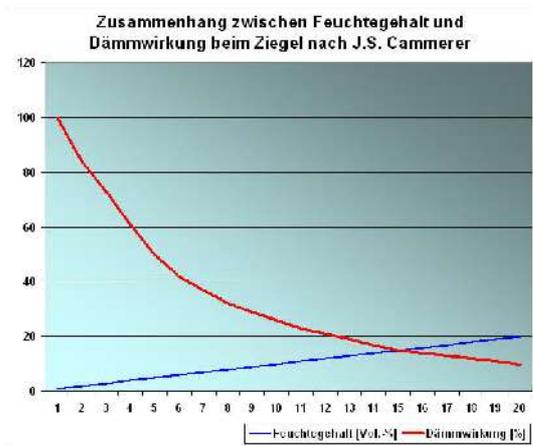
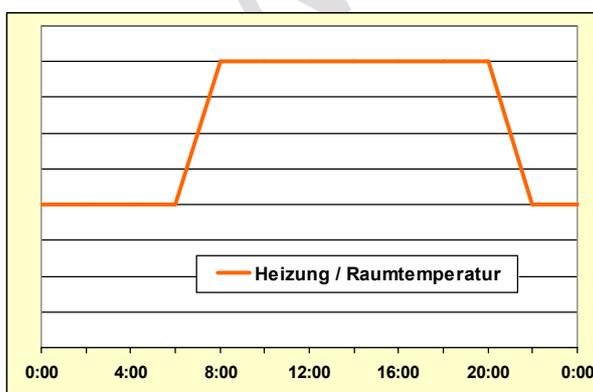


Abbildung 5: Abnahme der Dämmwirkung durch Feuchte, nach Cammerer, entnommen dem Fachartikel „Sorptions“¹⁴

Bei einer 38 cm starken Ziegelmauerwerkswand dauert es einige Stunden bis zum Auskühlen des Raumes. Es geht also um Prozesse, die infolge Trägheit nicht derart kurz modulieren, dass eine Mittelung gerechtfertigt wäre. Noch dazu geht es um Prozesse, die sich gegenseitig überlagern.

Hierbei spielt das Speichervermögen eine Rolle, so dass auf Rohdichte ρ und spezifische Wärme c nicht verzichtet werden kann. Diese beiden Werte werden ebenso von der Feuchte beeinflusst wie die Wärmeleitfähigkeit λ . Ohne Rohdichte ρ und spezifische Wärme c lassen sich Aufheiz- und Auskühlvorgänge nicht erklären. Aber nur ohne Rohdichte ρ und spezifische Wärme c funktioniert die U-Wert-Theorie.

Stellt man die dynamischen Größen am und im Gebäude zusammen, wird deutlich, dass der Zwang zum Mitteln nicht Ziel führend sein kann. Dafür sind die zeitlichen Versätze zu groß. Man kann es auch etwas drastischer ausdrücken: worin besteht der Nutzen von fiktiven 400 W/m² Globalstrahlung um Mitternacht? Das Kapitel „Empirik versus Hermeneutik“ enthält ein gut dokumentiertes Messbeispiel, welches die Zusammenhänge gut verdeutlicht.



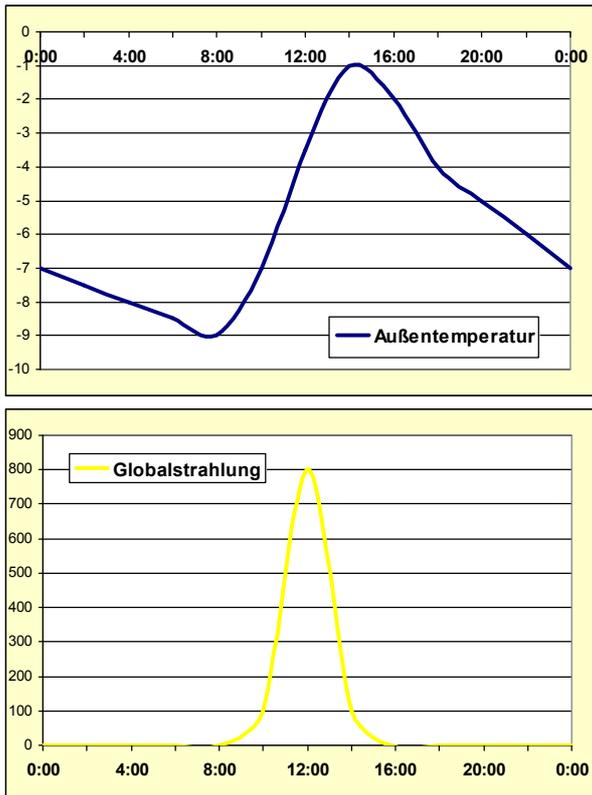


Abbildung 6: Grafische Übersicht zu dynamischen Größen im Winter

Die schematischen Darstellungen in den folgenden Bildern sind gut geeignet, die instationären Zustände zu erklären, wobei hier zugleich die Minderung des solaren Ertrages durch ein WDVS verdeutlicht wird. Hierzu vergleiche man die grau gezeichneten Flächen. Bei der monolithischen Wand ist die Fläche bedeutend größer, d.h. der solare Ertrag ist höher als bei der gedämmten Wand, das Verhältnis beträgt 2.188 Wh/m²d zu 845 Wh/m²d.²⁰ Als Quelle ist das Fraunhofer IBP angegeben, dem eine Befangenheit gegenüber WDVS wahrlich nicht nachzusagen ist.²¹

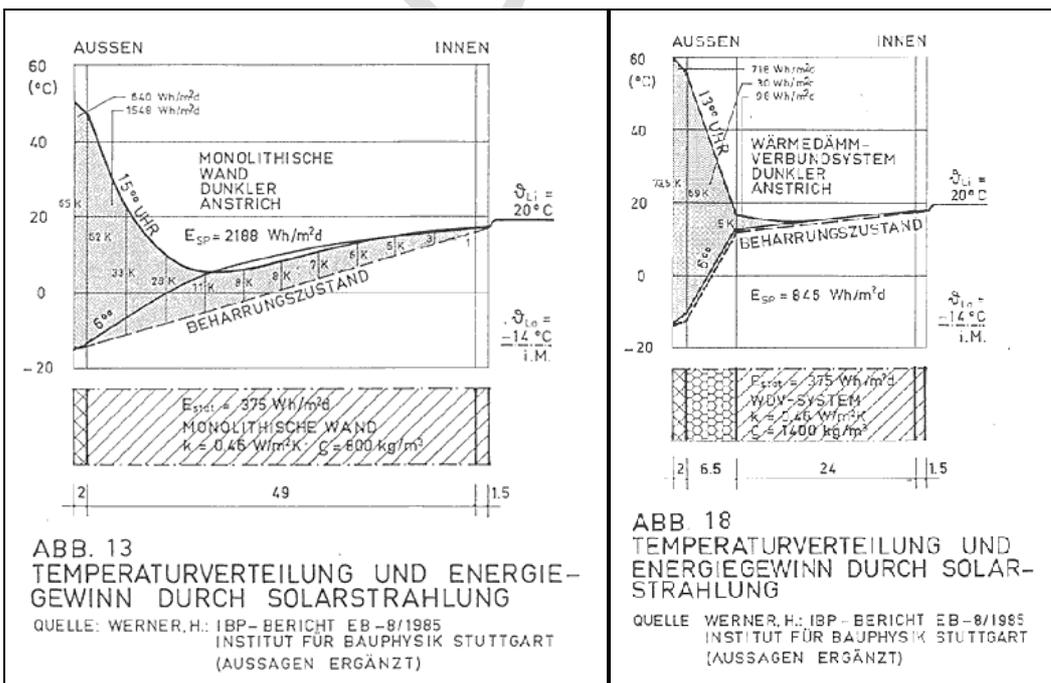


Abbildung 7: Temperaturverteilung und Energiegewinn durch Solarstrahlung

4.4 Fehler #4: Modellbildung unter Missachtung der Thermodynamik

Uns allen ist geläufig, dass Energie nicht aus dem Nichts entstehen kann und auch nicht verloren gehen kann. Es kann lediglich eine Umwandlung der Energieformen stattfinden. Die Wissenschaft hat diese und weiterführende Grundkenntnisse in drei Hauptsätzen formuliert. Sie sind bekannt als die Hauptsätze der Thermodynamik.

Eine Alltagserfahrung besteht darin, dass es im Wohnzimmer kalt wird, wenn man das Fenster zu lange offen stehen lässt. Zu schön wäre es, wenn man bei 18°C Raumtemperatur das Fenster öffnen und die +3°C von draußen herein lassen könnte. Leider aber verhindern es die Naturgesetze, dass man auf diesem Wege zu 21°C Raumtemperatur gelangt.

„Der zweite Hauptsatz sagt, daß gewisse Vorgänge zwar ohne unser Zutun in einer Richtung, niemals aber von selbst in der umgekehrten Richtung verlaufen. ... Wärme kann niemals von selbst von einem Körper niedrigerer Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur übergehen (Clausiuscher Satz).“²²

Diese Weisheit ist so fundamental, dass sie schon wieder trivial erscheint. Um so mehr sollte uns jedoch überraschen, dass bei der Modellbildung zu den solaren Gewinnen eben dieser Hauptsatz ignoriert wird.

Diese These steht scheinbar im Widerspruch zur Formel in DIN V 4108-6, denn diese gestattet den auf ein paar kW herunter gerechneten Erträgen, sich in Form der Wärmeleitung in Richtung Innenraum zu bewegen. Worin also besteht der Fehler?

Das Problem erschließt sich, wenn man die selektierte Betrachtung einzelner Vorgänge durch die Bilanzbetrachtung ablöst. Erst danach macht eine Analyse der Einzelkomponenten Sinn. Die Energiebilanz des Gebäudes ist in der Summe stets 0, weil sich Gewinne und Verluste die Waage halten.

Energiebilanz des Gebäudes	
Gewinne	Verluste
innere Gewinne	Transmissionswärme
solare Gewinne (Fenster)	Lüftungswärme
solare Gewinne (opake B.)	
Differenz = Heizwärmebedarf	

Tabelle 2: Schema der Gebäudeenergiebilanz bis zum Heizwärmebedarf

Betrachten wir das Bauteil Außenwand, sind von dessen Eigenschaften der Verlust infolge Transmissionswärme und die solaren Gewinne des opaken Bauteils betroffen. Da durch Mitteln Ergebnisse wohlgefälliger werden, wird eine der durchschnittlichen Außentemperatur folgende gleichmäßige Transmission angenommen. Diese bleibt – trotz zugelassener solarer Gewinne – fast gleich. Die marginale Verringerung resultiert aus der vorn beschriebenen Berechnungsweise, die einen bescheiden kleinen Wärmestrom nach innen gestattet.

Aus Sommerzeiten sind Temperaturen auf mineralischen Wandoberflächen von Außenwänden (Putz, Mauerwerk) in der Größenordnung von 60...70°C bekannt. Dass dieser Wert im Winter zwischen 40 und 50 °C liegen kann, haben Messungen aus 1992 in Zürich ergeben.²³

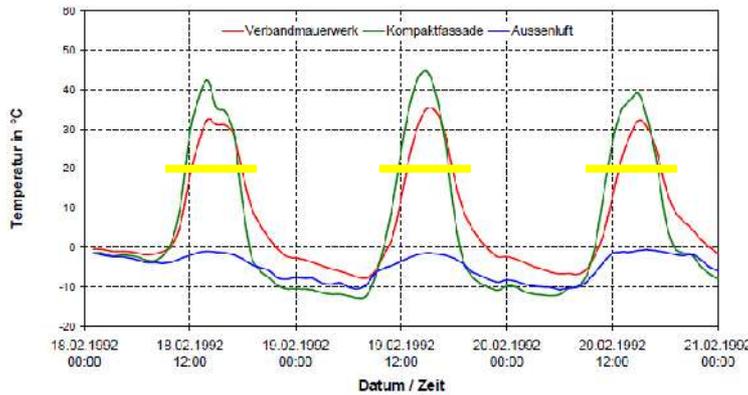


Abbildung 8: Messkurve 18.-21.01.1992 in Zürich, 40...45°C Übertemperatur der Außenwandoberfläche gegenüber der Außenluft im Januar (-1...-2°C ca. 12 bis 15:00 Uhr)

Der Titel der Folie 12 (Bildausschnitt oben) lautet "Wandoberflächentemperaturen: Einfluss der Speichermasse" und in der Schlussfolgerung auf Folie 15 wird neben den Maßnahmen Vordach (Abschirmung gegen den klaren Himmel) und low-e Schicht auf der Außenseite empfohlen: "Speichermasse Massive Bauweise".

Wichtig ist die Tatsache, dass bei einer Außenlufttemperatur im Januar, die sich zwischen -10 °C und 0 °C bewegt, die Wandoberflächentemperatur infolge solaren Energieeintrags ca. 6 Stunden über +20°C beträgt. 6 Stunden sind ¼ des Tages und +20 °C soll der Zimmertemperatur entsprechen.

An dieser Stelle sei die Wiederholung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik gestattet: „Wärme kann niemals von selbst von einem Körper niedrigerer Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur übergehen“.

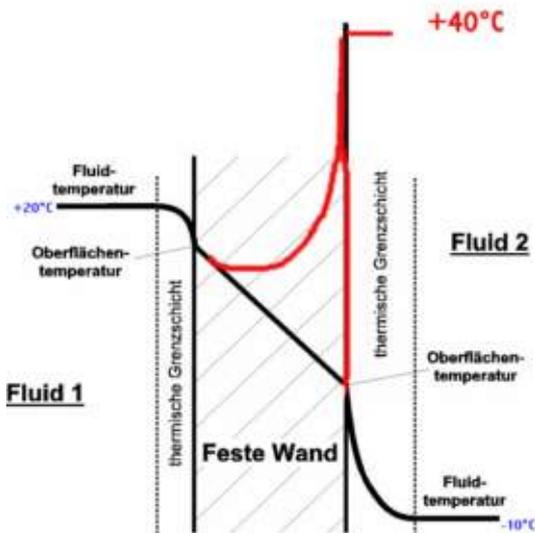


Abbildung 9: Übertrag gemessener Werte in das starre Schema nach U-Wert-Theorie zum Temperaturverlauf an und in der Wand

Überträgt man die Messwerte der EMPA in das Schema nach U-Wert-Theorie, offenbaren sich klare Unterschiede in der Darstellung. Zum einen wird deutlich, dass sich reale Zustände mithilfe der U-Wert-Theorie weder erklären noch darstellen lassen. Zum zweiten offenbart sich hier der grandiose bauphysikalische Taschenspielertrick zur Unterschlagung der solaren Gewinne.

Eigentlich müsste sich der Wärmestrom vom warmen Innenraum zur kalten Außenluft hin bewegen. 30 K Temperaturunterschied sind die Antriebsfeder dafür und der Wärmedurchlasswiderstand der Wand ist das einzige Hindernis. Jetzt kommt aber, nachdem die Sonne aufgegangen ist und zur Erwärmung der Wand geführt hat, ein weiterer Widerstand hinzu.

Die thermische Barriere hat einen Wert von $\sim +40\text{ °C}$, sie befindet sich auf der Oberfläche und in oberflächennahen Region der Außenwand. Diese thermische Barriere liegt $\sim 20\text{ °C}$ über der Raumtemperatur und $\sim 50\text{ °C}$ über der Außenlufttemperatur. Anhand der Ausgangsdaten lassen sich nun folgende Überlegungen anstellen.

Fall	Richtung Wärmestrom	Bemerkung
A	$+20\text{ °C} \leftarrow +40\text{ °C}$	Wärmestrom von hoher nach niedriger Temperatur gem. 2. Hauptsatz Thermodynamik
B	$+20\text{ °C} \rightarrow +40\text{ °C}$	Wärmestrom von niedriger nach hoher Temperatur gem. EnEV / DIN 4108
C	$+20\text{ °C} \rightarrow -10\text{ °C}$	Wärmestrom von hoher nach niedriger Temperatur unter „Missachtung“ der 40 °C -Barriere
D	$+40\text{ °C} \rightarrow -10\text{ °C}$	Wärmestrom von hoher nach niedriger Temperatur Hinweis: was hat die Abstrahlung mit der T_a zu tun?

Tabelle 3: Variantenbetrachtung zum Wärmestrom, beschienene Außenwand

Da sich der Wärmestrom an den 2. Hauptsatz der Thermodynamik hält, hört er auf, nach außen abzufließen, sobald die Temperatur der thermischen Barriere mehr als die $+20\text{ °C}$ Zimmertemperatur beträgt. Gleichwohl beginnt er erst wieder nach außen abzufließen, sobald die Temperatur der thermischen Barriere unter die $+20\text{ °C}$ Zimmertemperatur sinkt.

In dem Messbeispiel der EMPA aus 1992, über welches oben berichtet wird, beträgt dieser Zeitraum ca. 6 Stunden täglich. Die in die Grafik eingezeichneten gelben Linien markieren das. Das bedeutet, dass zu 25% der Tageszeit und bei einer gemittelten Außentemperatur von -5 °C kein Transmissionswärmestrom von innen nach außen fließt.

Insofern ist es doch völlig egal, wie viel Wärme der Wärmestrom infolge solaren Gewinns von kurz unter der Außenwandoberfläche nach innen Richtung Innenraum in die Wand einträgt. Man muss doch nicht erwarten, dass der Ertrag so durchschlagend ist, dass sich die Wandoberflächentemperatur spürbar erhöht. Für die Bilanzbetrachtung genügt es, den Stillstand des Wärmestromes nach außen als Bilanzgewinn zu verbuchen, weil dies Verbrauch mindert.

4.5 Fehler #5: Weitere Ungereimtheiten

Bis jetzt hat sich offenbart, dass es sich bei diesem beeindruckenden Formelwerk nach DIN vermutlich um ein willkürlich zusammen gewürfeltes Konstrukt handelt. Diese Vermutung wird durch die Fülle und das Gewicht der methodischen Fehler, wie oben erläutert, gestützt. Weitere Ungereimtheiten sind da eher schon nebensächlich.

Im Term für den Strahlungsanteil gestattet uns die DIN für die mittlere Differenz zwischen der Temperatur der Umgebungsluft und der scheinbaren Temperatur des Himmels $\Delta\theta_{er}$ vereinfachend 10 K anzusetzen.

Die Temperatur der Umgebungsluft entnimmt man den Datenbanken zu den Klimaregionen, wie sie in Tabellenform in DIN 4108 zu finden sind. Für die eher kalte Region 15 (Raum München) wird angegeben: Oktober $7,9\text{ °C}$, November $2,8\text{ °C}$, Dezember $-0,7\text{ °C}$, Januar $-2,1\text{ °C}$, Februar $-0,7\text{ °C}$, März $3,0\text{ °C}$.

„Die Himmelstemperatur ist abhängig von den Wetterbedingungen. Sie kann zwischen 0 K (bei heißem und feuchtem Klima) und 50 K (bei kaltem und trockenem Klima) unter der Umgebungstemperatur liegen. Bei typischen sommerlichen Betriebsbedingungen an wolkenlosen Tagen liegt sie etwa 20 K unter der Umgebungstemperatur.“²⁴ Andere Quellen geben Größenordnungen von über 50 K an.²⁵

Den IR-Zusatzverlust (IR-Senken) geben die Schweizer Bauphysiker in²³ wie folgt an: Dachflächen $50 - 120\text{ W/m}^2$ und Wandflächen $10 - 70\text{ W/m}^2$. Man erkennt, dass die scheinbare Himmelstemperatur sowohl von der Höhenlage als auch vom Zenitwinkel²⁶ abhängt. Bei einem Zenitwinkel von 90° egalisiert sich der Unterschied, wobei der Wert für beide Standorte 0 °C beträgt.

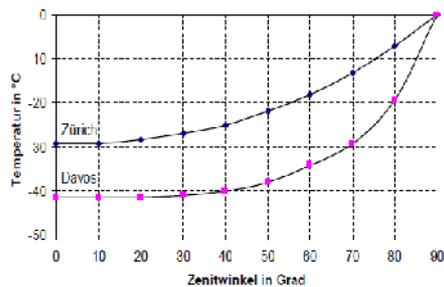


Abbildung 10: Temperatur des klaren Himmels bei $\theta_a = 0^\circ\text{C}$ in Abhängigkeit vom Zenitwinkel, Quelle: EMPA Dübendorf, 17.01.2003

Von DIN wird empfohlen, „vereinfachend“ einen Wert in Höhe von 10 K zu verwenden. Dadurch wird die Abstrahlung um ein Vielfaches hochgerechnet – und somit der Nettoertrag aus solarer Einstrahlung um ein Vielfaches schlecht gerechnet.

Im Kapitel „Das Sonnenangebot“ wird angegeben, dass die Grenze für Sonnenschein gemäß Definition vom DWD bei 120 W/m^2 liegt. Schon allein daran wird deutlich, inwiefern sich die von der EMPA gemessenen IR Senken relativieren: - 70 bis 0 W/m^2 bei Dachflächen und - 110 bis -50 W/m^2 bei Wandflächen. Die Minuszeichen bedeuten hierbei, dass es sich um einen Zugewinn handelt.

5 Empirik versus Hermeneutik

Für die wissenschaftliche Arbeit werden hermeneutische und empirische Methoden angewandt. Hermeneutische Methoden gehen von der Bedeutung von Begriffen aus, während empirische Methoden den Erfahrungsaspekt höher bewerten. Anders ausgedrückt, ist es eine Frage, ob man die Absichten oder die Ergebnisse präferiert.

Deduktiv vorzugehen bedeutet, vom Allgemeinen zum Besonderen zu gelangen. Wenn die empirischen Ergebnisse den Dokumenten widersprechen, neigt der Hermeneutiker dazu, die empirischen Ergebnisse für falsch zu halten.

Man kann das Ganze auch viel einfacher erklären: „Wir brauchen keine Theorie, die die Nase rümpft, wenn sie der Praxis begegnet.“²⁷ Bedenklich wird es, wenn der wissenschaftliche Disput durch das Veto der Vasallen ersetzt wird. Das „darüber wird nicht mehr diskutiert“ kennen wir leider nicht nur taus dem Leidensweg der Bauphysik. Woran liegt das? „Wenn jemand eine Theorie akzeptiert, führt er erbitterte Nachhutgefechte gegen die Tatsachen.“²⁸ ist nur eine Antwort darauf.

Vielleicht war es ja auch ein grundlegender Fehler, Maschinenbauer und Physiker auf den Gebäudebereich loszulassen und das Ganze als Bauphysik zu deklarieren, denn "Die Physik erklärt die Geheimnisse der Natur nicht, sie führt sie auf tiefer liegende Geheimnisse zurück."²⁹ Am Ende bleibt stets die Frage, die uns zum Kern vordringen lässt: Cui bono?³⁰

5.1 Erste Hälfte des 20. Jahrhunderts

„Jüngst sind auch Untersuchungen der Besonnung der äußeren Mauerflächen in gesundheitlicher und wärmewirtschaftlicher Hinsicht angestellt worden.“ Berichtet ein Baufachbuch von 1937.³¹

Anfang der 30er hat der amerikanische Architekt Howard Fischer eine einfache Methode zur Bestimmung der Besonnungsdauer von Wandflächen gefunden, indem er eine Sonnenkarte für die beiden Tag-und-Nachtgleichen sowie die Tage der Sommer- und Wintersonnenwende zugrunde legte.³²

Aus den Erfahrungen des letzten Vierteljahrhunderts heraus gelangte man zu dieser Zeit zur Erkenntnis, dass trotz Auflockerung des Baublocks Mängel für die Besonnung der Wände gegen das Blockinnere bestehen und durch eine Geländeaufteilung nach dem Zeilenbau die gewünschte Besonnung befriedigend gelöst wird.³³

Nach der erforderlichen Besonnung wurden die Abstände der Baureihen untersucht. Im Ergebnis lagen Faustregeln und Formeln vor^{34 35}, bei deren Beachtung sich eine Verschattung vermeiden ließ.

N-S-Lage der Wohnstraße	b = 1,5 h
Diagonalstraße	b = 2,0 h
O-W-Lage der Wohnstraße	b = 2,5 h

Formel 7: Faustregel nach³⁴, wobei B der Abstand der Außenwände, h der Schnittpunkt Dach-Wand ist und die max. Dachneigung 12° beträgt

$$b = h \cotg \alpha + v$$

Formel 8: Formel nach³⁵, wobei h = Höhe Fensterbank EG bis Traufe, v = Dachüberstand und a = Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen die Waagerechte treffen; Dachneigung max. 15,3°, abgeleitet von a = 15,3° am 21.12. unter dem 51. Breitengrad

5.2 EMPA 1992

Der Bericht der EMPA²³ zu den Messungen im Februar 1992 ist vom Januar 2003 und er liegt in Form einer Präsentation als PDF vor. **Abbildung 11** zeigt eine Zusammenstellung von Messwerten: Außentemperatur, Globalstrahlung³⁶, vertikale IR-Senken, Windgeschwindigkeit und Wandoberflächentemperatur.

IR-Senke bedeutet ein IR-Strahlungsdefizit der Vertikalfläche. Die Minima liegen dort, wo die Maxima der Globalstrahlung liegen. Eine Korrelation zu Außentemperatur und Wind besteht nicht. Die Wandoberflächentemperaturen folgen tagsüber dem Verlauf der Globalstrahlung, wobei der zeitliche Versatz auffallend klein ist. Leider kann man ihn anhand der Grafiken nicht quantifizieren.

Die Bedeutung der Wandoberflächentemperatur wurde bereits im Kapitel „Fehler #4: Modellbildung unter Missachtung der Thermodynamik“ behandelt, so dass hier der Verweis darauf genügen soll. Im unteren Bild stehen die rote Linie für „Verbandmauerwerk“ und die grüne Linie für „Kompaktfassade“. Da die Speicherfähigkeit des Wandmaterials hinsichtlich der solaren Erträge eine wichtige Rolle spielt, kamen die Bauphysiker der EMPA hinsichtlich Maßnahmen gegen eine Unterkühlung u.a. zur Empfehlung: „Speichermasse Massive Bauweise“.

5.3 AMz 1997

Der AMz-Bericht 5/1997³⁷ behandelt die Solarabsorption auf Außenwänden und die daraus folgende Reduktion der Transmissionswärmeverluste. Die AMz hat Anfang der 90er mehrere Forschungsarbeiten in Auftrag gegeben, energetischen Auswirkungen der Solarabsorption auf Außenwänden zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste und die damit verbundene Verringerung des Heizenergiebedarfs zu untersuchen. Ein großer Teil der Ergebnisse sind im Bericht 2/95 der AMz vorgestellt worden. Als aktuellen Anlass für eine erneute Berichterstattung erachtete die AMz 1995: "Die Betrachtung der solaren Zustrahlung auf opake Bauteilflächen mit den damit verbundenen Energiegewinnen findet bislang zu wenig Beachtung in den bekannten Bewertungsverfahren zur Ermittlung des Wärmebedarfs von Gebäuden."

In Auswertung vorangegangener Untersuchungen³⁸ wurde festgestellt:

„Vergleicht man die Wärmeverluste einer weißen, nach Norden orientierten Wand mit einer dunklen, nach Süden orientierten über die Heizperiode, ergeben sich für diese bis zu 23 % geringere Verluste durch die Sonneneinstrahlung bei gleichem rechnerischen Wärmedurchgangskoeffizienten. Selbst eine weiße, nach Süden orientierte massive Wand kann bis zu 9 % reduzierte Wärmeverluste gegenüber einer masselosen und ohne Strahlung beaufschlagten Außenwand aufweisen.“ (zu³⁸ [1])

Die messtechnischen Untersuchungen zu den Wärmeverlusten dieser Wände ergaben für den Messzeitraum während der Winterperiode für das massive Ziegelmauerwerk einen effektiven k-Wert von 0,32 W/m²K und damit eine Reduzierung der Wärmeverluste um fast 16 % gegenüber dem rechnerischen Wert.“ (zu³⁸ [2])

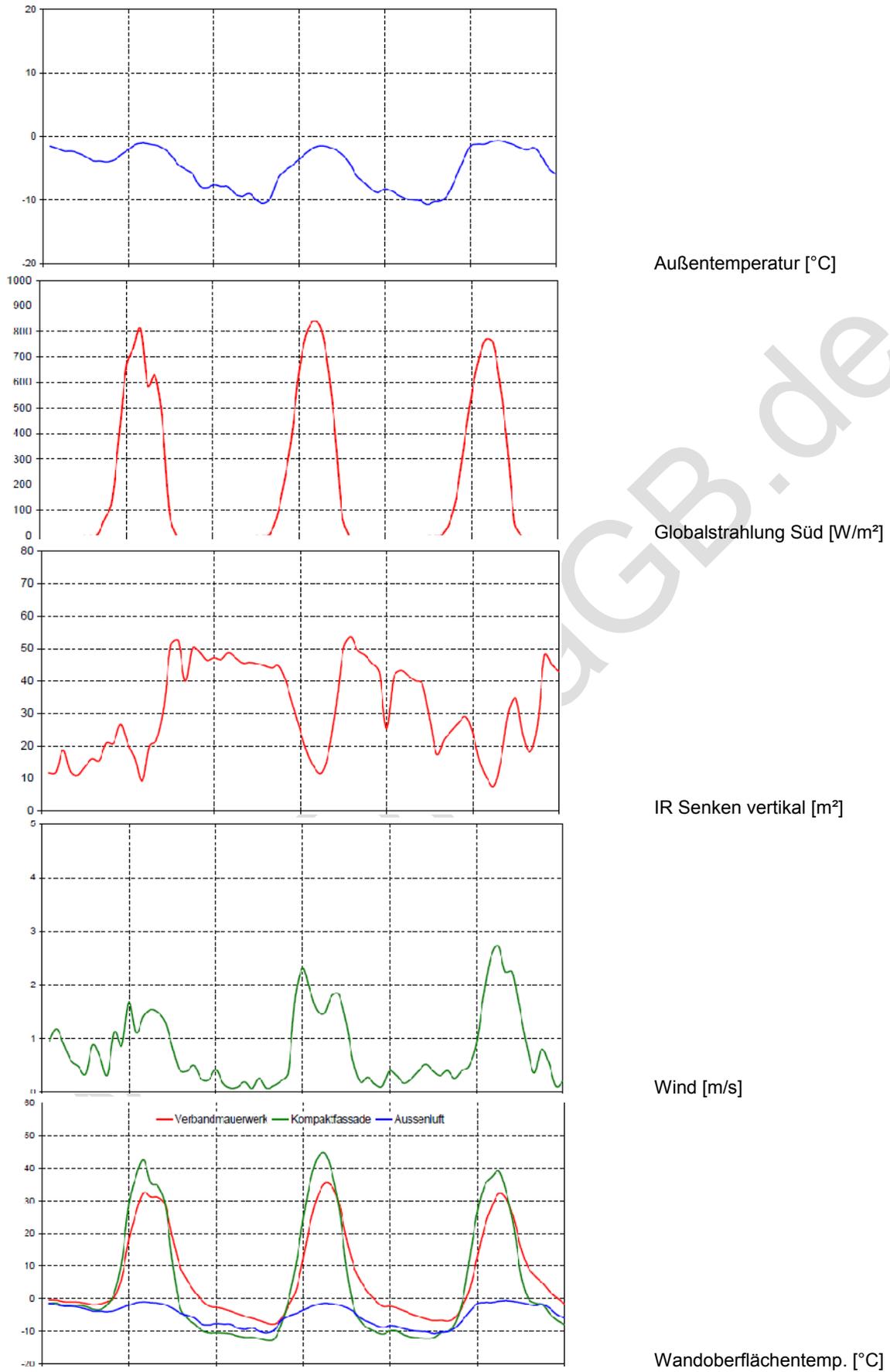


Abbildung 11: Messdaten EMPA Dübendorf, 18.02.1992 0:00 bis 22.02.1992 0:00 (PDF, S. 7-10, 12) ²³

„Unterschiedliche Oberflächenstrukturen und -farben der vornehmlich südorientierten Wände führen zu Reduzierungen der Wärmeverluste von bis zu 26 % gegenüber nordorientierten, nicht der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Wänden.“ (zu ³⁸ [3])

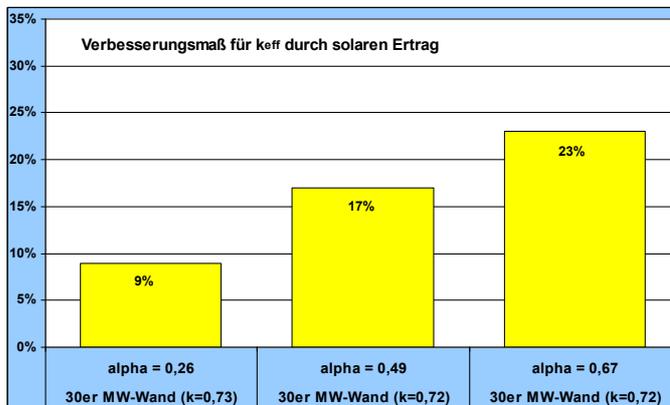


Abbildung 12: Verbesserungsmaß in % für die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Absorptionsgrad der Oberfläche, hier bei einer 30 cm Mauerwerkswand mit $k = 0,72$.

Im AMZ-Bericht wird eine Formel von Lindauer ³⁹ vorgestellt, die eine Quantifizierung der solaren Erträge versucht.

$$\text{Einsparung} = \frac{\alpha \cdot I}{\alpha_a \cdot \Delta \vartheta} \cdot 100 \%$$

Formel 9: rechnerischer Ansatz der prozentualen Wärmestromreduzierung durch solaren Ertrag von Lindauer; es bedeuten: α = Absorptionsgrad, I = verfügbare Solarstrahlung, α_a = äußerer Wärmeübergangskoeffizient und $\Delta \vartheta$ = Temperaturdifferenz Raum-/Außenluft

Mittels rechnerischer Untersuchungen ⁴⁰ sind die effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände über die vier Hauptorientierungen typischer Gebäude ermittelt worden. Das Ergebnis: "Es ergeben sich im Mittel Verbesserungen des rechnerischen Wärmedurchgangskoeffizienten sämtlicher Außenwände zwischen 4 und 6 % für helle und 9 und 14 % für dunkle Oberflächen."

Hinsichtlich der Auswirkung auf den Heizwärmebedarf "... zeigen schwere Außenwände tendenziell höhere Verbesserungsmaße als leichte Wände wie z. B. hochgedämmte Holzständerkonstruktionen. Dies ist durch den erhöhten Ausnutzungsgrad der solaren Gewinne bei schweren Bauweisen zu erklären."

Das Maß der Verbesserung, ausgedrückt als Effektiver Wärmedurchgangskoeffizient $keff$ [W/m^2K] beträgt bis zu 23% und die resultierende Heizwärmeeinsparung liegt in der Größenordnung von 2 bis 8%.

5.4 Donau Universität Krems 2000

Systematische Experimente an einem Gebäudesimulationsprogramm ⁴¹ zeigen folgende Zusammenhänge auf:

- Das Optimierungspotential, das die Masse eines Gebäudes im Sinne der Solararchitektur bietet, war bislang unterbewertet.
- Masse wirkt sich auf den sommerlichen Komfort ebenso positiv aus wie auf die Reduktion des Heizenergiebedarfes.

Der wissenschaftliche Vorsprung der Simulation instationärer Wärmeleitung gegenüber dem simplifizierten U-Wert-Verfahren und der daraus folgende Weg zu mehr Praxisnähe wird wie folgt beschrieben:

„Der Wärmestrom wird durch eine Temperaturdifferenz an zwei Oberflächen eines Materials hervorgerufen. Je höher der Wärmewiderstand jeder – präzise betrachtet unendlich dünnen – Schicht eines Bauteiles ist, desto geringer ist der Wärmestrom, der durch diese Schicht hindurchfließt. Nun kann aber jede dieser dünnen Schichten Wärme speichern. Das bedeutet, dass jede Schicht entsprechend ihren eigenen Wärmestrom aufweist, der Wärmestrom also nicht in jeder Schicht identisch ist. Wenn zum Beispiel eine Wand viel Wärme gespeichert hat, so ist ihr Kern wärmer als ihre Außenseiten, so dass Wärme gleichzeitig nach beiden Seiten abströmt. Dieses Verhalten lässt sich mit der simplen Einzahlangabe eines U-Wertes nicht mehr beschreiben.“

Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

„Ausspeichervorgänge erfolgen immer als kontinuierliche Wärmeabgabe, je nach den Temperaturdifferenzen zwischen Bauteil und angrenzender Luft und den spezifischen Baustoffeigenschaften und Bauteilschichtungen.

Einspeichervorgänge sind komplexer und werden nicht nur durch Temperaturunterschiede, sondern auch durch die auf die Bauteile auftreffende Sonnenstrahlung beeinflusst. Es sind daher nicht nur Baustoffeigenschaften und Bauteilschichtungen, sondern auch Bauteiloberflächen relevant.

Massive Konstruktionen sind in der Lage, sowohl die Sommertauglichkeit als auch in geringem Maße den Heizenergieverbrauch positiv zu beeinflussen. Der thermische Vorgang ist in beiden Fällen ähnlich: Die tagsüber eingespeicherte Solarenergie soll bis in die Nacht hinein in den Massen verbleiben, um an die kühle Sommernachtsluft abgeführt zu werden bzw. um in Winternächten die Wärme der Heizung zu substituieren.“

5.5 Fraunhofer IBP, 2000

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden vergleichende Untersuchungen an handelsüblichen und IR reflektierenden Fassadenanstrichen durchgeführt.⁴² Die monolithischen Wandelemente bestanden aus 36,5 cm starkem Mauerwerk mit $\rho = 1.900 \text{ kg/m}^3$ und $\lambda = 0,89 \text{ W/mK}$, traditionell verputzt. Der k-Wert betrug $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

"Durch solare Einstrahlung über das Winterhalbjahr 1999/2000 verringert sich der Transmissionswärmestrom durch Absorption bei allen Feldern, so daß die temperaturbezogene Wärmestromdichte durchwegs geringer ist und zwar um 20 bis 35 % (vgl. Tabelle 3 und 4). Beim WDVS zeigt sich ebenfalls eine Reduzierung von 15 bis 19 %."

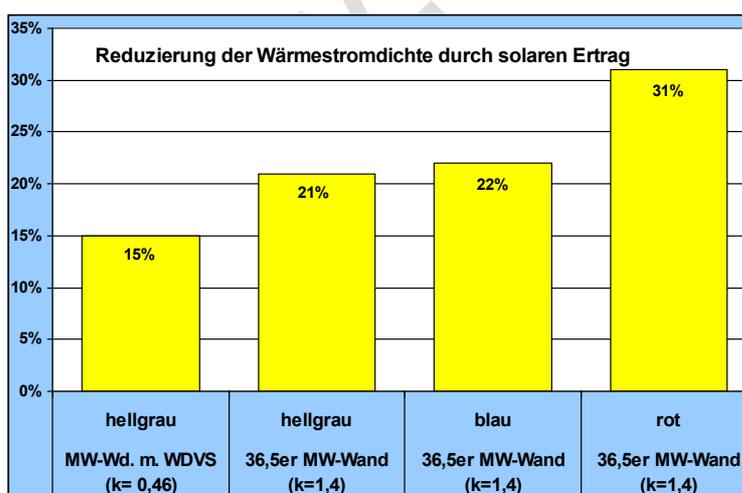


Abbildung 13: Reduzierung der Wärmestromdichte durch solaren Ertrag

Als bedeutungsvollen Nebeneffekt stellten die Holzkirchener Bauphysiker im Ergebnis ihrer Untersuchung fest: „Bei dem traditionellen Wandaufbau wirkt sich die durch Strahlung tagsüber eingetragene solare Wärme auf den Temperaturverlauf bis in die Nacht hinein aus.“

Dies zeigt zum einen die Wirkung des Speichervermögens der Wandkonstruktion, die den Wärmestrom reduziert, indem sie bis in die Nachtstunden hinein die thermische Barriere aufrechterhält. Zum anderen führt diese Feststellung zahlreiche Thermografien ad absurdum, wo bestimmte Experten glauben, anhand von Bildchen mit gelben Wandflächen nachweisen zu können, dass ungedämmte monolithische Wände ungebremst Wärme nach außen abgeben. Das Schema sieht dabei so aus: gelb = warm = Energieschleuder / grün/blau = kalte Oberfläche = der Beweis für Energieeinsparung; dazu kommt als Krönung der bauphysikalischen Verbiegungen die Gleichsetzung von Temperatur und Wärme.⁴³

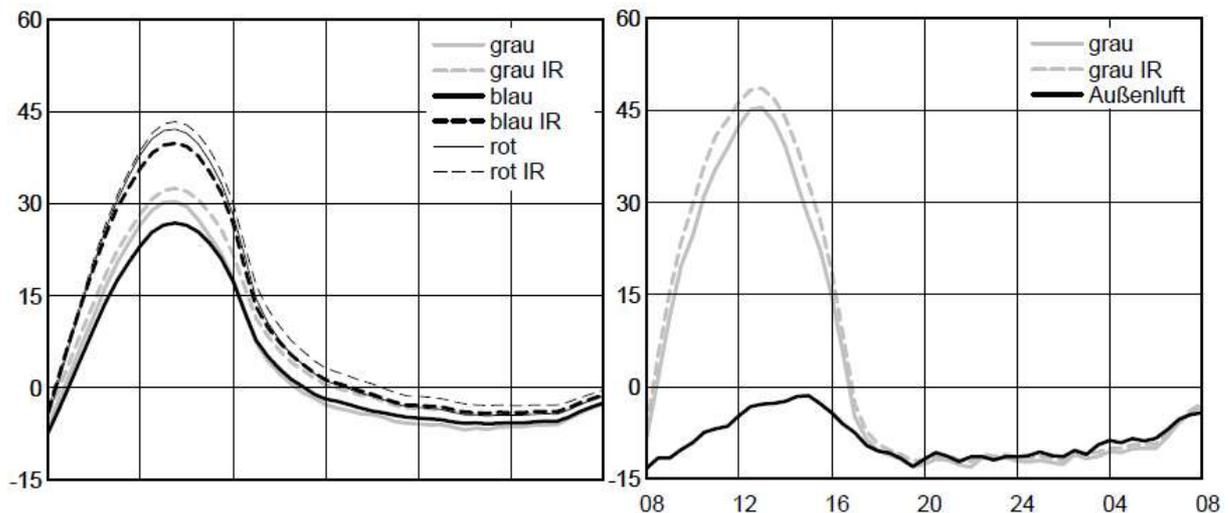


Abbildung 14: Bild 4: Zeitliche Verläufe der Oberflächentemperaturen der Versuchsfelder an einem kalten Wintertag. Linkes Diagramm, graue Linie: traditionelles Mauerwerk; rechtes Diagramm, graue Linie: WDVS (Wärmedämmverbundsystem)

Zudem lieferten die Bauphysiker vom IBP den klaren messtechnischen Beleg, welche wichtige Rolle das Speichervermögen spielt. Vergleichen wir die Wandoberflächentemperaturen der Versuchsfelder und beschränken wir uns jeweils auf die durchgezogene graue Linie für den grauen Anstrich, stellen wir fest, dass die Oberflächentemperatur der grau gestrichenen monolithischen Wand bei ca. 30°C, die des grau gestrichenen WDVS bei 45°C im Maximum liegt.

Bei der monolithischen Wand, die einen „schlechten“ U-Wert besitzt, wird die Wärme ins Innere der Wand geleitet und für ein paar Stunden eingespeichert. Die Wand mit dem WDVS besitzt einen „guten“ U-Wert, sie leitet weniger Wärme ins Innere. Speichern kann sie kaum etwas, denn der Dämmstoff hat eine sehr geringe Rohdichte (15 bis 45 kg/m³) und die speicherfähige Schicht – Spachtel mit Armierung, darauf der Putz - ist nur 5-8 mm dünn. Die Oberfläche kühlt stärker aus.

5.6 IB Rauch, 2001

Dass nicht nur die so genannten „anerkannten“ Institute zu messtechnischen Leistungen befähigt sind, hat Dipl.-Ing. Peter Rauch aus Leipzig unter Beweis gestellt. Seine Feststellungen sind selbst erklärend, so dass hier das Zitat genügen soll.

„Es konnte festgestellt werden, dass auch an Tagen, wenn keine Sonne scheint, eine geringe Temperaturerhöhung an der äußeren Wandoberfläche erfolgt. Dabei ist diese Temperatur höher als die im Wandinneren. In dieser Zeit lag zusätzlich ein Wärmestrom von außen nach innen vor.“

Es kam bei 12 Tagen durchschnittlich zu einer Temperaturerhöhung von 5 K. Zeitverzögert erfolgte eine Abkühlung, die sich über einen Zeitabschnitt von 10 bis 18 Std. erstreckte, bis das ursprüngliche Niveau erreicht war. Die Zeitdauer ist abhängig von der Änderung der Lufttemperatur im Außenbereich und auch von der Luftbewegung.

Es konnten die Messergebnisse von Wiechmann und Varsek in Bruchsal an einer Außenwand 2.OG [3] am 19. bis 22.2.82 allerdings an einer einschaligen Ziegelwand mit 40 cm in etwa bestätigt werden. Dort wurden jedoch Oberflächentemperaturen an der Außenwand von 25 bis 30°C gemessen. Bei

Feist [4], auch eine 40er Ziegelwand, liegen die Temperaturen annähernd in dem Bereich der eigenen Messergebnisse.

Es liegt auch bei dieser 25er Ziegelwand ein eindeutiger instationärer Zustand vor. Stationäre Berechnungen, wie sie für den u-Wert gilt, gelten nur für einen Beharrungszustand. Sie führen im Ergebnis des Versuches zu einer falschen Annahme. Durch Meier [1] wird die Wärmestrahlung an Außenwänden betrachtet und die Wärmespeicherung in die Berechnung einbezogen.

Die Wärmespeicherung einer 11,5er Ziegelwand liegt bei 57,96 Wh/m²K. Durch die Innendämmung ist der Temperaturverlauf im Wandinneren spekulativ. Da sich der Messpunkt 10 cm von außen befindet und eine durchschnittliche Temperaturerhöhung von 5 K vorlag, kann ohne Probleme dieser Wert übernommen werden. Es lag damit mindestens eine eingespeicherte Solarenergie von 290 Wh/m² (5 K x 57,96 Wh/m²K) vor.

Bei der vorliegenden Temperaturdifferenz von 18 K und dem rechnerischen u-Wert von 0,94 W/m²K müsste der Wärmestrom von innen nach außen ca.410 Wh/m² betragen. Die Differenz aus der eingespeicherten Solarenergie und dem theoretischen Wärmestrom liegt bei 220 Wh/m². Damit ergibt sich bei der 25er Ziegelwand ein Wärmestrom von 220 Wh/m². Der Ueff-Wert liegt damit bei ca. 0,5 W/mK.“⁴⁴

5.7 IB Rauch, 2002

Auch die Wiederholungsmessungen führten zu vergleichbaren Ergebnissen.⁴⁵

„Wie bereits im Protokoll von Februar dargestellt wurde, ist diese Außenwand keine optimale Konstruktion in Bezug auf Wärmespeicherung und Wärmeleitfähigkeit. Trotzdem ist am Tag ein Wärmestrom von außen nach innen deutlich erkennbar.

Für eine eindeutige Bewertung der solaren Energiegewinnung an einer massiven Außenwand sind möglichst über das gesamte Jahr langzeitliche Messungen erforderlich. Dabei sollten 4 verschiedene Außentemperaturen (Temperatur außerhalb des Strahlungsbereiches des Gebäudes, Lufttemperatur am Gebäude mit und ohne Besonnung, die Oberflächentemperatur (außen), 3 bis 5 Temperaturen im Wandquerschnitt, die Innenraumtemperatur und die Wandoberflächentemperatur (innen) erfasst werden. Die Messfolge sollte mindestens 1/2 stündlich erfolgen. Dabei sollte die Messung möglichst auch an verschiedenen Gebäuden und Wandkonstruktionen (massive Konstruktionen, Leichtbaukonstruktionen und gedämmte Fassaden) einbeziehen. Temperaturmessungen für die Bestimmung von Wärmeströmen sind nicht einfach und unterliegen vielen unerwünschten Störquellen. Hier sollten die verschiedenen Messverfahren kombiniert werden.“

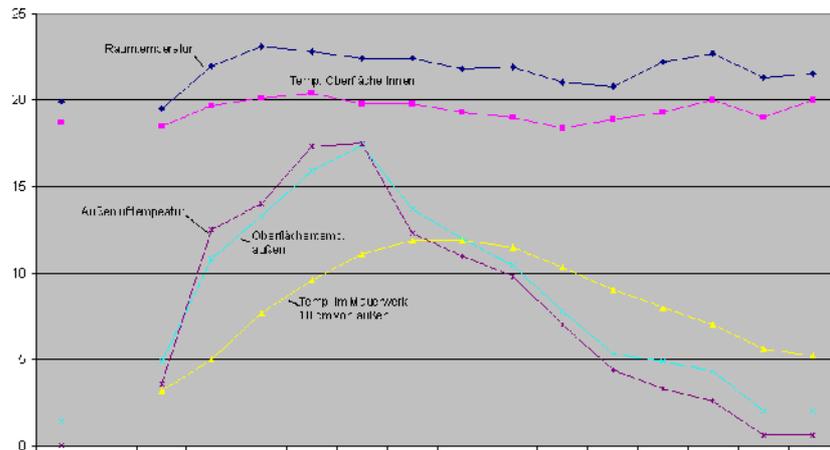


Abbildung 15: Diagramm 1: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: 9.10 bis 15.15 Uhr Sonnenschein, davon ca. 2 Std. von Baumäste leicht überschattet ⁴⁴

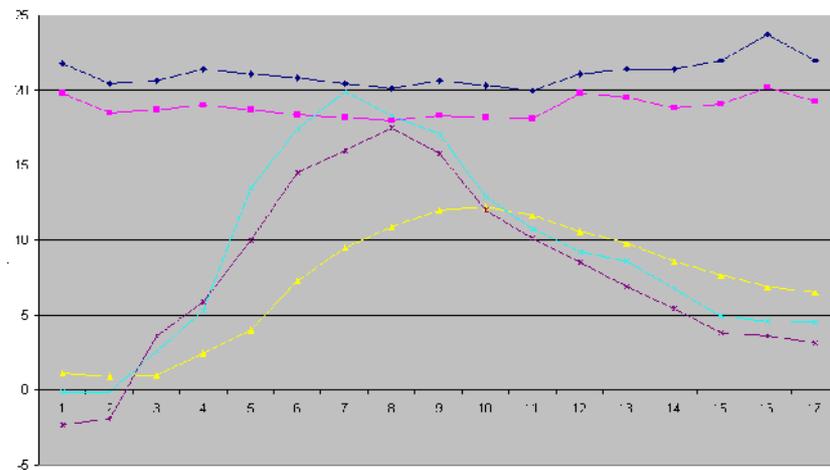


Abbildung 16: Diagramm 2: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: 9.10 bis 15.15 Uhr Sonnenschein, davon ca. 2 Std. von Baumäste leicht überschattet ⁴⁴

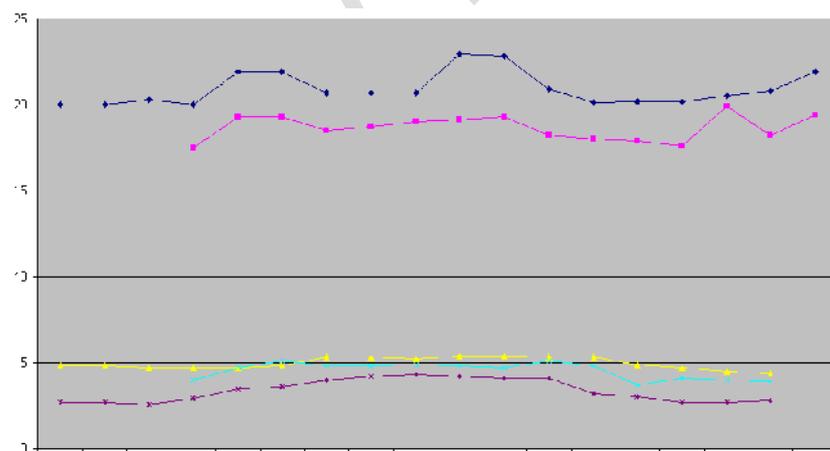


Abbildung 17: Diagramm 3: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: leichter Niederschlag ab 10 Uhr Schneefall, ab 13 Uhr stark bewölkt ⁴⁴

Legende zu Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17: Reihe
 1 = Raumtemperatur; Reihe 2 = Temp. Wand innen; Reihe 3 = Temp. in der Wand (10 cm von außen);
 Reihe 4 = Temp. Wand außen; Reihe 5 = Lufttemperatur außen (geschützt) ⁴⁴

6 Grundlagen, Lösungsansätze

6.1 Korrekturen in den Normen?

Würden einem die Möglichkeiten der Dämmstoffindustrie zur Verfügung stehen und wäre gleichzeitig der politische Wille gegeben, wäre es ein leichtes, den Unfug im Normenwerk gerade zu biegen. Wie einfach das geht, hat der FV TWD demonstriert:

„Eine Quantifizierung der Energiegewinne ist auf der Basis einer Richtlinie des Fachverbandes TWD in einfacher Weise ohne Simulationsprogramm möglich. Diese Richtlinie ist über die Neuauflage der DIN 4108 Teil 6 an die Normung und an die Energiesparverordnung angebunden, so dass die Berücksichtigung der positiven Energiebilanz der TWD in Zukunft in Bezug auf nationale Anforderungen gegeben ist. Da jedoch die teilweise frei erhältlichen Berechnungshilfen zur EnEV die Transparente Wärmedämmung nicht explizit berücksichtigen, hat der Fachverband eine Berechnungshilfe (Excel-Blatt) entwickelt, das Eingabeparameter aus Kennwerten der Wand und der TWD-Systeme berechnet.“⁴⁶

Doch nach wie vor gilt: "Quod licet Iovi, non licet bovi".⁴⁷ Worin besteht das Dilemma? Mit dem Charakter der DIN Normen haben sich schon die höchsten Gerichte in Deutschland befasst. Hier eine kurze Zusammenfassung:⁴⁸

DIN Normen

- dürfen nicht unkritisch als "geronnener Sachverstand" verstanden werden
- dürfen nicht unkritisch als reine Forschungsergebnisse verstanden werden
- es handelt sich um Vereinbarungen interessierter Kreise
- dienen dem Zweck einer bestimmten Einflussnahme auf das Marktgeschehen
- genügen nicht Anforderungen an Neutralität und Unvoreingenommenheit
- können nicht als "außerrechtliche Fachfragen" eingestuft werden
- sind als Ersatz für rechtliche Regelungen ungeeignet
- sind oft das Ergebnis eines Kompromisses der unterschiedlichen Zielvorstellungen
- haben nicht schon Kraft ihrer Existenz die Qualität von anerkannten Regeln der Technik
- sind den anerkannten Regeln der Technik unterzuordnen
- sind keine Rechtsnormen, sondern private technische Regelungen mit Empfehlungscharakter
- können die anerkannten Regeln der Technik wiedergeben oder hinter diesen zurückbleiben
- die anerkannten Regeln der Technik dürfen keineswegs mit den DIN-Normen identisch gesetzt werden
- der Begriff der anerkannten Regeln der Technik geht über den der DIN-Normen hinaus
- das DIN hat keine Rechtsetzungsbefugnisse
- den Normenausschüssen gehören Vertreter von Unternehmen an, die ihre Eigeninteressen einbringen

Mit dem gesamtwirtschaftlichen Nutzen der Normung befasste sich eine Studie aus 2000, die im Teil B den volkswirtschaftlichen Nutzen behandelt.⁴⁹ In der Zusammenfassung gab man sich optimistisch: "Insgesamt hat die Studie das Potenzial, einen nachhaltigen Impuls in der strategischen Diskussion über die Zukunft der Normung auszulösen." Für die Normen betreffend den Wärmeschutz von Gebäuden blieb offensichtlich dieser Impuls aus, wie uns das hanebüchene Beispiel der Berechnung solarer Gewinne für opake Bauteile in DIN V 4108-6, die nach wie vor als umstrittene Vornorm vor sich hindümpelt, zeigt.

Auch ist es nicht geeignet die Fachwelt optimistisch zu stimmen, wenn statt Beseitigung der offensichtlichen und groben handwerklichen Fehler weiter nur gewerkelt wird. So hat sich der Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. als Projekt für 2008 die DIN 4108-2 "Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz" vorgeknöpft. Hierbei geht es um Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen und wärmetechnische Hinweise für die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten. Die Vornormen DIN V 4108-4 und DIN V 4108-6 stehen nicht auf dem Projektplan.

6.2 Physik vs. „Bauphysik“

Was ist die „Bauphysik“? Schaut man sich die Formeln und Modelle an, scheint es sich um ein Sondergebiet der Physik zu handeln, bei dem Naturgesetze neu definiert werden. Der Begriff der „normierten Randbedingungen“ bedeutet nichts weiter, als dass Formeln und Modelle so lange beschnitten und hingebogen werden, bis eine aufgestellte Theorie innerhalb dieses willkürlichen Rahmens scheinbar beweisbar wird.

In einem im Januar 2003 veröffentlichten Forschungsbericht weist Prof. Hauser nach, dass die bestehenden normierten Berechnungsverfahren alles andere liefern als praxisnahe und taugliche Ergebnisse. Auch wenn es hierbei nicht um den Beitrag solarer Gewinne geht, ist dies eine fundamentale Aussage zum Stand der Normung und der Wissenschaft: **Die Berechnungsverfahren der Normen erlauben keine realistische Einschätzung der Feuchte- und Wärmebilanz von Bauteilen.**⁵⁰

Die wichtigsten Kernsätze sollen dies verdeutlichen, wer sich hierfür interessiert, kann es ausführlicher nachlesen. Der Artikel wurde im Juni 2007 veröffentlicht.⁵¹

„Der in Ansatz gebrachte Wassertransport in den Bauteilen berücksichtigt allein die Wasserbewegung infolge von Diffusion. Andere Transportphänomene, die wie die Kapillarleitung den Feuchtetransport dominieren können, bleiben unberücksichtigt. Auch die von den Materialeigenschaften abhängige Wasserspeicherfähigkeit wird nicht in Ansatz gebracht. Deshalb ist es mit dem Nachweisverfahren nicht möglich, Rückschlüsse auf die sich in Bauteilen ansammelnde Wassermenge zu ziehen und realistische Wassergehalte zu ermitteln.“

„Die Berechnungsverfahren der Normen enthalten Vereinfachungen, die es nicht erlauben, eine realistische Einschätzung der Feuchtebilanz von Bauteilen vorzunehmen. Die Ergebnisse können nur mit modellkonformen Kriterien eingeschätzt werden.“

„Soll die Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen überprüft werden, reicht ein formaler Nachweis, wie ihn das Glaserverfahren gemäß 4108-3:2001-07 darstellt, nicht aus. Unter praktischen Bedingungen zu erwartende Wassergehalte müssen ermittelt und kritisch beurteilt werden.“

„Die Auswertung der Berechnungsergebnisse von DIN EN ISO 13788:2001-11 und den Simulationsrechnungen zeigen, dass bei monolithischen und zweischalige Wänden eine Bewertung ohne Erweiterung des Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung der Kapillarleitung nicht sinnvoll ist.“

Nun muss es ja nicht zwangsläufig bedeuten, dass derjenige, der den Einfluss der Feuchte nicht versteht und ignoriert auch nicht mit der Erfassung solarer Gewinne umgehen kann. Auch wenn seit 100 Jahren auf dem Gebiet der so genannten Bauphysik nicht mehr allzu viel Neues und Fundamentales hinzu gekommen ist, dafür aber viel in den Schubladen verschwunden ist, sollte man der Wissenschaft durchaus zutrauen, diese Probleme korrekt zu handhaben.

Dass dies wider besseren Wissens geschieht, legt den Verdacht nahe, dass dies interessengeleitet geschieht. Somit sind wir wieder bei dem Punkt angelangt, dass eine normierte Sache normiert ist und dass sich allein daraus kein Anspruch auf Richtigkeit ableiten lässt.

Was bedeutet „Bauphysik“?

In der so genannten Bauphysik geht es um „Übertragungsphänomene der Wärme (auch bei höheren Temperaturen im Brandfall), der Feuchte, des Schalls und des Lichts. Im Inneren eines Bauwerks, innerhalb der Bauteile selbst, in einem Raum und in der Umgebung eines Bauwerks.“⁵²

Die Aufgabe der Bauphysik besteht demnach in der wissenschaftlichen Behandlung thermischer, feuchtetechnischer und akustischer Vorgänge im Hochbau. Aus der Praxis wissen wir, dass eine „wissenschaftliche Behandlung“ nur durch die so genannten „anerkannten Institute“ erfolgt. Warum das so sein soll, weiß so richtig vermutlich keiner.

Als Anfang der 70er die Maschinenbauer das Fachgebiet an sich rissen und die Interessen bestimmter Kreise bediente, ging die Bauphysik – staatlich protegiert - eigenartige Wege. Ein prägnantes Beispiel ist das Speichervermögen der Außenwände, welches mit der 1. Wärmeschutzverordnung aus der DIN 4108 verschwand, um dann ein paar Jahre später im Zusammenhang mit Transparenten Wärmedämmungen ausnahmsweise wieder zu gelten.

Konnte man Anfang des 20. Jh. noch zugute halten, dass der Stand der Wissenschaft noch nicht so weit fortgeschritten war, um es besser zu wissen, muss man heutzutage Vorsatz unterstellen, wenn z.B. die Wirkungen der Speicherefähigkeit und der solaren Erträge der Außenwände negiert werden und wenn nach wie vor praxisuntaugliche, realitätsferne Berechnungsverfahren die Wärmeschutz-Normen dominieren.⁵³

Befasst sich ein Physiker anstelle eines „Bauphysikers“ mit solchen „Übertragungsphänomenen“, sehen sowohl die Herangehensweise als auch die Ergebnisse deutlich anders aus, zumindest war dies noch in den 70ern der Fall, wie uns Ausführungen von Lindner zeigen.⁵⁴

„1. Stationäre Wärmeleitung.

Hierbei müssen die Temperaturen θ_1 und θ_2 an den beiden Endflächen, deren Abstand l gleich ist, während des ganzen Vorgangs konstant bleiben, wie es bei dem beschriebenen Meßverfahren der Fall ist. Es herrscht also zwischen ihnen ein konstantes Temperaturgefälle $(\theta_1 - \theta_2) / l$. So ist es beispielsweise, wenn ein Haus auf gleicher Innentemperatur gehalten wird und die Temperatur der Außenluft sich ebenfalls nicht ändert. Dann ist auch Gleichung (120) anwendbar.

[M.B.: Gleichung (120) ist die in dem Beispiel 3 verwendete Formel.]

2. Nicht stationäre Wärmeleitung.

Ein isoliert gedachter Körper sei an einem Ende auf die Temperatur θ_2 erhitzt. Das kühlere Ende habe anfangs die Temperatur θ_1 . Dann wird sich der Temperaturunterschied infolge der Wärmeleitung im Laufe der Zeit ausgleichen und der ganze Körper einheitliche Temperatur annehmen. Das Temperaturgefälle ist hierbei weder örtlich noch zeitlich konstant, und die Berechnung wird komplizierter. Maßgebend für die zum Temperaturausgleich benötigte Zeit ist der Ausdruck $\lambda / \rho c_p$ Temperaturleitzahl.

Beispiele:

3. An der Außenfläche einer 50 cm dicken Hauswand von 8 m x 15 m werden 5°C und an der Innenfläche 12 °C gemessen. Welche Wärmemenge geht während 12 Stunden durch die Wand verloren (Ziegelmauer $\lambda = 0,4 \text{ kcal/m h grad}$)?

$$Q = (\lambda (A t (\theta_1 - \theta_2)) / \lambda 0,4 \times 120 \text{ m}^2 12 \text{ h} (12 - 5) \text{ grad} / \text{m h grad} 0,5 \text{ m} = 8064 \text{ kcal}$$

Es muß betont werden, daß die in diesem Beispiel erwähnten Temperaturen an der Oberfläche der Wand bestehen und nicht mit der Zimmer- bzw. Außentemperatur zu verwechseln sind.“

Zur Zusammenfassung sollen zwei einfache Fragen genügen:

Frage 1: Wann darf stationär gerechnet werden?

Frage 2: Wo ist die Rede von den Lufttemperaturen?

6.3 Datenbasis: das Sonnenangebot

Eine Vorstellung zum Strahlungsangebot an einem zwischen -2 und -13°C kalten Wintertag liefern neben ²³ die Messergebnisse aus Holzkirchen ⁴², wobei leider nicht erklärt wird, was mit „Südstrahlung“ gemeint ist. Aus dem Kontext des Forschungsberichtes folgt, dass es sich um eine Südwand handelt, den Beträgen nach muss es sich um die Globalstrahlung handeln.

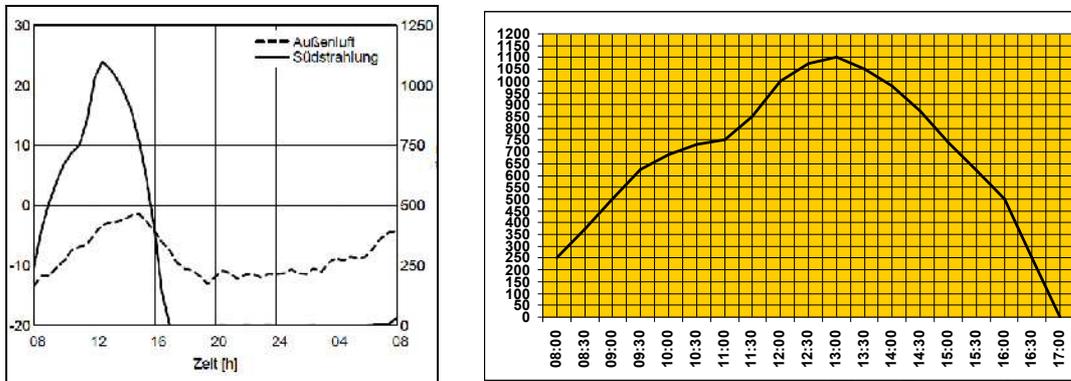


Abbildung 18: Bild 3 aus ⁴²

Abbildung 19 (rechts): Rekonstruktion der Kurve zum Strahlungsangebot im Bild links

Herrn Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer haben wir infolge seiner umfangreichen Messungen im ersten Viertel des 20. Jh. auch Angaben zur Wärmezuflussung auf Gebäude zu verdanken. Vielen bekannt ist seine Datentabelle zur Abnahme der Dämmwirkung durch Feuchte, aus der eine Grafik entwickelt wurde, sie ist weiter vorn als **Abbildung 5** dargestellt (Kapitel 4.3, Seite 16).

Zwar hat sich Cammerer ⁵⁵ vorrangig mit Problemen des sommerlichen Wärmeschutzes befasst, aber auch für die Winterzeit liegen Daten der direkten Sonnenstrahlung als Ergebnis von Messungen vor. Die Einheit kcal/m²h lässt sich leicht umrechnen, so dass die SI-Einheit W/m² vorliegt. ⁵⁶

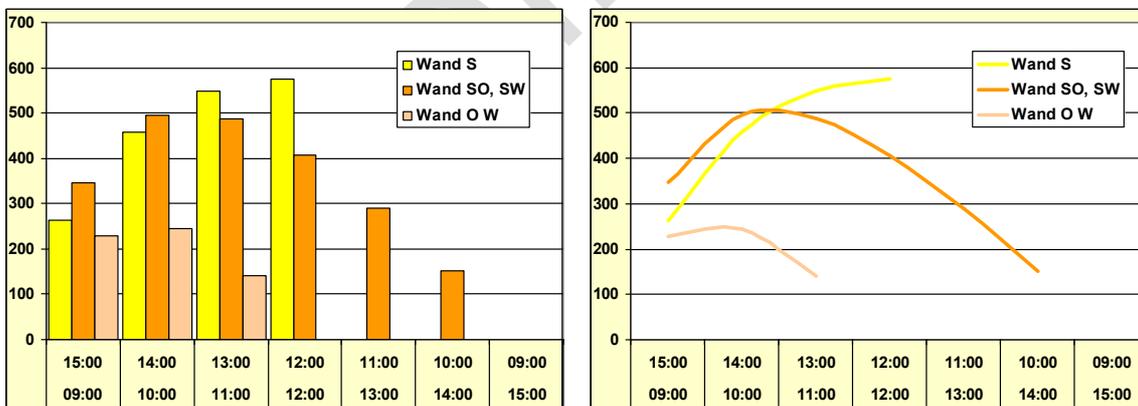


Abbildung 20: Direkte Sonnenstrahlung auf Hauswände in kcal/m²h für 50° geografische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität für Potsdam nach J.S. Cammerer und W. Christian, nach Auszug aus Zahlentafel 32; die obere Uhrzeitenreihe gilt für die Ausrichtungen S, SO, O, ON, N, die untere Uhrzeitenreihe gilt für die Ausrichtungen S, SW, W, NW, N ⁵⁵

Abbildung 21 (rechts): Alternativdarstellung zur linken Abbildung

Aus den Messdaten von Cammerer lassen sich für den 1. Januar Uhrzeit weise die Strahlungsintensitäten nach Himmelsrichtung zuordnen. Nun wird mancher sagen: na, dann führt doch die Daten entsprechend zusammen. Doch das ist eine gute Idee, die am mangelnden Willen scheitert. Das folgende Beispiel zeigt uns, dass vor dem Gesetz alle gleich sind, nur eine Minderheit ist gleicher.

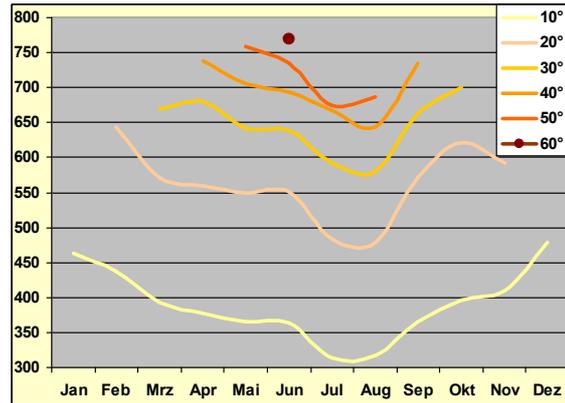
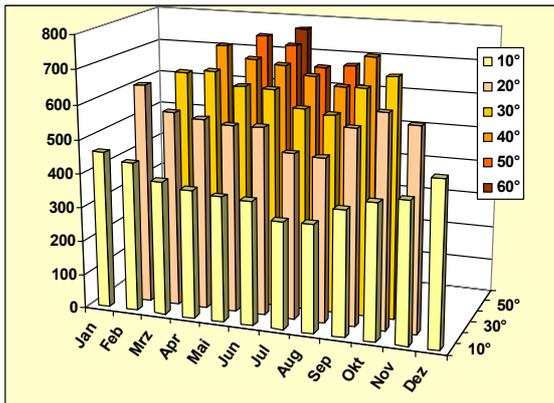


Abbildung 22: Direkte Sonnenstrahlung auf die Normalfläche in kcal/m²h nach Messungen in Potsdam 1907-1923 auf der Grundlage von Zahlentafel 31⁵⁵

Abbildung 23 (rechts): Alternativdarstellung zur linken Abbildung

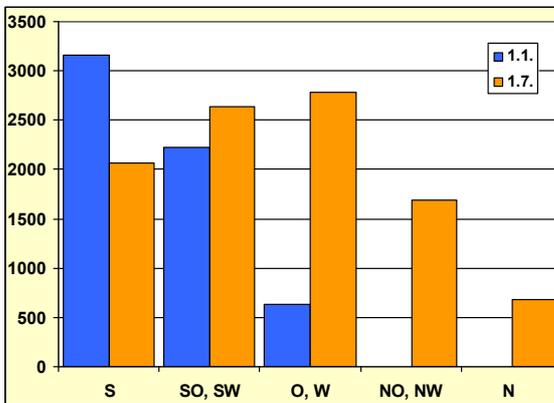


Abbildung 24: Direkte Sonnenstrahlung auf Hauswände, Tagessumme in kcal/m²h für 50° geografische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität für Potsdam nach J.S. Cammerer und W. Christian, nach Auszug aus Zahlentafel 32;⁵⁵

In der EnEV 2001 hieß es noch: „Als Vergleichsmaßstab für Energieverbrauchskennwerte nach Absatz 5 gibt das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Bundesanzeiger durchschnittliche Energieverbrauchskennwerte und deren Bandbreiten, die den topographischen Unterschieden in den einzelnen Klimazonen Rechnung tragen, sowie die für die Witterungsreinigung erforderlichen Daten bekannt. Bei der Bekanntmachung durchschnittlicher Energieverbrauchskennwerte ist sachgerecht nach den wesentlichen Gebäude- und Nutzungsmerkmalen zu unterscheiden.“⁵⁷

Über mehrere Jahre ignorierten die zuständigen Ministerien die in der EnEV geregelte Verpflichtung zur Veröffentlichung der durchschnittlichen Energieverbrauchskennwerte und deren Bandbreiten, die den topographischen Unterschieden in den einzelnen Klimazonen Rechnung tragen, sowie der für die Witterungsreinigung erforderlichen Daten.

Dann lautete die Passage in der EnEV 2006: "Als Vergleichsmaßstab für Energieverbrauchskennwerte von Nichtwohngebäuden nach Absatz 2 sind die vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Bundesanzeiger bekannt gemachten Vergleichswerte zu verwenden."⁵⁸

Nach 5 Jahren des Aussitzens entledigte sich der Gesetzgeber klammheimlich seiner selbst auferlegten Verpflichtung bezüglich der für die Witterungsreinigung erforderlichen Daten. Auch eine Gradtagszahlentabelle wird nicht zur Verfügung gestellt.⁵⁹

Der Fachmann wird mit so genannten Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise abgespeist, dazu ein griffiger Slogan: „Damit Ihr Energieverbrauchsausweis noch verlässlicher wird.“ Die Definition für den imaginären begriff Klimafaktor ist jedoch wenig dazu angetan, ein Gefühl der Verlässlichkeit aufkommen zu lassen:

„Ein Klimafaktor ist eine Maßzahl, die sich auf einen Zeitraum von 12 Monaten bezieht. Sie wird monatlich berechnet und gilt jeweils für den angegebenen Monat und die 11 Monate davor. Bisher standen Klimafaktoren entgeltfrei lediglich für eine beschränkte Zahl von etwa 40 Wetterstationen zur Verfügung; sie wurden entsprechend einer Zuordnungstabelle in größeren Regionen Deutschlands zur Klimabereinigung verwendet. Dies wurde oft den wirklichen Standortbedingungen nicht gerecht. Der Deutsche Wetterdienst berechnet Klimafaktoren flächendeckend für ganz Deutschland und stellt ab jetzt standortbezogene Klimafaktoren für jede Postleitzahl (genau: für jede Zustell-PLZ) zur Verfügung. Somit gibt es für jeden Monat etwa 8.400 Klimafaktoren.“⁶⁰

Es geht aber auch etwas genauer: „Dieser berücksichtigt sowohl die Temperaturverhältnisse während eines Berechnungszeitraumes, als auch die klimatischen Verhältnisse in Deutschland.“⁶¹

Unterstellt man, dass tatsächlich alle Wetterdaten in die so genannten Klimafaktoren eingeflossen sind, ringt das eine gewisse Bewunderung ab. Wie gelingt es, die Temperaturverläufe, Luftfeuchtwerte, Niederschlagsmengen, Sonnenscheinintensitäten und -stunden in einen Faktor zu stopfen? Und wozu soll das gut sein, wo doch die einzelnen Wetterbestandteile sehr unterschiedlich in ihrer Wirkung auf die Energiebilanz des Gebäudes zu bewerten sind?

Seit Künzels viel zitierter Dissertation aus 1994⁶² ist im Ergebnis durchgeführter Untersuchungen bekannt, dass übers Winterhalbjahr die Regenenthalpie⁶³ fast das Vierfache der Transmission betragen kann. Insofern bestehen die Energie relevanten Wetterdaten auch aus den Niederschlagswerten je Monat und Region.

Vielleicht gelingt es noch, hier eine brauchbare Datenbank zu erstellen oder eine Berechnung aus Bestehendem abzuleiten. Ein Ansatz könnte darin bestehen, die „Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität“ unter Zuhilfenahme der Sonnenscheindauer auf die Zeit mit Sonnenschein umzurechnen.

Um eine Vorstellung zu gewinnen, wie gut dokumentiert Wetterdaten sein können, werden im Folgenden mittlere Daten für Berlin in selten zu findender Vollständigkeit aufgeführt.⁶⁴

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Lufttemperatur (°C)	-0,4	0,6	4,0	8,4	13,5	16,7	17,9	17,2	13,5	9,3	4,6	1,2	8,9
Absolute Höchsttemperatur (°C) *	15,2	18,6	25,1	30,9	33,2	35,0	37,8	37,7	34,2	27,5	19,5	15,7	37,8
Mittlere tägliche Höchsttemp. (°C)	1,8	3,5	7,9	13,1	18,6	21,8	23,1	22,8	18,7	13,3	7,0	3,2	12,9
Absolute Tiefsttemperatur (°C) *	-21,0	-26,0	-16,5	-6,7	-2,9	0,8	5,4	4,7	-0,5	-9,6	-16,1	-20,2	-26,0
Mittlere tägliche Tiefsttemp. (°C)	-2,9	-2,2	0,5	3,9	8,2	11,4	12,9	12,4	9,4	5,9	2,1	-1,1	5,1
Eistage	9,2	5,9	1,3	<0,1	0	0	0	0	0	<0,1	1,3	7,2	24,8
Frosttage	19,9	17,6	12,6	3,4	0,2	0	0	0	<0,1	1,3	8,4	17,0	80,3
Heiztage	31,0	28,0	31,0	29,8	13,2	3,9	0,8	0,7	9,4	31,0	30,0	31,0	239,8
Sommertage	0	0	<0,1	0,4	3,3	7,8	10,3	9,1	2,1	0,1	0	0	33,1
Heiße Tage	0	0	0	0,1	0,2	1,2	2,5	1,6	0,1	0	0	0	5,6
Niederschlagstage ≥ 0,1 mm	17,8	14,3	15,5	14,2	14,0	14,9	13,9	13,4	14,4	14,3	17,0	18,2	181,9
Niederschlag (l/m²)	43,2	36,6	37,5	42,2	55,3	70,7	53,1	65,3	45,5	35,8	49,5	54,5	589,2
Windgeschwindigkeit (m/s)	3,4	3,5	3,8	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,9	3,3	3,3	3,2
Sonnenhöchststand (° am 15. d.M.)	16,4	24,8	35,4	47,3	56,4	60,8	59,1	51,6	40,6	29,0	19,0	14,3	37,5
Sonnenscheindauer (Stunden)	45,4	72,3	122,1	157,7	221,6	220,9	218,0	210,2	156,3	110,8	52,4	37,4	1624,8
Sonnenscheindauer (Stunden/Tag)	1,5	2,6	3,9	5,3	7,1	7,4	7,0	6,8	5,2	3,6	1,7	1,2	4,4
Globalstrahlung (W/m²)	23	48	98	142	195	217	198	160	122	65	27	17	110
Globalstrahlung (kWh/m² je Tag)	0,52	1,14	2,34	3,39	4,66	5,18	4,73	3,82	2,91	1,55	0,64	0,40	2,62

Tabelle 4: Mittlere Klimadaten (1961-1990) Berlin-Dahlem, Legende: *) 1909-1999

Das Angebot an solarer Einstrahlung hängt davon ab, wie lange und wie intensiv die Sonne scheint. Die Sonnenscheindauerschwelle wird vom Deutschen Wetterdienst mit 120 W/m² angegeben. Es existieren recht gute Aufzeichnungen hierüber.

"Die Sonnenscheindauer ist ein relativ einfach zu bestimmendes Maß zur näherungsweisen Abschätzung der Einstrahlung an einem Ort. Gleichzeitig gibt sie Hinweise auf die Stärke der Bewölkung.

Die Sonnenscheindauer wird an den Stationen des Deutschen Wetterdienstes bisher im Allgemeinen mit einem Gerät nach Campbell-Stokes gemessen, wobei mittels einer Glaskugel eine Brennspur auf einem Registrierpapier eingebrannt wird. Die registrierte Brennspur wird auf 1/10 Stunden genau manuell ausgewertet. In letzter Zeit werden diese Geräte zunehmend durch photoelektrische Sensoren ersetzt. Für den Zeitraum 1971-2000, der in diesem Atlas dargestellt wird, sind diese neueren Geräte, die teilweise deutlich andere Messcharakteristika besitzen, jedoch noch nicht von wesentlicher Bedeutung. Insgesamt lagen für Deutschland im Zeitraum 1971-2000 rund 270 Stationen mit Sonnenscheinmessungen vor, davon 30 in Hessen.

Auch für diesen Parameter konnten für die verschiedenen Monate Regressionen zur topographischen Höhe bestimmt werden, die allerdings relativ schwach sind und im Jahresgang ihr Vorzeichen umkehren. Im Winter findet man meist eine Zunahme der Sonnenscheindauer mit der Höhe, da die Höhen dann häufig aus dem Nebel und Hochnebel über den Niederungen herausragen. Im Sommer zeigt sich hingegen im Allgemeinen eine leichte Abnahme der Sonnenscheindauer über den Bergländern, da die dort vermehrte Konvektion zu einem häufigeren Auftreten von Kumuluswolken führt." ⁶⁵

"Für die Sonnenscheindauer stehen erst ab 1951 genügend Stationen zur Verfügung, um verlässliche Gebietsmittel zu berechnen. In Abb. 22 ist die entsprechende Zeitreihe der Jahressummen für Baden-Württemberg dargestellt. Es zeigt sich kein nennenswerter Trend. Auffällig ist höchstens, dass die besonders sonnenscheinreichen Jahre am Anfang und am Ende der Zeitreihe auftraten, während zwischen 1965 und 1990 relativ viele sonnenscheinarme Jahre zu verzeichnen waren." ⁶⁶

[AVm]	Monat	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Summe	
Orientierung	Neigung [°]													kWh/m²	
Horizontal	0	26	58	94	155	206	202	206	177	115	69	34	13	997	
	30	43	83	115	173	215	201	208	132	138	94	53	29	1127	
	45	46	90	118	170	205	188	196	136	137	100	59	30	1116	
	60	50	92	115	150	195	167	175	172	102	101	51	32	1052	
	90	46	52	93	116	125	111	118	122	104	87	57	30	796	
	SO	30	37	74	107	166	211	189	205	136	123	85	47	24	1015
		45	35	77	107	162	201	188	194	179	129	87	50	25	1051
		60	40	77	103	151	183	169	175	136	121	85	51	23	984
		90	35	56	81	115	133	121	127	124	95	71	45	24	757
		SW	30	35	76	108	165	200	190	205	135	127	87	47	24
	45		42	79	100	161	190	167	194	179	123	85	50	23	1032
	60		42	79	104	150	180	166	175	135	113	66	51	29	965
	90		36	56	82	114	130	120	127	123	93	74	45	24	756
	O		30	27	56	90	147	194	189	193	137	113	66	34	17
		45	26	54	85	139	182	177	181	156	105	65	33	17	891
60		24	50	79	128	166	161	164	143	97	55	31	15	817	
90		20	40	61	90	125	121	124	110	75	47	26	12	628	
W		30	25	57	91	140	191	180	193	130	100	60	34	17	942
	45	26	55	86	136	178	176	181	155	103	62	33	17	889	
	60	27	52	80	126	162	160	165	142	94	52	31	15	818	
	90	22	42	63	94	123	120	126	110	73	45	25	12	652	
	NW	30	21	40	71	123	169	173	176	141	97	46	23	14	795
45		19	37	64	108	146	153	156	124	78	44	22	13	705	
60		18	34	58	97	129	135	138	110	70	40	20	13	630	
90		14	26	45	75	98	103	106	85	54	31	16	9	484	
NO		30	21	40	71	123	170	174	175	142	99	46	23	14	790
	45	19	36	63	108	149	154	154	124	79	43	22	13	705	
	60	18	33	57	97	131	136	137	110	70	38	20	12	629	
	90	14	26	44	74	99	103	104	84	54	31	15	9	481	
	N	30	20	36	58	110	160	169	169	130	75	40	22	14	734
45		19	34	55	83	126	142	140	99	64	36	21	13	610	
60		17	31	50	77	100	110	110	87	60	36	19	12	518	
90		14	25	46	62	90	99	99	69	40	20	15	9	414	
Tem p [°C]		0,4	1,0	4,0	7,5	12,7	15,8	17,1	17,0	13,0	9,8	3,4	1,7	9,2	

Abbildung 25: Klimatabelle Region 5, wie sie in diversen Programmen als Datenbank integriert ist

Da gute Messwerte über lange Zeiträume vorliegen, waren gute Voraussetzungen geschaffen, eine Datenbank für Berechnungen zu erstellen. Diese liegt in Form der Tabelle A.1 „Mittelwerte der Strahlungsintensitäten und der Außenlufttemperaturen für einzelnen Monate und das Jahr für 15 Regionen in Deutschland“ vor. Sie ist in entsprechenden Berechnungsprogrammen integriert, siehe **Abbildung 25**, vergl. **Abbildung 19** in Kapitel 6.3 auf Seite 27.

Die Strahlungsintensitäten sind für Neigungen von 0, 30, 45, 60 und 90° angegeben. Ein Manko besteht darin, dass die Basisdaten aufgelöst wurden in eine „Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität“ und ein „Jährliches Strahlungsangebot“ für Januar bis Dezember in summa. Diese Art der Datenpräsentation folgt konsequent dem durch die Aufrechterhaltung der U-Wert-Theorie indizierten Zwang zum Mitteln. Gehen wir 70 Jahre zurück, stellen wir fest, dass es auch anders geht.

Eine weitere statistische Größe des Wetters ist die Gradtagzahl GTZ.

Die Gradtagzahl (GTZ) nach VDI 2067 mit der Einheit [Kd/a] stellt den Zusammenhang zwischen der gewünschten Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur dar. Sie wird ortsabhängig gemessen, sobald die Außentemperatur unter 15 °C, der so genannten Heizgrenze liegt. GTZ 20/15 ist die Summe aus der Differenz einer angenommenen Rauminnentemperatur von 20 °C und der jeweiligen durchschnittlichen Tagesaußentemperatur unter 15 °C, die vom Deutschen Wetterdienst angegeben wird.

$$G_{t_{20}/15} = \sum_1^z (t_i - t_a)$$

Formel 10: Formel für GTZ 20/15

Legende:

$G_{t_{20}/15}$: Gradtagzahl für einen Monat bei t_i 20 °C und Heizgrenze von 15 °C

z: Anzahl der Heiztage eines Monats

t_i : mittlere Raumtemperatur von 20 °C

t_a : mittlere Außentemperatur eines Heiztages

Aus dem praktischen Gebrauch sind aber auch andere Kombinationen bekannt, die aus der Raumtemperatur 19 °C bzw. 20 °C in Kombination mit der Heizgrenze bei 15, 12 bzw. 10 °C resultieren. Letztendlich handelt es sich jedoch nur um eine spezifische Form der Statistik der Außentemperaturen.

Aus den vorliegenden Daten lässt sich ableiten, wie die Heizperiode zu definieren ist. Hierbei wird zunächst unterstellt, dass ab der Heizgrenztemperatur geheizt wird. Beispiel GTZ 19/10: dann wird ab 10°C Außentemperatur geheizt, um die Solltemperatur von 19°C für die Raumwärme zu erzielen.

Bekannt ist aber auch, dass die Heizperiode individuell durch den Zeitraum Oktober bis März gekennzeichnet ist. Dazu wird die Steuerung der Heizungsanlage entsprechend eingestellt, alternativ werden die Thermostate auf Frostsicherung gestellt.

langjähriges Mittel * Rostock				langjähriges Mittel * List/Sylt				
Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	
G20/15	Heiztage			G20/15	Heiztage			
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Jan	585	31	1,1	1,1	564	31	1,8	1,8
Feb	524	28	1,5	1,5	520	28	1,6	1,6
Mrz	503	31	3,8	3,8	517	31	3,3	3,3
Apr	385	29	7,1	6,8	399	30	6,7	6,6
Mai	238	26	11,9	10,9	260	27	11,2	10,5
Jun	105	15	15,3	13,1	144	19	14,3	12,6
Jul	30	5	17,5	14,1	62	10	16,5	13,9
Aug	25	4	17,5	14,1	35	6	16,9	14,1
Sep	143	20	14,2	12,8	139	20	14,1	13,0
Okt	307	30	9,9	9,7	298	30	10,3	10,2
Nov	438	30	5,4	5,4	414	30	6,2	6,2
Dez	538	31	2,6	2,6	512	31	3,5	3,5
	3820	281	9,0	6,4	3866	294	8,9	6,9
langjähriges Mittel * Berlin				langjähriges Mittel * Hannover				
Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	
G20/15	Heiztage			G20/15	Heiztage			
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Jan	599	31	0,7	0,7	572	31	1,6	1,6
Feb	523	28	1,5	1,5	512	28	1,9	1,9
Mrz	474	31	4,7	4,7	473	31	4,7	4,7
Apr	325	28	9,0	8,3	347	28	8,3	7,8
Mai	148	18	14,4	11,6	186	21	13,2	11,2
Jun	60	9	17,4	13,1	95	13	15,9	12,7
Jul	19	3	19,4	14,0	42	7	17,9	13,7
Aug	21	3	19,0	13,7	40	6	17,6	13,6
Sep	128	17	14,6	12,4	153	19	13,9	12,1
Okt	306	29	9,8	9,3	312	29	9,7	9,2
Nov	454	30	4,9	4,9	439	30	5,4	5,4
Dez	559	31	2,0	2,0	538	31	2,6	2,6
	3616	257	9,8	5,9	3709	275	9,4	6,5
langjähriges Mittel * Görlitz				langjähriges Mittel * Fichtelberg				
Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	
G20/15	Heiztage			G20/15	Heiztage			
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Jan	638	31	-0,6	-0,6	753	31	-4,3	-4,3
Feb	556	28	0,3	0,3	684	28	-4,2	-4,2
Mrz	505	31	3,7	3,7	680	31	-1,9	-1,9
Apr	358	28	7,9	7,4	552	30	1,6	1,6
Mai	187	21	13,2	11,1	401	30	7,0	6,7
Jun	90	12	16,1	12,5	294	26	9,8	8,8
Jul	46	7	17,9	13,5	237	24	11,7	10,0
Aug	46	7	17,7	13,3	232	24	11,9	10,4
Sep	167	20	13,6	11,6	353	29	8,1	7,7
Okt	332	29	9,1	8,6	491	31	4,1	4,1
Nov	485	30	3,8	3,8	621	30	-0,7	-0,7
Dez	598	31	0,7	0,7	717	31	-3,1	-3,1
	4009	276	8,7	5,4	6018	345	3,4	2,6
langjähriges Mittel * München				langjähriges Mittel * Straubing				
Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagszahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	
G20/15	Heiztage			G20/15	Heiztage			
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Jan	616	31	0,1	0,1	667	31	-1,5	-1,5
Feb	535	28	1,0	1,0	544	28	0,7	0,7
Mrz	477	31	4,6	4,6	491	31	4,1	4,1
Apr	341	28	8,5	7,9	331	28	8,8	8,3
Mai	162	19	13,8	11,3	158	19	14,0	11,8
Jun	75	10	16,9	12,7	66	9	17,0	12,9
Jul	31	5	18,8	13,6	30	5	18,2	13,5
Aug	35	5	18,2	13,4	29	4	18,2	13,6
Sep	154	19	13,9	11,8	168	20	13,4	11,5
Okt	335	30	9,1	8,8	355	30	8,5	8,2
Nov	480	30	4,0	4,0	502	30	3,3	3,3
Dez	583	31	1,2	1,2	627	31	-0,2	-0,2
	3825	267	9,2	5,7	3970	267	8,7	5,1

Abbildung 26: GTZ und Außentemperaturen, Langjähriges Mittel ausgewählter Stationen, 1970 - 2007 (Straubing nur 18 Jahre) aus⁶⁷

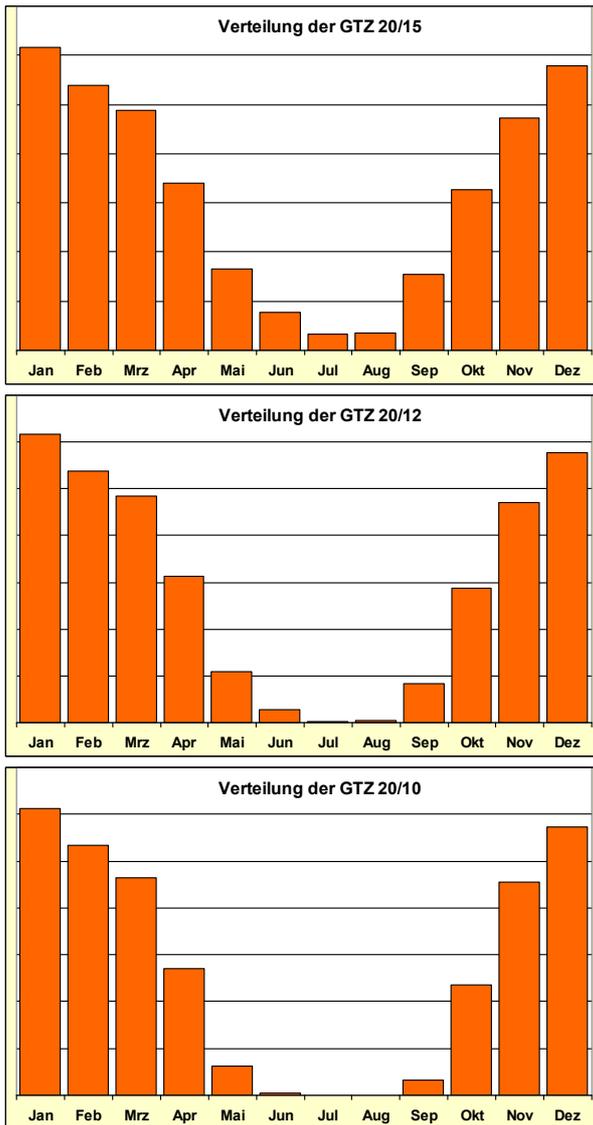


Abbildung 27: die Grafik zeigt den Statistik-Charakter der GTZ

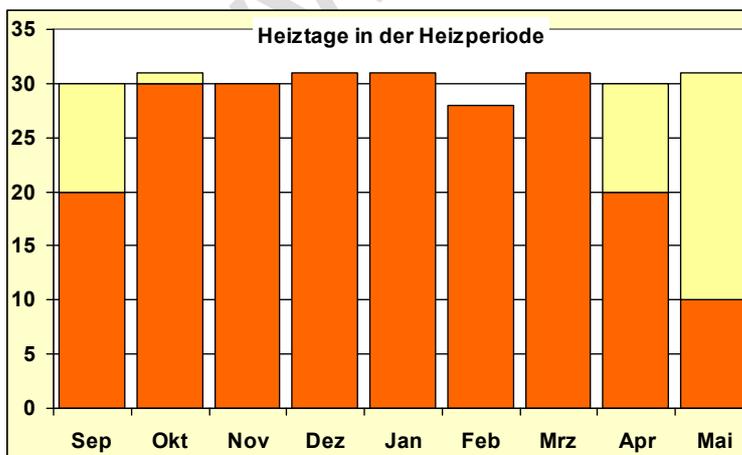


Abbildung 28: Grafische Darstellung der durchschnittlichen Heizperiode dargestellt als Heiztage je Heizperiode (nach langjährigen Mitteln)

Das folgende Beispiel ⁶⁸ zeigt, wie die Auswertung der Außentemperaturstatistik eine Verteilungskurve des Jahresheizenergieverbrauchs liefert, wie dies durchaus mit eigenen Erfahrungen übereinstimmen dürfte.

Dabei bleiben wir bei der normierten Annahme, dass „das Wetter“ allein durch den Verlauf der Außentemperaturen gekennzeichnet ist.

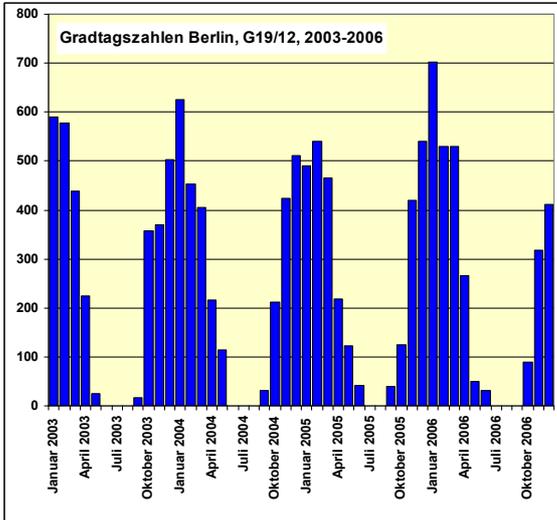


Abbildung 29: Verteilung der Gradtagszahlen, Berlin-Tempelhof, 2003-2006 (Jan-Dez)

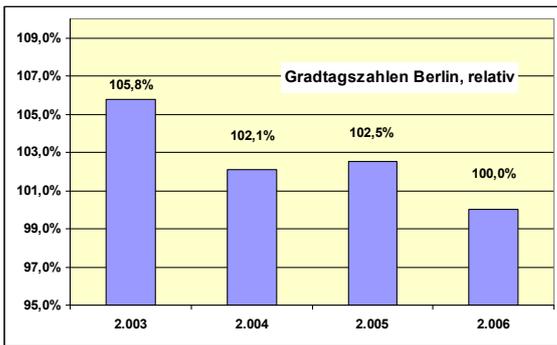


Abbildung 30: Vergleich der Jahressummen der GTZ 19/12 aus Bild 2 (Jahr = Jan-Dez)

Monat	Anteil
Okt	6,5%
Nov	12,5%
Dez	16,5%
Jan	20,5%
Feb	18,0%
Mrz	15,0%
Apr	8,0%
Mai	3,0%
gesamt	100,0%

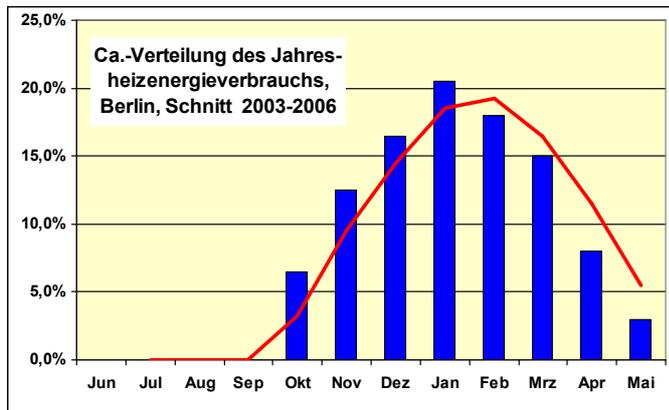


Tabelle 5: verkürzte und gerundete Darstellung der Werte aus ⁶⁸, Jun-Sep = je 0

Abbildung 31 (rechts): statistische Verteilung des Heizenergieverbrauchs, aus Tabelle 6

Bis hierher konnte gezeigt werden, dass hinsichtlich der langjährigen Statistik der Außentemperaturen und der statistischen Verteilung des Heizenergieverbrauchs über das Jahr belastbare Daten zugrunde liegen. Somit ist der Begriff der Heizperiode hinreichend genau definierbar. Außerhalb der Heizperiode

ist das Strahlungsangebot ein Problem, das durch den sommerlichen Wärmeschutz zu lösen ist. Die folgenden Daten zeigen den Sonnenverlauf für Berlin im Zeitraum Oktober bis März.

	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz
Sonnenaufgang	07:32	07:28	08:11	08:10	07:24	06:20
Höchststand	12:52	11:51	12:02	12:16	12:21	12:15
Sonnenuntergang	18:11	16:13	15:52	16:21	17:18	18:11
Höhenwinkel	27,80	18,80	4,02	16,20	24,50	35,50
Schattenlänge (1m)	1,90	2,93	3,95	3,44	2,19	1,40

Tabelle 6: Sonnenscheinwerte für Berlin (52.51 ° N Breite, 13,41 ° O Länge), Quelle: ⁶⁹

Im Folgenden soll betrachtet werden, welches Strahlenangebot der Sonne in der Heizperiode zur Verfügung steht. Um die Geldausgaben zur Datenbeschaffung gering zu halten, kann man auf die Tabelle A.1 der Vornorm DIN V 4108-6 zurückgreifen. Angegeben sind für 15 Regionen die durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität in W/m² für die Neigungen 0°, 30°, 45°, 60° und 90° für die Orientierungen S, SO, SW, O, W, NW, NO, N. Weiterhin enthalten die Tabellen das jährliche Strahlungsangebot in kW/m² sowie die mittleren Außentemperaturen. Vgl. hierzu **Abbildung 25** auf Seite 31.



Abbildung 32: Darstellung der 15 Referenzregionen nach Vornorm DIN V 4108-6 ⁷⁰

Die Grafiken in **Abbildung 33** bis **Abbildung 38** verdeutlichen die Verteilung und die Relationen des jährlichen Strahlungsangebotes. Betrachtet werden die Ausrichtungen S, W und N. Der Unterschied der Orientierung O zu W ist marginal, er darf als gleich angenommen werden. In Verbindung mit den Angaben zur Sonnenscheindauer in **Tabelle 6** auf Seite 36 wird deutlich, dass für eine instationäre und realitätsnahe Betrachtung, wie sie in Kapitel Betrachtung von Zeitintervallen auf Seite 43 angestellt wird, eine solch statistische Mittelung nicht hilfreich ist.

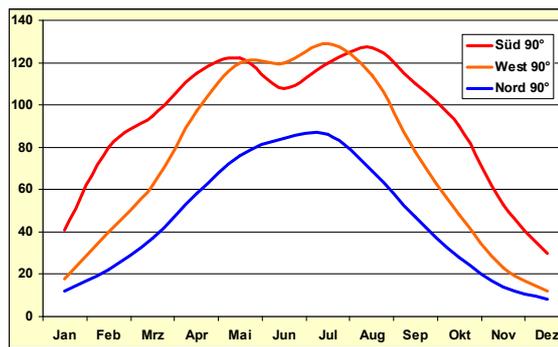
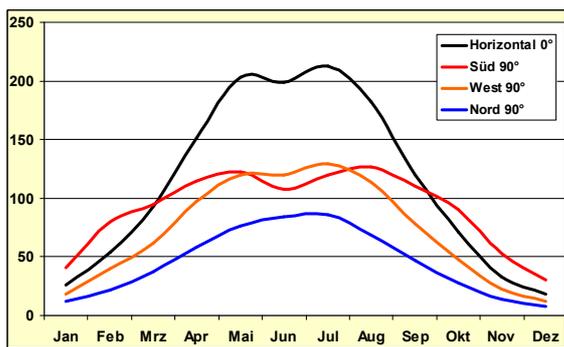


Abbildung 33: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Horizontale sowie die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N

Abbildung 34 (rechts): Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N

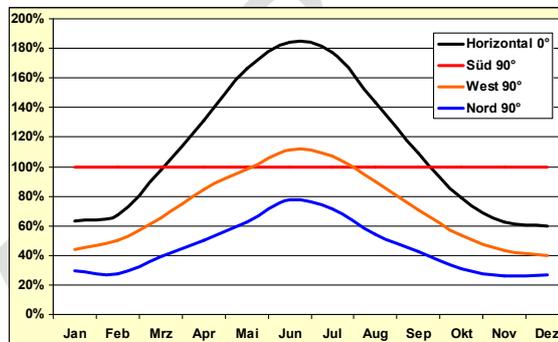
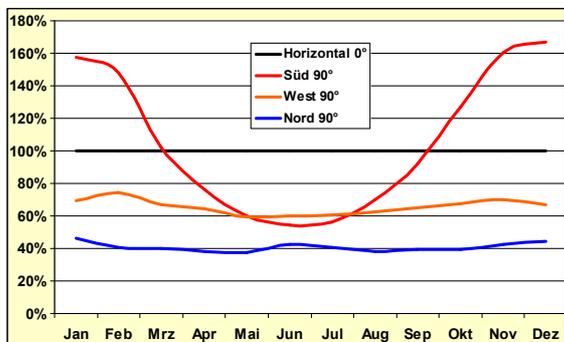


Abbildung 35: Relation der durchschnittlichen monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N –bezogen auf die Horizontale (100%)

Abbildung 36 (rechts): Relation der durchschnittlichen monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Horizontale u. Neigung 90° mit der Orientierung W und N –bezogen auf die Orientierung Süd (100%)

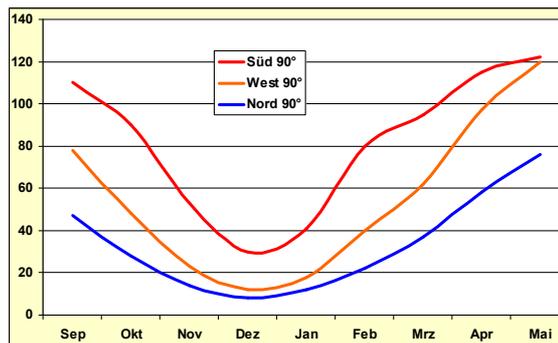
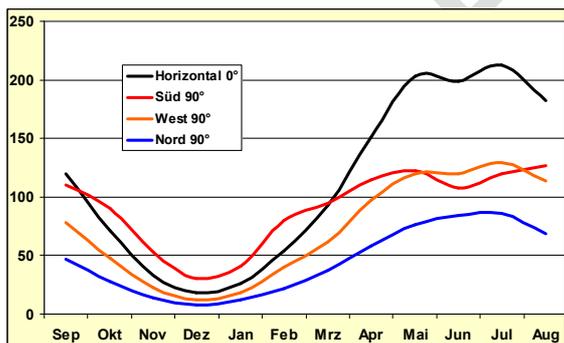


Abbildung 37: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) wie vor, für das gesamte Jahr, beginnend mit September

Abbildung 38: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) wie vor, für die Heizperiode, September bis Mai

Ob diese Formel der Weisheit letzter Schluss ist, bleibe dahingestellt. Zumindest werden die relevanten Faktoren berücksichtigt, einschließlich spezifischer Wärme und Rohdichte. Leider ist die Herleitung auch im Original ⁷⁵ nicht genauer erläutert, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen werden kann. Parallelen werden im Kapitel Bekanntes Formelwerk auf Seite 51 beschrieben. Zumindest wurde die Praxistauglichkeit der Formel von Rauch bestätigt, der gute Übereinstimmungen von Berechnung und Messung feststellte. ⁷⁶



Abbildung 39: Screenshot des Online-Tools zur Berechnung von Ueff ⁷²

Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ W/mK	Wärmeeindringkoeff. b Wh ^{0,5} /m ³ K	Wandstärke d=36,5cm			
			u	Ueff		
				S	O/W	N
1000	0,32	9,5	0,76	0,16	0,34	0,52
	0,39	10,4	0,90	0,22	0,43	0,63
	0,45	11,2	1,02	0,28	0,50	0,72
1200	0,44	12,2	1,00	0,23	0,47	0,69
	0,50	13,0	1,11	0,28	0,54	0,78
1400	0,52	14,3	1,15	0,26	0,53	0,79
	0,58	15,1	1,25	0,31	0,60	0,88
1600	0,55	15,7	1,20	0,26	0,54	0,82
	0,68	17,5	1,41	0,35	0,68	0,99
1800	0,70	18,8	1,45	0,34	0,68	1,00
	0,81	20,2	1,61	0,41	0,78	1,13

Tabelle 7: Wärmeeindringkoeffizienten b, stationäre u(k)-Werte und die ueff-Werte für verschiedene Himmelsrichtungen von Mauerwerk aus Mauerziegeln und a. nach DIN 105 Teile 1 bis 4, aufgeführt nach Rohdichte ρ und Wärmeleitfähigkeit λ . (gekürzter Auszug aus Tabelle 2) ⁷³

Ein Nachteil besteht noch, der sich durch eine Ergänzung leicht beheben lässt und den Zeitfaktor einführt. Nach dieser Formel beträgt Ueff = 0,257 W/m²K gegenüber U = 1,21 nach EnEV für eine 38 cm dicke Wand aus Ziegeln mit $\rho = 1.400$ kg/m³. Dabei ist I die durchschnittliche Strahlungsintensität während einer 12stündigen Einstrahlungszeit [W/m²].

Für den Januar offenbart sich das Problem, wenn man mit den Daten in **Abbildung 1** in Kapitel 3.2 auf Seite 7 sowie **Abbildung 20** bzw. **Abbildung 21** in Kapitel 6.3 auf Seite 28 abgleicht. Hier wirkt die direkte Sonnenstrahlung nur über einen Zeitraum von 5 Stunden ein. Dann gibt es einen Zeitraum ohne Sonnenschein, der 19 Stunden beträgt. Zu Beginn dieses Zeitraumes wirkt das Speichervermögen nach und hält die thermische Barriere aufrecht. Dann setzt der Wärmestrom durch die Wand nach außen wieder ein.

Ein U_{eff} nahe 0 ist zwar eine wünschenswerte Sache und durch solare Zustrahlung realisierbar - jedoch nur temporär. Inwiefern der Zeitfaktor zu berücksichtigen ist, soll im Kapitel "Modellbildung der beschienenen Wand" behandelt werden.

Eine bereits praktizierte Variante der Verwendung von U_{eff} in einer standardisierten Berechnung mit Software nach EnEV/DIN 4108 wird im nächsten Beispiel vorgestellt.⁷⁷ Auf die Berechnungsverfahren im Einzelnen soll hier nicht eingegangen werden. Anhand der Simplifizierung wird deutlich, wie relativ einfach es für einen Programmierer ist, diese Rechenschritte in bestehende Rechenverfahren zu integrieren. Letztendlich besteht die gesamte Rechnerei nach EnEV/DIN 4108 nur aus Tabellenkalkulationen.

$$U = 1 / \left| R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{se} \right|$$

$R_{si} = 0,130$ W/mK
 $R_{se} = 0,040$ W/mK

Innenputz (1.800)
 $d_1 = 0,015$ m
 $\lambda_1 = 0,870$ W/mK

Ziegelmauerwerk (1.450)
 $d_2 = 0,600$ m
 $\lambda_2 = 0,580$ W/mK

Außenputz (1.300)
 $d_3 = 0,025$ m
 $\lambda_3 = 0,520$ W/mK

$$U = 1 / \left| 0,130 + \frac{0,015}{0,870} + \frac{0,600}{0,580} + \frac{0,025}{0,520} + 0,040 \right|$$

$$U = 1 / | 0,130 + 0,017 + 1,034 + 0,048 + 0,040 |$$

$$U = 1 / | 0,130 + 1,100 + 0,040 |$$

$$U = 1 / 1,270$$

$$U = 0,788 \quad d = 0,64 \text{ m}$$

Man setzt hier nur die Wandstärke ein und erhält den U-Wert angezeigt.

$U = 0,636$	$d = 0,815$
$U = 0,788$	$d = 0,640$
$U = 0,845$	$d = 0,590$
$U = 0,972$	$d = 0,500$
$U = 1,033$	$d = 0,465$

Abbildung 40: herkömmliche Berechnung des U-Wertes für unterschiedlich mächtige Außenwände, hier für Vollziegelmauerwerk mit $r = 1.450 \text{ kg/m}^3$

Ermittlung von U eff		N	S	W	O	Sp
$d = 0,815$	$U = 0,636$	0,000	-0,159	-0,064	-0,064	-0,032
$d = 0,640$	$U = 0,788$	0,000	-0,197	-0,079	-0,079	-0,039
$d = 0,590$	$U = 0,845$	0,000	-0,211	-0,085	-0,085	-0,042
$d = 0,500$	$U = 0,972$	0,000	-0,243	-0,097	-0,097	-0,049
$d = 0,465$	$U = 1,033$	0,000	-0,258	-0,103	-0,103	-0,052

	N	S	W	O
$d = 0,815$	$U_{eff} = 0,604$	0,445	0,541	0,541
$d = 0,640$	$U_{eff} = 0,749$	0,552	0,670	0,670
$d = 0,590$	$U_{eff} = 0,803$	0,592	0,718	0,718
$d = 0,500$	$U_{eff} = 0,923$	0,680	0,826	0,826
$d = 0,465$	$U_{eff} = 0,981$	0,723	0,878	0,878

Abbildung 41: Berechnung von U_{eff} nach⁷⁷

6.5 Modellbildung der besonnten Wand

Bevor man etwas anfängt zu berechnen, muss geklärt sein, was man berechnen möchte. Damit ist gemeint, dass zunächst zusammenzutragen ist, welche Größen vorhanden sind und wie sie sich gegenseitig beeinflussen. Erst dann kann man im Rahmen der Modellbildung überlegen, ob und welche Faktoren als irrelevant ausgeschlossen werden (können oder sollen). Daraus ist dann die Formel abzuleiten.

"... die Ungenauigkeiten der Berechnungsweise, wird dadurch bestimmt, ob man eine vollkommen genaue Berechnungsmethode anwenden kann oder Näherungsformeln im mathematischen oder physikalischen Sinne benutzen muß. In der Regel ist eine exakte Behandlung nicht möglich. Man muß daher entweder die physikalischen Grundannahmen so vereinfachen, bis eine mathematisch präzise Berechnung möglich wird, oder man berücksichtigt die tatsächlichen Verhältnisse auf das genaueste auf Kosten der dann nur näherungsweise möglichen Rechnung."

Diese Beurteilung stammt von Cammerer⁷⁸, verfasst 1928. Seitdem sind 80 Jahre vergangen. Mit der U-Wert-Theorie ist es gelungen, die physikalischen Grundannahmen so zu vereinfachen, dass zwar eine mathematisch präzise Berechnung möglich wird, die jedoch fern der Realität liegt.

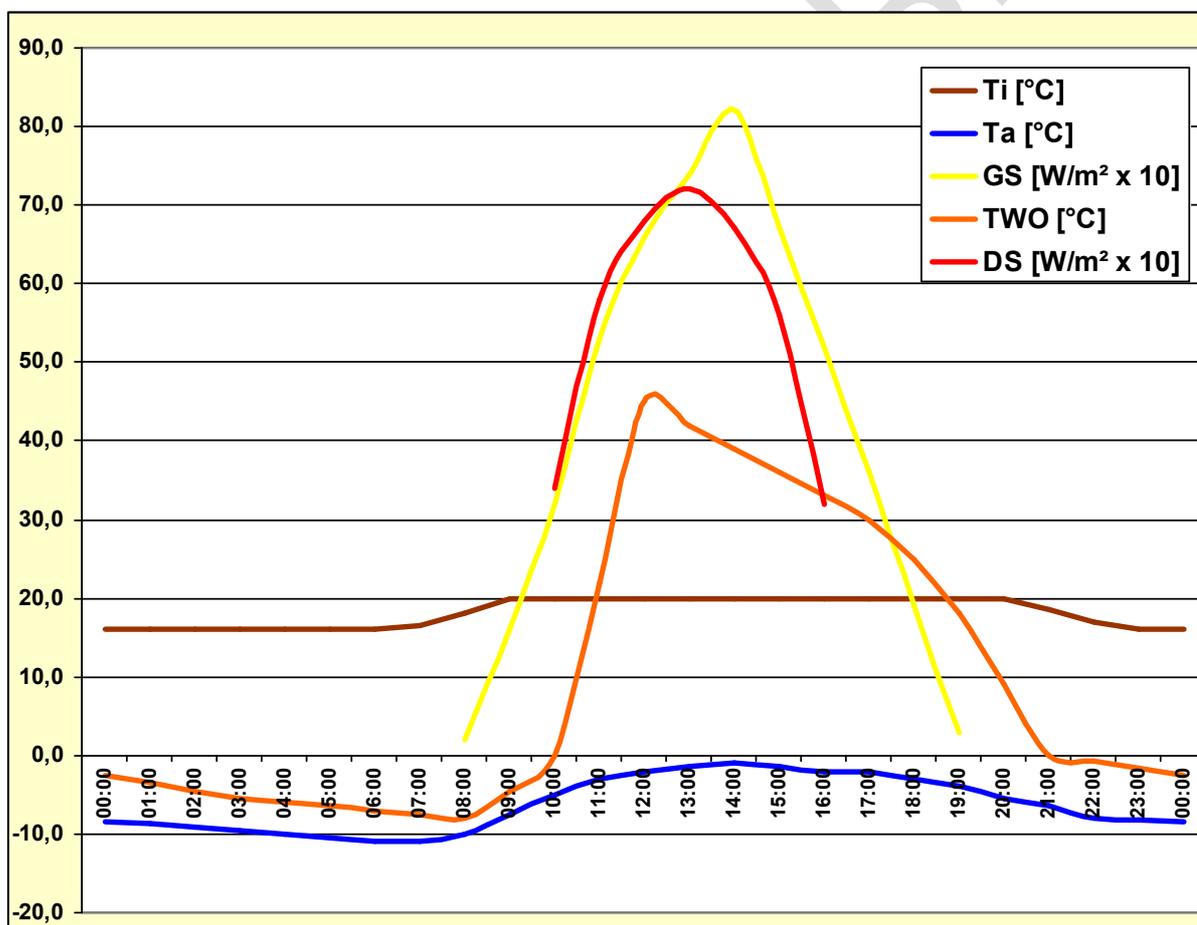


Abbildung 42: Darstellung von Kenngrößen in Anlehnung an berichtete Messwerte, Südwand, ca. 400 m üNN, ca. 48° Ost geografische Breite, Region D/A/CH, Mitte Februar

Auch wenn die hier dargestellten Messgrößen fiktiv sind, sind die für einen Wintertag im Februar nicht untypisch. Die Raumheizung soll mit einer Nachtabsenkung arbeiten, die Außentemperaturen bewegen sich zwischen -1 und -11°C. GS bedeutet Globalstrahlung und DS Direktstrahlung. Zum rekapitulieren: Direktstrahlung ist der Sonnenschein, den die Wand direkt abbekommt – Globalstrahlung ist Direkt- und Diffusstrahlung auf die Ebene. Im Winter steht die Sonne tiefer, der Strahlenweg durch die Atmosphäre ist länger. TWO ist die Temperatur der Wand-Oberfläche.

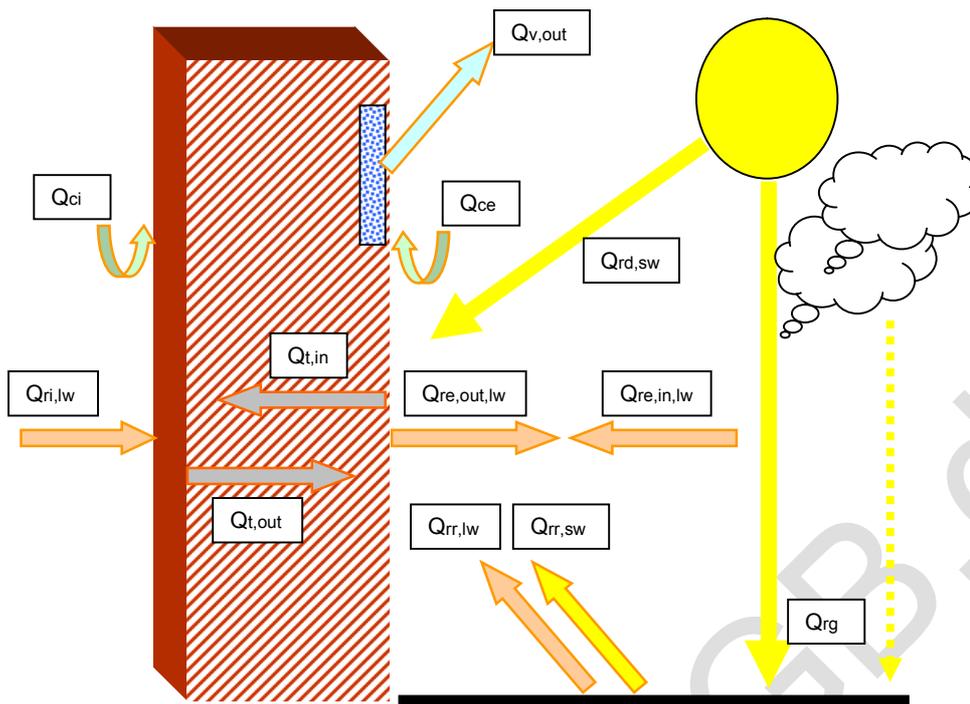


Abbildung 43: Energiezu- und abflüsse der Außenwandoberfläche im Winter

Legende: Q = Energiefluss bzw. Wärmestrom, Erläuterung der Indizes:

i = interior = innen, e = exterior = außen,

c = convection = Konvektion, r = radiation = Strahlung, t = transmission = Wärmeleitung

in = inside = nach innen, out = outside = nach außen

g = global, d = directly = direkt, lw = long wave = langwellig, sw = short wave = kurzwellig

v = vapourisation = Verdunstung

Nachdem mit **Abbildung 42** ein Modell zu den zeitlichen Abläufen wichtiger Kenngrößen geschaffen wurde, liefert **Abbildung 43** ein Modell der Energieflüsse. Dies ist eine Übersicht zu den Formen und Richtungen ohne Quantifizierung und ohne zeitliche Differenzierung. **Abbildung 44** liefert die Übersicht zu den Temperaturbereichen, innerhalb derer sich die Kenngrößen bewegen.

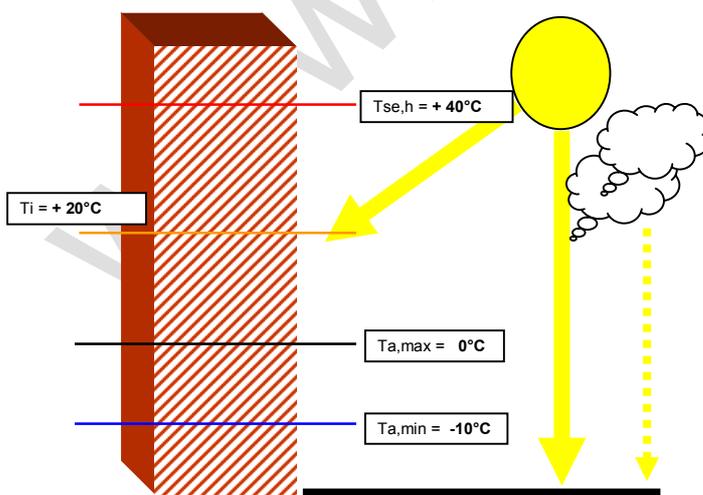


Abbildung 44: Darstellung der Temperaturbereiche an der Außenwand (innen und außen), Legende: a = air = Außenluft, i = inside = Innenraumluft, s = surface = Oberfläche, e = exterior = außen, h = highest, v.o.n.u.: max. Wandoberflächentemperatur, Raumlufttemperatur, max. Außenlufttemperatur, min. Wandoberflächentemperatur

Nachdem die einzelnen Faktoren und Größen zusammengetragen und in Übersichten dargestellt sind, soll in relevanten Zeitintervallen eine differenzierte Betrachtung angestellt werden. Die Uhrzeiten werden hierfür **Abbildung 42** auf Seite 40 entnommen, dass dies nicht Minuten genau erfolgt, soll der Methodik nicht allzu abträglich sein. Zum rekapitulieren: es wird eine Südwand betrachtet.

6.5.1 Randbedingungen

Der Wärmeübertrag von der Raumluft zur Wandoberfläche erfolgt durch Wärmestrahlung und Konvektion, je nach Heizsystem beträgt die Relation ca. 30:70 (Konvektionsheizung) bzw. 80:20 (Strahlungsheizung) – im Wesentlichen proportional zum Temperaturgradienten. Der Bezugspunkt für den Temperaturgradienten liegt in der Wand, im Bereich der Wandoberfläche bzw. außen – wäre dies nicht so, würde Wärme von kalt nach warm transportiert werden.

Der Wärmeübertrag von der Wandoberfläche zur Außenluft erfolgt durch Wärmestrahlung und Konvektion. Ein Wärmeübergangswiderstand ist nur für die Konvektion darstellbar. R_{se} kann nur einen Wert darstellen, der sich auf konvektive Vorgänge bezieht. Der Betrag hängt vom Temperaturunterschied zwischen Wandoberfläche und Außenluft ab, begünstigt wird er von Windstille. Die Windgeschwindigkeit sei als konstant angenommen. Der Energieentzug durch Verdunstung soll bei der Betrachtung ausgeklammert werden.

Für Strahlungsvorgänge gibt es keine Widerstände. Es gibt nur eine Nettostrahlung, die infolge des Strahlungsaustauschs übrig bleibt. Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt strahlt Wärme ab. Dennoch wärmt der kalte Körper nicht den wärmeren, in der Nettobetrachtung ist es umgekehrt. Der Unterschied zwischen Temperatur und Wärme ist hierbei dadurch gekennzeichnet, dass die Wärme die Energiemenge ist, die den Körper befähigt, mit einer bestimmten Temperatur abzustrahlen. Ist diese Wärmemenge gering, wird die Temperatur nicht gehalten – sie sinkt und damit auch die Intensität der Abstrahlung.

6.5.2 Betrachtung von Zeitintervallen

21:00 bis 08:00

Alle Gegenstände strahlen zum klaren Himmel hin ab, die Außentemperatur bewegt sich ihrem Tiefpunkt zu, der ca. 7:00 Uhr erreicht wird. Der Wärmestrom infolge der Transmission in der Außenwand von innen nach außen nimmt zu. Der Wärmespeicher Wand, der Wärme aus solarem Eintrag eingespeichert hat, ist inzwischen geleert, so dass diese Senke durch nachströmende Raumwärme ausgeglichen wird. In diesem Zeitraum werden erstmals quasi-stationäre Zustände erreicht, indem der Wärmestrom seinem betrage nach der Temperaturdifferenz zwischen innen zu außen folgt.

08:00 bis 10:00

Sonnenaufgang bedeutet, dass es hell wird, von Sonnenschein reden wir erst ab 120 W/m^2 . Sowohl die Außenlufttemperatur als auch die Wandoberflächentemperatur beginnen – fast parallel – zu steigen. Die Wandoberflächentemperatur der Südwand nimmt infolge der Zustrahlung zu Globalstrahlung zu, von der ein Teil reflektiert wird. Dazu kommt ein Anteil an IR Zustrahlung vom erwärmten Erdboden. Der Transmissionswärmestrom innerhalb der Wand wird verringert, da die Außenlufttemperatur ansteigt. Aufgrund des Parallelverlaufes von Wandoberflächentemperatur und Außenlufttemperatur ist diese Korrelation zulässig.

10:00 bis 12:00

Es setzt die direkte Sonnenbestrahlung ein, die Sonne hat sich „um die Hausecke herum“ bewegt und steht nun auch etwas höher als 8:00 Uhr. Diese Komponente kommt hinzu, wobei auch die reflektierte Globalstrahlung als auch die IR Zustrahlung zunehmen. Die Wandoberflächentemperatur erreicht 12:00 Uhr ihr Maximum, obwohl die Direktstrahlung noch etwas zunimmt.

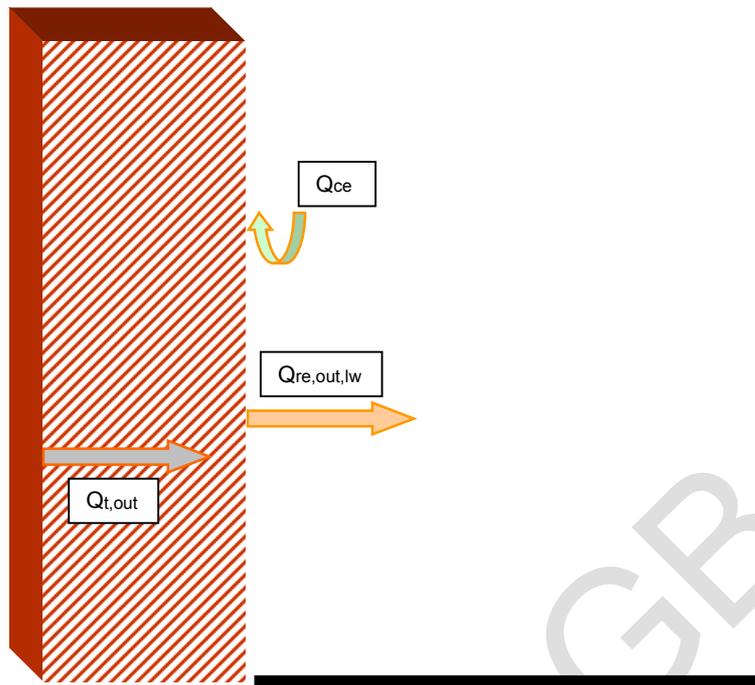


Abbildung 45: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 21:00 – 08:00

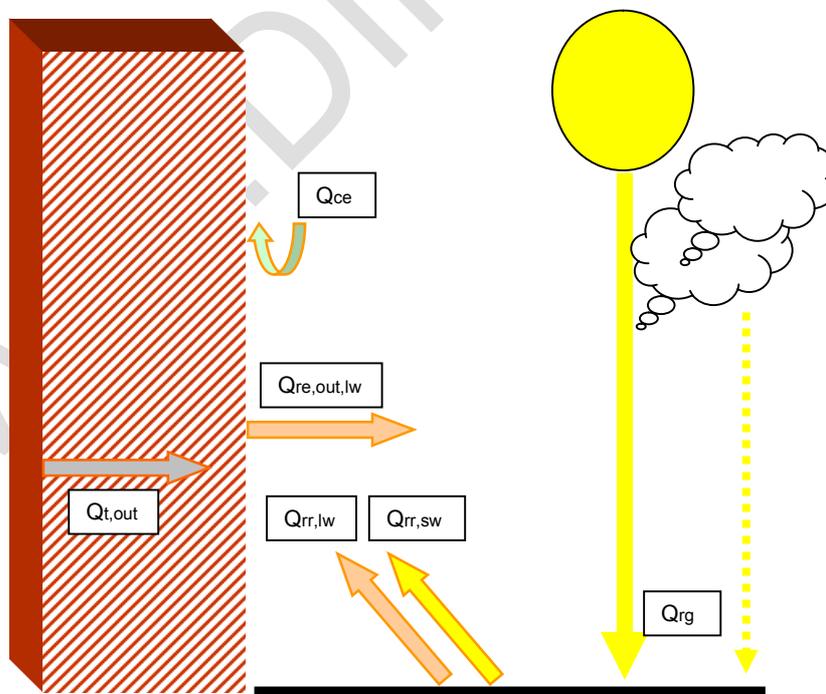


Abbildung 46: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 08:00 – 10:00

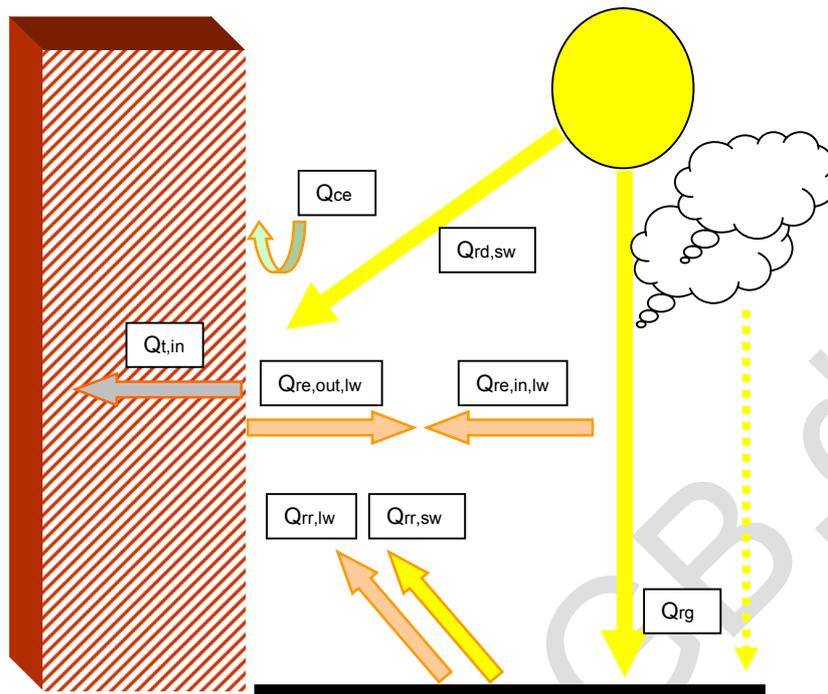


Abbildung 47: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 10:00 – 19:00

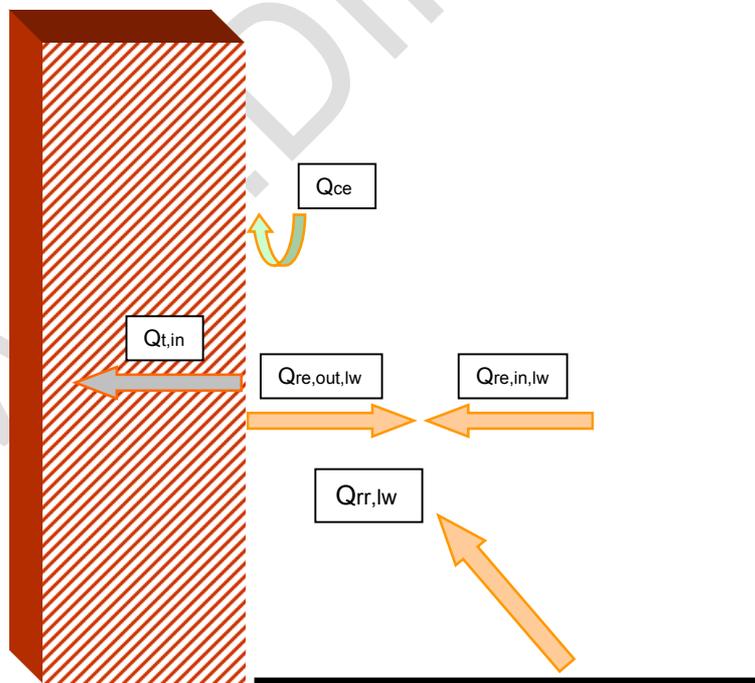


Abbildung 48: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 19:00 – 21:00

12:00 bis 19:00

Die Wandoberflächentemperatur nimmt ab jetzt nur noch ab, jedoch im Vergleich zum Anstieg beim Aufheizvorgang erfolgt die Abkühlphase bedeutend langsamer. 19:00 Uhr beträgt die Wandoberflächentemperatur noch 20°C. Im Zeitraum von 11:00 bis 19:00 Uhr beträgt die Wandoberflächentemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$. In dieser Zeit beträgt die Temperaturdifferenz zur Wandoberfläche = 0°C bzw. 0 K, das heißt der Temperaturgradient von innen nach außen beträgt ≤ 0 . Mithin erfolgt wegen des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik kein Wärmetransport in der Form der Transmission von innen nach außen.

19:00 bis 21:00

Die Wandoberflächentemperatur nimmt mit vergleichbarem Gradienten ab und bewegt sich unter die 0 °C – Linie. Eine Zustrahlung erfolgt nur noch aus IR Zustrahlung, dies jedoch mit stark abnehmender Tendenz. Die Abstrahlung des Erdbodens zum klaren Himmel ist stärker als die der Außenwand. Zudem ist die Netto-Zustrahlung fast 0 bzw. < 0 , da die Wände etwa gegenüberliegender Gebäude Nordwände sind. Der Wärmestrom infolge der Transmission von innen nach außen setzt zum Ende des Zeitraumes hin ein.

Zeit- raum	rel. Zeit- anteil /Tag	Ge- winne	T.	Ver- luste	T.	Bi- lanz	der Speicher Außenwand	Wärmestrom v. innen n. außen	
21:00 – 08:00	45,9 %	Qt,out	↘	Qre,out,lw Qce	- -	(-)	wird restlos geleert und dann von innen gespeist	folgt der Wandoberfl./ Außentemp.	
08:00 – 10:00	8,3 %	Qt,out Qrr,lw Qrr,sw	↘ ↗ ↗	Qre,out,lw Qce	↗ ↗	(+)	wird vorge- wärmt	Tendenz: abnehmend	
10:00 – 12:00	8,3 %	Qrr,lw Qrr,sw Qre,in,lw Qrd,sw	↗ ↗ ↗ ↗	Qre,out,lw Qce Qt,in	↗ ↗ ↗	(+)	wird auf- geladen (solarer Gewinn)	findet von 11:00 bis 19:00 nicht statt, weil $\Delta t \leq 0 \text{ K}^*$	33,3 % d. Tages
12:00 – 19:00	29,2 %	Qrr,lw Qrr,sw Qre,in,lw Qrd,sw	↘ ↘ ↘ ↘	Qre,out,lw Qce Qt,in	↘ ↘ ↘	(+)	wird auf- geladen, ab 18:00 geleert		
19:00 – 21:00	8,3 %	Qrr,lw Qre,in,lw	↘ ↘	Qre,out,lw Qce Qt,in	↘ ↘ ↘	(-)	wird geleert	Tendenz: zunehmend	
24 h/d	100 %					(-)			

Tabelle 8: Übersicht der Zustände in zeitlichen Abschnitten, bezogen auf die Außenwandoberfläche; Speisung des Speichers Außenwand von innen bedeutet Energieentzug, der durch Raumheizung ausgeglichen werden muss; * Beispiel: 20 °C Raumtemperatur – 35 °C Wandoberflächentemperatur = -15 K und $\Delta t \leq 0 \text{ K}$.

Der bislang erläuterte analytische Ansatz hat – auch ohne nähere Quantifizierung - auch eine praktische Bedeutung. Gehen wir nach oben zum Kapitel „Ein Berechnungsbeispiel“.

Gegeben sei ein als Hotel genutztes saniertes Gebäude mit folgenden Parametern:

- Fläche Gebäudehülle A 2.302,6 m²
- Fläche Außenwände A_{AW} 1.298,2 m² (=56% der Gebäudehülle)
- Variante: ohne solare Gewinne opaker Bauteile
- Heizwärmebedarf Q_h 211.765 kWh/a
- spezifischer Heizwärmebedarf q_h 178 kWh/m²a
- Transmissionswärmeverluste Q_t 168.321 kWh/a

Unterstellen wir eine gleichmäßige Verteilung der Außenwände nach den Himmelsrichtungen, so ergibt sich allein für die Besonnung der Südwand folgender Überschlag: $(0,56 \times 0,25 \times 0,45) - x = 0,063 - x = \text{ca. } 5\%$ weniger Transmissionswärmeverluste = 8.416 kWh. Dabei wurde einbezogen, dass zwar nicht jeden Tag die Sonne scheint, aber über die Außenwände und das Dach mehr Wärme verloren geht, als über die Sohle. Rechnen wir noch die Ost- und die Westwände dazu, liegt das Einsparpotenzial bereits bei ca. 10%. Diese Schätzung lässt sich über das Strahlungsangebot über die Heizperiode (S, O/W, N) validieren.

Mithin sind durchaus um 10% Einsparpotenzial beim Heizwärmebedarf in der Gebäudejahresbilanz infolge solarer Gewinne über opake Bauteile möglich.

6.6 Instationärer Wärmeschutz

Geht es um sommerlichen Wärmeschutz, denken wir unwillkürlich an gut gedämmte Dachgeschosse, die im Sommer völlig überheizt werden. Woran liegt das? Wärmedämmung schützt doch vor Kälte und vor Wärme.

Ein Holzdachstuhl mit Dämmung weist eine starke Aufheizung des Dachgeschosses im Sommer auf. Er hat nur ein TAV von ca. 0,60 – 0,70 und eine Phasenverschiebung ca. 2 – 4 Stunden. Hingegen hat z.B. ein Porenbeton Massivdach ein TAV von ca. 0,20 – 0,30 und eine Phasenverschiebung ca. 7 – 12 Stunden.⁷⁹

Geht es um sommerlichen Wärmeschutz, wird bei opaken Bauteilen vom TAV gesprochen. Das Temperatur-Amplituden-Verhältnis ist das Maß der Dämpfung einer Wärmewelle, welche eine Wand durchwandert. Das bedeutet: wie viel vom Temperaturunterschied an der Wandoberfläche außen kommt innen auf der Wandoberfläche an? Dabei bedeutet ein kleiner Wert des TAV eine geringere Raumaufheizung.

Zudem erfolgt eine zeitliche Verschiebung dieser Wärmewelle beim Durchgang durch eine Wand, das Maß ist die Phasenverschiebung. Das bedeutet: nach wie viel Stunden kommt diese Wärme an der Oberfläche der Außenwand innen an.

Bild 3.3

Dämpfung (TAV) und zeitliche Verschiebung (φ) einer Wärmewelle, die eine Wand durchwandert

θ_{se} , θ_{si} Oberflächentemperaturen der Wand
 t Zeit
 TAV Temperaturamplitudenverhältnis
 φ Phasenverschiebung

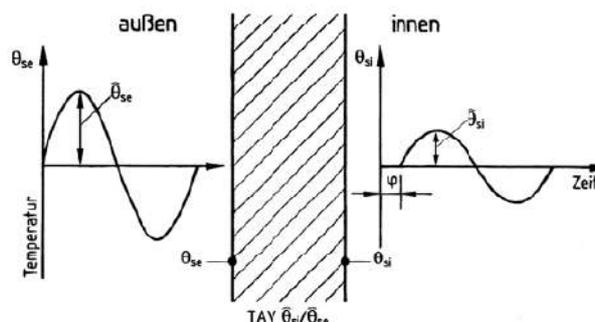


Abbildung 49: TAV und Phasenverschiebung aus⁸⁰

Hierbei handelt es sich um instationäre Vorgänge, im Fall der besonnten Außenwand sind es periodische Vorgänge. Hierbei spielen neben der Wärmeleitfähigkeit die Rohdichte und die spezifische Wärme eine Rolle.

„Nicht immer ist die Lufttemperatur zu beiden Seiten eines Bauteils konstant. Wenn sie sich zeitlich ändert und zu instationären Wärmebewegungen führt, wird das wärmeschutztechnische Verhalten der Bauteile nicht mehr allein von der Wärmeleitfähigkeit λ des Materials bestimmt. Neben ihr sind noch die Rohdichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c von Bedeutung. Je nach dem vorliegenden Problem treten sie zusammengefasst als Temperaturleitfähigkeit oder als Wärmeeindringkoeffizient in Erscheinung.“⁸⁰

Mit den Grundlagen hat sich die Wissenschaft bereits in den 60ern intensiv befasst, wie Gertis und Hauser 1975 darüber berichteten.⁸¹ Wie werden TAV und Phasenverschiebung berechnet?

„Das Temperaturamplitudenverhältnis und die Phasenverschiebung berechnet man mit dem Matrizenmultiplikationsverfahren nach Heindl. Aus dem Parameterpaket Schichtdicke d , Rohdichte ρ , Wärmeleitfähigkeit λ und spezifische Wärmekapazität c sowie der Periodendauer T wird die modifizierte Fourierzahl f_0 nach der Rechenvorschrift $F_0 = d/\lambda \cdot \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot c)} \cdot \sqrt{(\pi/T)}$ ermittelt. Sie beschreibt die kombinierten Baustoffeigenschaften und die Schichtdicke. Für eine einschichtige Wand gilt

$$\text{TAV} = 1 / \sqrt{(\cosh(f_0) \cdot \cos(f_0))^2 + (\sinh(f_0) \cdot \sin(f_0))^2}$$

und

$$\varphi = \arctan \left(\frac{\sinh(f_0) \cdot \sin(f_0)}{\cosh(f_0) \cdot \cos(f_0)} \right).$$

Die Phasenverschiebung φ wird im Bogenmaß berechnet und kann mit der Beziehung $\varphi/2\pi \cdot 24$ in Stunden umgerechnet werden.“⁸²

Ein Beispiel: Nach Angaben des BV Porenbeton liegt die typische Phasenverschiebung von Porenbetonaußenwänden und Porenbetondächern zwischen 10 – 15 h, das TAV bei 3 % (0,03). Um ein angenehmes sommerliches Innenklima (Behaglichkeit) soll das TAV so gering wie möglich sein. Selbst unter den in Abbildung 21 dargestellten extremen Bedingungen liegt das TAV bei Porenbetonkonstruktionen deutlich unterhalb des für Leichtkonstruktionen üblichen Wertes von 16 – 20 %. Die Abbildung 21 zeigt eine Außentemperaturkurve zwischen 13°C 4:00 Uhr und 83°C 17:00 Uhr. Die Temperaturamplitude innen beträgt nur 2 K, so dass sich ein TAV = 2 : (83-13) = 0,03 ergibt. In diesem Beispiel ging es um eine außen schwarz beschichtete 25 cm Porenbetonwand.⁸³

Da die U-Wert-Theorie konsequent ein stationäres Modell verfolgt, stellt sich die Frage, ob und wann instationär gerechnet werden darf. Eine Antwort hat die deutsche Hauptverwaltung der modernen Bauphysik zur Hand.

„Der Wärmestrom auf jeder Oberfläche der Wand ist gleich nach dem mit dem U-Wert berechneten Wärmestrom \pm Änderung der in der Wand gespeicherten Wärmemenge. Die in der Wand gespeicherte Wärmemenge ist zwar ohne Berechnung nicht genau bekannt – aber mit den Min- und Max-Temperaturen kann der Maximalwert der gespeicherten Wärmemenge berechnet werden. Wenn die Zeit so lang ist, dass die mit dem U-Wert berechnete Wärmemenge groß gegenüber dem Maximalwert der gespeicherten Wärmemenge ist, darf die Änderung der gespeicherten Wärme vernachlässigt werden, d.h. die stationäre Rechnung ist praktisch richtig. Bei periodischen Temperaturschwankungen ist z.B. im Abstand der Periodendauer die gespeicherte Wärme gleich.“⁸⁴

Hieran offenbart sich deutlich, dass die moderne Bauphysik auf Dogmen beruht, deren Allerheiligstes der U-Wert ist.

1. Der Wärmestrom auf jeder Oberfläche der Wand ist eben nicht gleich nach dem mit dem U-Wert berechneten Wärmestrom \pm Änderung der in der Wand gespeicherten Wärmemenge. Der Wärmestrom ist nicht gleich, nur im Schema der U-Wert-Theorie ist er das, wo alles schön stationär zu sein hat. Zudem sind sowohl die spezifische Wärme c als auch die Wärmeleitfähigkeit λ temperaturabhängig. Das haben Untersuchungen bereits in den 20ern ergeben.⁸⁵

2. Fügt man die Strahlungsvorgänge in der Modellbetrachtung hinzu, gelangt man unter Beachtung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik zur Feststellung, dass eine erwärmte Wandoberfläche den Wärmestrom von innen nach außen außer Kraft setzt. Noch dazu erfolgt ein Wärmestrom von der Oberfläche in das Wandinnere hinein.

3. Je mehr man vereinfacht und weglässt, umso leichter fällt es, dem Drang nach Mittelung Geltung zu verschaffen. Lange Zeiträume sind grundsätzlich heranzuziehen, für die Energiebilanz des Gebäudes in Hinsicht auf die Heizwärme ist es die Heizperiode, die mindestens über 6 Monate verläuft. Die „mit dem U-Wert berechnete Wärmemenge“ ist aber nicht das Kriterium – siehe 2.

Fassen wir zusammen:

Beim sommerlichen Wärmeschutz spielen instationäre Vorgänge eine Rolle, wobei neben der Wärmeleitfähigkeit λ noch die Rohdichte ρ und die spezifische Wärme c betrachtet und einbezogen werden. Bei entsprechenden Materialeigenschaften schlägt nur wenig Wärme nach innen durch (TAV) und das auch noch zeitversetzt (Phasenverschiebung ϕ).

Für den winterlichen Wärmeschutz gilt das nicht. Hierbei zählt nur der U-Wert der Außenwand, da die Speicherwärme vernachlässigbar klein gegenüber der mit dem U-Wert berechneten Wärme ist. Zudem werden die dynamischen Vorgänge aufgrund ihrer Periodizität gemittelt. Entscheidend ist die Wärmeleitfähigkeit λ - nicht berücksichtigt werden die Rohdichte ρ und die spezifische Wärme c .

Soweit zur herrschenden Lehrmeinung.

Angesichts dieser verwunderlichen Grundsätze drängt sich die Frage auf, was denn so grundsätzlich unterschiedlich ist, wenn man sommerliche und winterliche Zustände vergleicht. Die Außenwand ist dieselbe, im Winter ist es kälter und die Sonne scheint nicht so stark. Ansonsten sind die Zustände im Prinzip zumindest auffallend ähnlich, Unterschiede bestehen in den Niveaus. Das verdeutlichen die folgenden zwei Abbildungen.

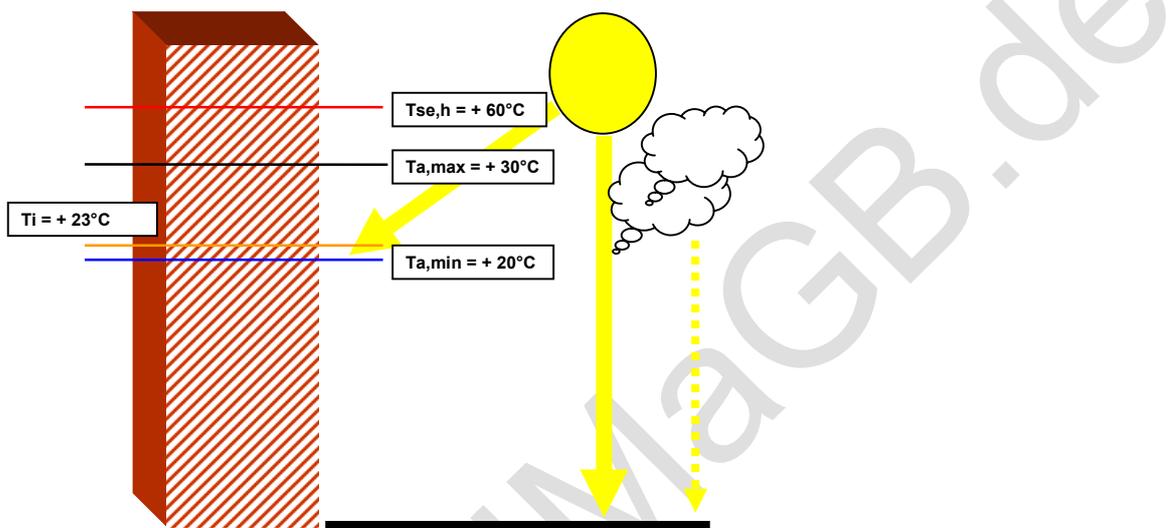


Abbildung 50: Prinzipskizze der besonnten Außenwand an einem Tag im **August**

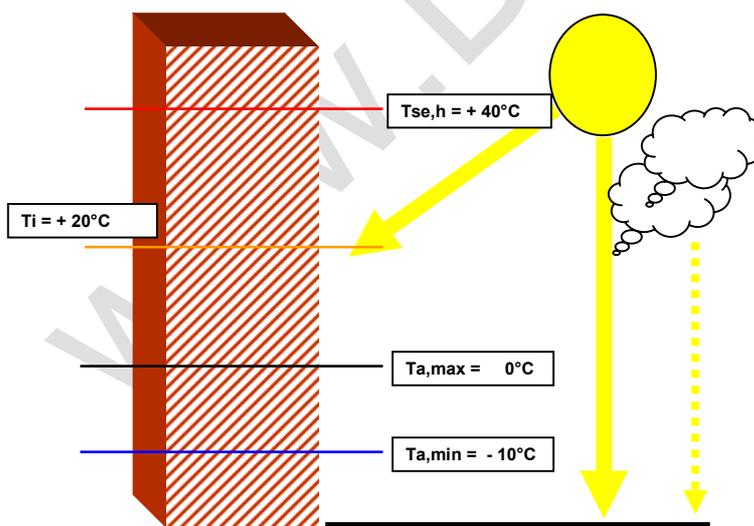


Abbildung 51: Prinzipskizze der besonnten Außenwand an einem Tag im **Februar**

Ganz offensichtlich bestehen keine prinzipiellen Unterschiede. Dass die Beträge der einzelnen Kennwerte unterschiedlich sind, überrascht nicht. Eine tabellarische Gegenüberstellung soll die Relationen verdeutlichen. Irgendwo müsste ein Hinweis darauf zu finden sein, warum nicht auch im Winter mit der modifizierte Fourierzahl F_0 gerechnet werden „darf“.

Werte an besonnener Südwand	Sommer August	Winter Februar
spezifische Wärme der Wand	1,0 kJ/kgK	1,0 kJ/kgK
Rohdichte der Wand	1.400 kg/m ³	1.400 kg/m ³
Wärmeleitfähigkeit der Wand	0,55 W/mK	0,55 W/mK
Außenlufttemperatur	16 ... 32 °C	-10 ... 0 °C
Innenraumlufttemperatur	20 ... 23 °C	16 ... 20 °C
Wandoberflächentemperatur a.	15 ... 60 °C	-10 ... 40 °C
Strahlungsintensität (Region 4)	127 W/m ²	80 W/m ²
Spreizung		
Außenlufttemperatur	16 K	10 K
Innenraumlufttemperatur	3 K	4 K
Wandoberflächentemperatur	45 K	50 K
Unterschied Sommer-Winter		
spezifische Wärme der Wand	0	
Rohdichte der Wand	0	
Wärmeleitfähigkeit der Wand	0	
Außenlufttemperatur	26 ... 32 K	
Innenraumlufttemperatur	4 ... 3 K	
Wandoberflächentemperatur	25 ... 20 K	
Strahlungsintensität (Region 4)	47 W/m ²	

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kenngrößen der besonnten Außenwand der Südseite für Sommer und Winter, Referenzstandort Potsdam

Dass im Sommer ein Wärmestrom von der Außenwandoberfläche nach innen erfolgt, ist logisch. Die Sonne trägt Energie ein und innen ist die Temperatur niedriger als außen, sowohl die Lufttemperaturen als auch die Wandoberflächentemperaturen betreffend.

Auch im Winter ist die Temperatur der Außenwandoberfläche außen vorübergehend höher als die Außenlufttemperatur (50°C) und die Raumlufttemperatur (20°C) sowie die Temperatur der Außenwandoberfläche (22°C) innen.

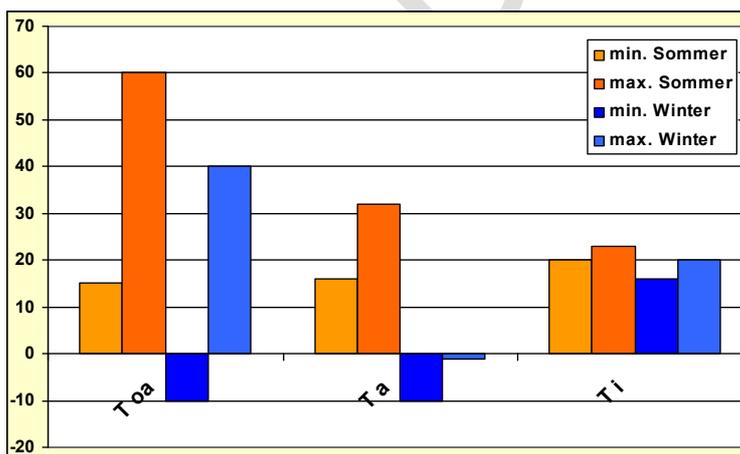


Abbildung 52: Vergleich Sommer zu Winter von Temperaturen an der Wand

- Warum reduzieren – nach herrschender Lehrmeinung - die Parameter Rohdichte ρ , Wärmeleitfähigkeit λ und spezifische Wärmekapazität c im Sommer die Kühllast, aber nicht im Winter die Heizlast?
- Warum wird im Winter ein mit dem U-Wert berechneter Wärmestrom auch für die Zeit angenommen, da die Temperatur der Außenwandoberfläche außen eben diesen Wärmestrom unterbindet?

Aus rein physikalischer Sicht lässt sich keine Antwort finden. Die Antwort ist im Kapitel „Korrekturen in den Normen?“ auf Seite 25 zu finden.

Aus den Formeln zur Berechnung des TAV und der Phasenverschiebung lässt sich die Formel zur Berechnung solarer Gewinne opaker Bauteile nur bedingt ableiten. Aufgrund der Niveauunterschiede bei Temperatur und Energiemengen kann es im Winter nicht zu einem „Durchschlagen“ der Wärme auf die Innenseite der Außenwand kommen.

Im Inneren der Wand geht das TAV gegen 0, sobald die Energiemenge aus solarer Zustrahlung „aufgebraucht“ ist, wobei die Wand durch die Einspeicherung dieser Energiemenge auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wurde.

6.7 Bekanntes Formelwerk

Die von Heindl (siehe oben) verwendete modifizierte Fourierzahl f_0 nach der Rechenvorschrift und der von Meier verwendete Wärmeeindringkoeffizient b beinhalten beide λ , ρ und c . Zum besseren Verständnis sei zunächst rekapituliert, was Heindl modifiziert hat.

$$F_0 = \frac{at}{l^2} = \frac{\lambda t}{c_p \rho l^2}$$

Formel 12: Formel der Fourier-Zahl

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Formel 13: Formel der Wärmleitzahl a

$$F_0 = d/\lambda \cdot \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot c)} \cdot \sqrt{(\pi/T)}$$

Formel 14: modifizierte Fourierzahl nach Heindl

Die Fourier-Zahl (dimensionslos) gibt das Verhältnis der geleiteten zur gespeicherten Wärme an. Dabei sind c_p die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck, a die Temperaturleitzahl, l eine charakteristische Länge, λ die Wärmeleitzahl, t die Zeit und ρ die Dichte. Auch die Temperaturleitfähigkeit [m²/s] ist temperaturabhängig, da sowohl λ als auch ρ und c_p von der Temperatur abhängen.

$$k_{\text{eff}} = \frac{1}{s/\lambda + 0,17} - \frac{l \cdot a_s}{\Delta \delta_L} \cdot \frac{(b + f_d \cdot k)}{(b + f_d \cdot \alpha_a)}$$

$$k_{\text{eff}} = k - \frac{l \cdot a_s}{\Delta \delta_L} \cdot \frac{(b + f_d \cdot k)}{(b + f_d \cdot \alpha_a)}$$

$$U_{\text{eff}} = U - \frac{l \cdot a_s}{\Delta \delta_L} \cdot \frac{(b + f_d \cdot U)}{(b + f_d \cdot R_{se})}$$

Formel 15: Formel zur Ermittlung von U_{eff} , vom Original⁷⁵ zur modernisierten Umschreibung in Formel 11 $b = \sqrt{\lambda \times \rho \times c}$ (Wurzel aus Lambda x Rho x spezifische Wärmekapazität)

Der Wärmeeindringkoeffizient b (auch: Wärmeeindringzahl) wird in Übersicht bei Rauch⁸⁶ und Bumann⁸⁷ erklärt. Rauch zeigt Beispiele, wie in der Literatur unterschiedliche Dimensionen verwendet werden. Eine ausführliche Beschreibung zum Wärmeeindringkoeffizienten als Parameter des Speichervermögens findet sich bei Roggel.⁸⁸

Je größer der Wärmeeindringkoeffizient b ist, umso mehr speichert der Stoff Wärme, umso langsamer kühlt er aus.

Material	c [J/gK]	c [J/kgK]	c [Wh/kgK]
Vollziegel	0,84	840	0,233
Beton	0,88	880	0,244
Kalksandstein	1,00	1000	0,278
Gips	1,09	1090	0,303
Holz	1,70	1700	0,472
Wasser	4,187	4187	1,163

Tabelle 10: Wärmekapazitäten c verschiedener Baustoffe, nach Norm: alle = 1,0 J/gK

Beispiel 1: eine Ziegelwand mit $\rho = 1.400$

$$b = \sqrt{0,50 \text{ W/mK} \cdot 1.400 \text{ kg/m}^3 \cdot 840 \text{ J/kgK}}$$

$$\text{wobei } 1 \text{ kJ} = 1.000 \text{ Ws} = 1 \text{ kW} \cdot \text{s} = 1/3.600 \text{ kWh}$$

$$\text{gerechnet: } \sqrt{0,5 \cdot 1.400 \cdot 840 / 3.600} = \sqrt{700 \cdot 0,233} = \sqrt{163,3}$$

$$\text{Einheiten: } \sqrt{\text{W kg kW h} / \text{m K m}^3 \text{ kg K}} = \sqrt{\text{W}^2 \text{ h} / \text{m}^4 \text{ K}^2} = \text{W} \sqrt{\text{h}} / \text{m}^2 \text{ K} \text{ bzw. } \text{W/m}^2 \text{K} \cdot \text{h}^{-0,5}$$

$$= 12,78 \text{ W/m}^2 \text{K} \cdot \text{h}^{-0,5}$$

Beispiel 2: Holz

$$b = \sqrt{0,10 \text{ W/mK} \cdot 700 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.700 \text{ J/kgK}}$$

$$\text{gerechnet: } \sqrt{0,10 \cdot 700 \cdot 1.700 / 3.600} = \sqrt{70 \cdot 0,472} = \sqrt{33,06}$$

$$= 5,75 \text{ W/m}^2 \text{K} \cdot \text{h}^{-0,5}$$

Beispiel 3: Styropor Dämmstoff

$$b = \sqrt{0,04 \text{ W/mK} \cdot 40 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.210 \text{ J/kgK}}$$

$$\text{gerechnet: } \sqrt{0,04 \cdot 40 \cdot 1.210 / 3.600} = \sqrt{1,6 \cdot 0,336} = \sqrt{0,538}$$

$$= 0,74 \text{ W/m}^2 \text{K} \cdot \text{h}^{-0,5}$$

Im Zusammenhang mit Formel 15 auf Seite 51 und Formel 9 auf Seite 20 wird deutlich, dass das zwanghafte Verleugern der Speicherfähigkeit Tradition hat. Formel 9 entsteht, wenn der Wärmeeindringkoeffizient = 0 gesetzt wird. Das bedeutet: konsequent zurück zum stationären Modell mit Präferenzierung der Leichtbauweise mit speicherlosem Material der Außenwand. Diese willkürliche Modellbildung wurde von Meier kritisiert.⁷⁵

Bossert führt, mit Verweis auf Dr. habil. Georg Hofbauer (erschieden im Gesundheitsingenieur, 29. März 1941) als Quelle, aus: „Die Wanddicke führt über die Zeitkonstante $\tau \times 0,5 \log n$ zur Halbwertszeit. Die Halbwertszeit ist ein qualitativer Wert. Sie gibt an, in welcher Zeit der Wärmeinhalt einer Wand bei „freier“ Auskühlung abnimmt. Weil die Wanddicke im Quadrat über der Temperaturleitzahl in die Formel eingeht, bildet sie einen der wichtigsten Energie-Faktoren einer Aussenwand“.⁷¹

$$\tau = d^2 / a \quad [\text{h}]$$

Formel 16: Die Zeitkonstante nach Hofbauer

$$\tau' = k \times d^2 / a \quad [\text{h}]$$

Formel 17: Die Halbwertszeit nach Hofbauer

$$k = \text{Konstante für Halbwertszeit } 0^\circ\text{C} = 0,5 \times \log n = 0.347$$

Ziegel	ρ	λ	c	d	a	τ	τ'
	[kg/m ³]	[W/mK]	[Wh/kgK]	[m]	[m ² /h]	[h]	[h]
W1	1.400	0,50	0,233	0,24	0,0015	37,58	13,04
W2	1.400	0,50	0,233	0,49	0,0015	156,64	54,35
Holz	ρ	λ	c	d	a	τ	τ'
	[kg/m ³]	[W/mK]	[Wh/kgK]	[m]	[m ² /h]	[h]	[h]
W1	700	0,10	0,472	0,24	0,0003	190,31	66,04
W2	700	0,10	0,472	0,49	0,0003	793,29	275,27

Styropor	ρ	λ	c	d	a	τ	τ'
	[kg/m ³]	[W/mK]	[Wh/kgK]	[m]	[m ² /h]	[h]	[h]
W1	45	0,04	0,336	0,24	0,0026	21,77	7,56
W2	45	0,04	0,336	0,49	0,0026	90,76	31,49

Tabelle 11: Rechenbeispiel für je 3 Materialien und je 2 Wandstärken

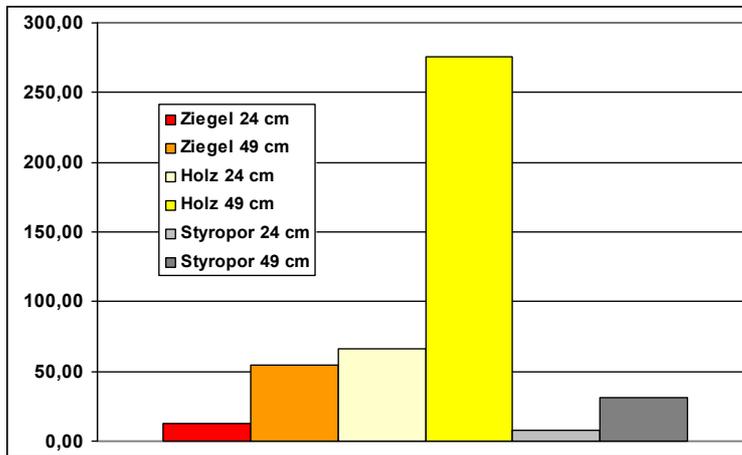


Abbildung 53: Grafische Darstellung der Halbwertzeiten aus Tabelle 11

Grundlagen:

$$T_x = f(Q, \rho, \lambda, c, \Delta T, t)$$

Die Temperatur an einem Ort x im Inneren der Wand ist eine Funktion der Energiemenge, die sich mit der Zeit ändert und den Temperaturunterschied verändert. ρ, λ, c wirken sich auf den Transport der Wärmemenge aus.

$$T_o = f((l, \alpha, \varepsilon, t) + (\rho, \lambda, c, \Delta T, t))$$

Die Temperatur an der Oberfläche der Wand ist eine Funktion der Energiemenge, die sich mit der Zeit ändert. Der solare Absorptionskoeffizient wirkt sich auf die aufgenommene Energiemenge aus Einstrahlung aus. ρ, λ, c wirken sich auf den Transport der Wärmemenge ins Wandinnere aus und ein Teil der Energie wird langwellig in dem Maße im IR abgestrahlt, wie es der Emissionsgrad ε zulässt. Der Strahlungs- und der Leitungsanteil wirken gleichzeitig.

$$\lambda, c = f(T)$$

Bei der Temperaturabhängigkeit von λ und c ist ein Intervall [-10°C; +45°C] zu berücksichtigen.

Vielleicht genügt es, als Ausblick zu formulieren, dass man die Arbeit, eine Formel herzuleiten, denen überlassen sollte, die bereits für teuer Geld eine falsche Formel für die Norm fabriziert haben.

7 Zusammenfassung

Der Artikel zeigt grundlegende methodische Fehler in den vom DIN normierten Berechnungsverfahren auf und erläutert diese, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit oder gar Abgeschlossenheit zu erheben. In summa gelingt der Nachweis, dass die normierten Ansätze zur Berechnung solarer Gewinne opaker Bauteile einer Überprüfung nicht standhalten.

Es werden Datengrundlagen für die Berechnung gezeigt und Quellen dafür aufgeführt, gleichzeitig werden Defizite in der Bereitstellung der Daten beschrieben. Es erfolgt eine Zusammenfassung und Vorstellung von Untersuchungen und Forschungsberichten, die gemeinsam haben, dass sich alle meist nur mit Teilaspekten befassen. Hinsichtlich der Größenordnungen bzw. Potenziale der solaren Gewinne opaker Bauteile werden somit Richtwerte geliefert.

Anhand der Zusammenstellung von verschiedenen gemessenen Werten zu einem Referenz-Beispiel wird eine analytische Bewertung der bauphysikalischen Vorgänge und Zustände an und in der beschienenen Wand an einem Wintertag angestellt. Hierbei finden alle Formen des Wärmetransportes Berücksichtigung.

Infolge solarer Erträge der opaken Außenwände sind - in Abhängigkeit vom Standort und von Einflüssen des Wetters - Einsparungen im Energiehaushalt eines Wohngebäudes in der Größenordnung von 10-20% realistisch.

Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann
DIMaGB, Berlin, 05.04.2009

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisschema der Bilanz zum Rechenbeispiel, die solaren Gewinne über die opaken Bauteile werden nicht ausgewiesen, lediglich eine marginale Verringerung der Transmissionswärmeverluste (rot) und des Heizwärmebedarfs (grau) werden angegeben	7
Abbildung 2: Temperaturverlauf im stationären Zustand nach U-Wert-Theorie	9
Abbildung 3: Wärmeübergang von der Innenraumluft zur Wandoberfläche innen, der Übergangswiderstand R_{si} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur, $R_{si} = 0,13 \text{ W/mK}$	9
Abbildung 4: Wärmeübergang von der Wandoberfläche außen zur Außenluft, der Übergangswiderstand R_{se} bewirkt eine Wandoberflächentemperatur, die niedriger ist als die Raumlufttemperatur $R_{se} = 0,04 \text{ W/mK}$	9
Abbildung 5: Abnahme der Dämmwirkung durch Feuchte, nach Cammerer, entnommen dem Fachartikel „Sorpton“	12
Abbildung 6: Grafische Übersicht zu dynamischen Größen im Winter	13
Abbildung 7: Temperaturverteilung und Energiegewinn durch Solarstrahlung	13
Abbildung 8: Messkurve 18.-21.01.1992 in Zürich, 40...45°C Übertemperatur der Außenwandoberfläche gegenüber der Außenluft im Januar (-1...-2°C ca. 12 bis 15:00 Uhr)	15
Abbildung 9: Übertrag gemessener Werte in das starre Schema nach U-Wert-Theorie zum Temperaturverlauf an und in der Wand	15
Abbildung 10: Temperatur des klaren Himmels bei $\theta_a = 0^\circ\text{C}$ in Abhängigkeit vom Zenitwinkel, Quelle: EMPA Dübendorf, 17.01.2003	17
Abbildung 11: Messdaten EMPA Dübendorf, 18.02.1992 0:00 bis 22.02.1992 0:00 (PDF, S. 7-10, 12)	19
Abbildung 12: Verbesserungsmaß in % für die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Absorptionsgrad der Oberfläche, hier bei einer 30 cm Mauerwerkswand mit $k = 0,72$	20
Abbildung 13: Reduzierung der Wärmestromdichte durch solaren Ertrag	21
Abbildung 14: Bild 4: Zeitliche Verläufe der Oberflächentemperaturen der Versuchsfelder an einem kalten Wintertag. Oben: traditionelles Mauerwerk. Unten: Wärmedämmverbundsystem	22

Abbildung 15: Diagramm 1: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: 9.10 bis 15.15 Uhr Sonnenschein, davon ca. 2 Std. von Baumäste leicht überschattet	24
Abbildung 16: Diagramm 2: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: 9.10 bis 15.15 Uhr Sonnenschein, davon ca. 2 Std. von Baumäste leicht überschattet	24
Abbildung 17: Diagramm 3: Temperaturen in Außenwand am 15.02.2001, 7:00-23:00, Bucksdorfferstr. 28, Bedingungen: leichter Niederschlag ab 10 Uhr Schneefall, ab 13 Uhr stark bewölkt	24
Abbildung 18: Bild 3 aus	28
Abbildung 19 (rechts): Rekonstruktion der Kurve zum Strahlungsangebot im Bild links	28
Abbildung 20: Direkte Sonnenstrahlung auf Hauswände in kcal/m ² h für 50° geografische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität für Potsdam nach J.S. Cammerer und W. Christian, nach Auszug aus Zahlentafel 32; die obere Uhrzeitenreihe gilt für die Ausrichtungen S, SO, O, ON, N, die untere Uhrzeitenreihe gilt für die Ausrichtungen S, SW, W, NW, N	28
Abbildung 21 (rechts): Alternativdarstellung zur linken Abbildung	28
Abbildung 22: Direkte Sonnenstrahlung auf die Normalfläche in kcal/m ² h nach Messungen in Potsdam 1907-1923 auf der Grundlage von Zahlentafel 31	29
Abbildung 23 (rechts): Alternativdarstellung zur linken Abbildung	29
Abbildung 24: Direkte Sonnenstrahlung auf Hauswände, Tagessumme in kcal/m ² h für 50° geografische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität für Potsdam nach J.S. Cammerer und W. Christian, nach Auszug aus Zahlentafel 32;	29
Abbildung 25: Klimatable Region 5, wie sie in diversen Programmen als Datenbank integriert ist ...	31
Abbildung 26: GTZ und Außentemperaturen, Langjähriges Mittel ausgewählter Stationen, 1970 - 2007 (Straubing nur 18 Jahre) aus	33
Abbildung 27: die Grafik zeigt den Statistik-Charakter der GTZ	34
Abbildung 28: Grafische Darstellung der durchschnittlichen Heizperiode dargestellt als Heiztage je Heizperiode (nach langjährigen Mitteln)	34
Abbildung 29: Verteilung der Gradtagszahlen, Berlin-Tempelhof, 2003-2006 (Jan-Dez)	35
Abbildung 30: Vergleich der Jahressummen der GTZ 19/12 aus Bild 2 (Jahr = Jan-Dez)	35
Abbildung 31 (rechts): statistische Verteilung des Heizenergieverbrauchs, aus Tabelle 6	35
Abbildung 32: Darstellung der 15 Referenzregionen nach Vornorm DIN V 4108-6	36
Abbildung 33: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Horizontale sowie die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N	37
Abbildung 34 (rechts): Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N	37
Abbildung 35: Relation der durchschnittlichen monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Neigung 90° (Wand) mit der Orientierung S, W und N –bezogen auf die Horizontale (100%)	37
Abbildung 36 (rechts): Relation der durchschnittlichen monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) für die Horizontale u. Neigung 90° mit der Orientierung W und N –bezogen auf die Orientierung Süd (100%)	37
Abbildung 37: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) wie vor, für das gesamte Jahr, beginnend mit September	37
Abbildung 38: Durchschnittliche monatliche Strahlungsintensität für Potsdam (Region 4) wie vor, für die Heizperiode, September bis Mai	37
Abbildung 39: Screenshot des Online-Tools zur Berechnung von Ueff	39
Abbildung 40: herkömmliche Berechnung des U-Wertes für unterschiedlich mächtige Außenwände, hier für Vollziegelmauerwerk mit $r = 1.450 \text{ kg/m}^3$	40
Abbildung 41: Berechnung von Ueff nach	40
Abbildung 42: Darstellung von Kenngrößen in Anlehnung an berichtete Messwerte, Südwand, ca. 400 m üNN, ca. 48° Ost geografische Breite, Region D/A/CH, Mitte Februar	41
Abbildung 43: Energiezu- und abflüsse der Außenwandoberfläche im Winter Legende: Q = Energiefluss bzw. Wärmestrom, Erläuterung der Indizes: i = interior = innen, e = exterior = außen, c = convection = Konvektion, r = radiation = Strahlung, t = transmission = Wärmeleitung in = inside = nach innen, out = outside = nach außen g = global, d = directly = direkt, lw = long wave = langwellig, sw = short wave = kurzweilig v = vaporisation = Verdunstung	42
Abbildung 44: Darstellung der Temperaturbereiche an der Außenwand (innen und außen) Legende: a = air = Außenluft, i = inside = Innenraumluft, s = surface = Oberfläche, e = exterior = außen	42
Abbildung 45: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 21:00 – 08:00	44
Abbildung 46: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 08:00 – 10:00	44
Abbildung 47: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 10:00 – 19:00	45

Abbildung 48: Energiebilanz ΣQ_j an der Außenwandoberfläche, 19:00 – 21:00	45
Abbildung 49: TAV und Phasenverschiebung aus	47
Abbildung 50: Prinzipskizze der besonnten Außenwand an einem Tag im August.....	49
Abbildung 51: Prinzipskizze der besonnten Außenwand an einem Tag im Februar	49
Abbildung 52: Vergleich Sommer zu Winter von Temperaturen an der Wand	50
Abbildung 53: Grafische Darstellung der Halbwertszeiten aus Tabelle 11.....	53

8.2 Formelverzeichnis

Formel 1: Wärmedurchlasswiderstand als Reziprok (Kehrwert) des Wärmedurchlasskoeffizienten	4
Formel 2: Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils als Reziprok (Kehrwert) des Wärmedurchgangswiderstandes	4
Formel 3: Formel (60) aus DIN V 4108-6 zur Berechnung des Wärmegewinns infolge Absorption auf opake Bauteile	5
Formel 4: Formel 3, leicht modifiziert	5
Formel 5: Beschreibung des Strahlungsanteils Str aus Formel 4.....	6
Formel 6: von Formel 3 zu Formel 4 und dann Formel 2 in Formel 4 eingesetzt, R_{se} erscheint $2x$	8
Formel 7: Faustregel nach , wobei B der Abstand der Außenwände, h der Schnittpunkt Dach-Wand ist und die max. Dachneigung 12° beträgt.....	18
Formel 8: Formel nach , wobei h = Höhe Fensterbank EG bis Traufe, v = Dachüberstand und a = Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen die Waagerechte treffen; Dachneigung max. $15,3^\circ$, abgeleitet von $a = 15,3^\circ$ am 21.12. unter dem 51. Breitengrad	18
Formel 9: rechnerischer Ansatz der prozentualen Wärmestromreduzierung durch solaren Ertrag von Lindauer; es bedeuten: a = Absorptionsgrad, I = verfügbare Solarstrahlung, α_a = äußerer Wärmeübergangskoeffizient und $\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz Raum-/Außenluft	20
Formel 10: Formel für GTZ 20/15.....	32
Formel 11: Formel zur Berechnung von U_{eff} unter Berücksichtigung des solaren Ertrags Hinweis: im ersten Term ist das I als 1 zu lesen, im zweiten ist I die Strahlungsintensität, der erste Term ist der klassische U-Wert, nach dem Minus steht der Korrekturwert.....	38
Formel 12: Formel der Fourier-Zahl	51
Formel 13: Formel der Wärmeleitfähigkeit λ	51
Formel 14: modifizierte Fourierzahl nach Heindl.....	51
Formel 15: Formel zur Ermittlung von U_{eff} , vom Original zur modernisierten Umschreibung in Formel 11 $b = \sqrt{\lambda \times \rho \times c}$ (Wurzel aus λ x ρ x spezifische Wärmekapazität).....	51
Formel 16: Die Zeitkonstante nach Hofbauer	52
Formel 17: Die Halbwertszeit nach Hofbauer k = Konstante für Halbwertszeit $0^\circ\text{C} = 0,5 \times \log n =$ 0.347	52

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: genormte Klimawerte des Glaserverfahrens, wie sie in DIN 4108 verankert sind.....	11
Tabelle 2: Schema der Gebäudeenergiebilanz bis zum Heizwärmebedarf.....	14
Tabelle 3: Variantenbetrachtung zum Wärmestrom, beschienene Außenwand.....	16
Tabelle 4: Mittlere Klimadaten (1961-1990) Berlin-Dahlem, Legende: *) 1909-1999	30
Tabelle 5: verkürzte und gerundete Darstellung der Werte aus , Jun-Sep = je 0	35
Tabelle 6: Sonnenscheinwerte für Berlin ($52,51^\circ$ N Breite, $13,41^\circ$ O Länge), Quelle:	36
Tabelle 7: Wärmeeindringkoeffizienten b , stationäre $u(k)$ -Werte und die u_{eff} -Werte für verschiedene Himmelsrichtungen von Mauerwerk aus Mauerziegeln und a . nach DIN 105 Teile 1 bis 4, aufgeführt nach Rohdichte ρ und Wärmeleitfähigkeit λ . (gekürzter Auszug aus Tabelle 2)	39
Tabelle 8: Übersicht der Zustände in zeitlichen Abschnitten, bezogen auf die Außenwandoberfläche; Speisung des Speichers Außenwand von innen bedeutet Energieentzug, der durch Raumheizung ausgeglichen werden muss; * Beispiel: 20°C Raumtemperatur – 35°C Wandoberflächentemperatur = -15 K und $\Delta t \leq 0\text{ K}$	46
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kenngrößen der besonnten Außenwand der Südseite für Sommer und Winter, Referenzstandort Potsdam.....	50
Tabelle 10: Wärmekapazitäten c verschiedener Baustoffe, nach Norm: alle = $1,0\text{ J/gK}$	52
Tabelle 11: Rechenbeispiel für je 3 Materialien und je 2 Wandstärken.....	53

8.4 Referenzen, Literatur

¹ Energieberater-Software xyz*, Kartenreiter "Einstellungen", der Name ist dem Autor aus der Anwendung der Software heraus bekannt

² M. Bumann: "Zur Verringerung solarer Erträge opaker Bauteile infolge WDVS", DIMaGB, Berlin, 12.06.2006, Fundstelle: <http://www.richtigsanieren.de/info/wd/wd22.htm>

³ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 24.07.2007 (BGBl. I S. 1519)

⁴ EnEV 2007, Anlage 3 (zu den §§ 8, 9 Abs. 2 und 3, § 18 Abs. 2): "Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen und bei Errichtung kleiner Gebäude; Randbedingungen und Maßgaben für die Bewertung bestehender Wohngebäude"

⁵ DIN EN ISO 6946:2008-04: "Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007)"; Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007, Ersatz für DIN EN ISO 6946:2003-10. Vormals: DIN EN ISO 6946 : 1996-11 als Ersatz für: Teile der DIN 4108-5 : 1981-08, insbesondere für die Abschnitte 3, 4, 5 und 10.

⁶ "Bauphysik für jedermann", (Bau-) Physikalische Größen und Begriffe Erläuterungen und praktische Beispiele, von DIMaGB, Januar 2002, Fundstellen: <http://www.dimagb.de/info/bauphys/mbbph1.html> und <http://hausklinik.de/wissen/bau/bauphysik1.htm>

⁷ DIN V 4108-6:2003-06 "Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs" (mit DIN V Berichtigung 1:2004-03 "Berichtigungen zu DIN V 4108-6:2003-06")

⁸ „Eine Norm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte ... noch nicht als Norm herausgegeben wird.“ beschreibt der Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. das Problem.

⁹ M. Bumann: "Tauwasser und Sorption, Wärme und Feuchte, Normen und Vorbehalte", DIMaGB, Berlin, 30.03.2008, Fundstelle: Blog BAUFÜSICK, <http://baufuesick.blogspot.com/2008/03/tauwasser-und-sorption-wrme-und-feuchte.html>

¹⁰ DIN V 4108-4:2007-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Vornorm, Hrsg.: Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe: 2007-06

¹¹ DIN EN 832, Ausgabe 2003-06, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude (enthält Berichtigung AC:2002); Deutsche Fassung EN 832:1998 + AC:2002

¹² Richtlinie des Fachverbandes Transparente Wärmedämmung e.V. "Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung", Ausgabe Juni 2000 (2. Auflage)

¹³ Hauser, Prof. Dr.: Forschungsvorhaben „Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 „Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren“ auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart“, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Wärme, Energie, Feuchte, Schall, Tageslicht, Baunatal, Zusammenfassung, Aktenz.: IBH 457/02, 31.01.2003

¹⁴ Bumann, Matthias: Sorption. Eine Betrachtung zum Thema „Feuchte im Bauteil Außenwand“, SICG GmbH, Berlin, 27.04.2005

Fundstelle: <http://www.richtigbauen.de/info/phy/srpt/srpt00.htm> und <http://download.richtigbauen.de>

¹⁵ Peter Conradi: "Stellungnahme zum Referentenentwurf EnEV 2002", BAK, 28.09.1999, Zitat: "Die Bundesarchitektenkammer hat sich im Rahmen einer Stellungnahme vom 28.09.1999 zum Referentenentwurf der Energieeinsparverordnung wie folgt geäußert: ... 2. Die verschärften Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz werden von der Bundesarchitektenkammer kritisch beurteilt; die Aussagen in der Begründung "durch Gutachten belegt", können nicht nachvollzogen werden; die Bundesarchitektenkammer fordert, die angeführten Gutachten offenzulegen, damit sie auf ihre Plausibilität überprüft werden können."

¹⁶ Peter Conradi: "Stellungnahme zum Referentenentwurf EnEV 2002", BAK, 28.09.1999, Zitat: "4. Die Handhabbarkeit der im Referentenentwurf dargestellten Berechnungsverfahren ist bisher nicht gegeben. Die Bundesarchitektenkammer fordert das BMVBW auf, eine wissenschaftliche Untersuchung bezüglich des Wärmedurchgangskoeffizienten (U- bzw. k- Wert) als Kenngröße für Wärmebedarfsberechnungen in Auftrag zu geben, um damit die Plausibilität der im Referentenentwurf dargestellten Berechnungsverfahren nachzuweisen und auf diese Weise Klarheit in die mittlerweile in einen Glaubenskrieg erinnernde Diskussion zur Gültigkeit der stationären bzw. instationären Betrachtungsweise hinsichtlich des Wärmedurchganges zu bekommen. Für diese wissenschaftliche Untersuchung sollten vorhandene Beispielgebäude durchgemessen und diese Messergebnisse anschließend mit den Werten verglichen werden, die anhand statischer und dynamischer EDV-Berechnungsprogramme zur EnEV ermittelt worden sind."

¹⁷ Siehe hierzu beispielhaft ein Zitat: "Ein bisher gängiges Verfahren zur Beurteilung des Feuchtehaushalts eines Bauteils durch Betrachtung des auftretenden Diffusionstransports stellt das Glaser-Verfahren nach DIN 4108 dar. Dieses Verfahren berücksichtigt jedoch weder den kapillaren Feuchtetransport im Bauteil, noch dessen sorptive Aufnahmefähigkeit für ausfallende Feuchte. Ferner kann das mit stationären Zuständen unter pauschalen Blockrandbedingungen arbeitende Verfahren weder kurzfristige Ereignisse abbilden, noch Regen und Strahlung berücksichtigen." Fundstellen: <http://www.wufi.de/> und <http://www.ibp.fraunhofer.de/software/wufi.html>, vergl. hierzu auch Forschungsergebnis von Prof. Hauser: Die Berechnungsverfahren der Normen erlauben keine realistische Einschätzung der Feuchte- und Wärmebilanz von Bauteilen.

¹⁸ Prof. C. Meier: "Das Trauerspiel der EnEV", Zitat: "Dieses Nachweisverfahren wird an einem Beispiel im Anhang L der DIN EN 832 erläutert. Die Tabelle L9 listet die Heizwärmebedarfswerte eines ca. 90 m² großen Hauses auf und enthält auch das Ergebnis für die Heizperiode: 30 000 MJ ± 13 000 MJ oder in kWh: 8333 kWh ± 3611 kWh. Mit einer solchen Abweichung werden alle ernst zu nehmenden Berechnungen in den Ingenieurwissenschaften verhöhnt. Eine Abweichung von ± 43,3 % ist ein Skandal. Immerhin liegen mögliche Ergebnisse dann zwischen 4722 kWh und 11944 kWh bzw. zwischen 52,8 kWh/m²a und 133,5 kWh/m²a und das ist immerhin das 2,53 fache. Eine derartige Streuung entbehrt jeder soliden wissenschaftlichen Arbeit.", Fundstelle: <http://www.richtigbauen.de/info/phy/pm/pm06.htm>

¹⁹ ""Hütte" Des Ingenieurs Taschenbuch", herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, EV in Berlin, 27. Auflage, I. Band, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1948, Seite 542

²⁰ Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Meier: TU Berlin, Stadt Nürnberg: "Dämmen wir uns in die Sackgasse? Wärmeschutz und Energieeinsparverordnung, Widersprüchliches und Absurdes", Vortrag anlässlich der Backsteintage 2001, 30./31.01.2001 in Hildesheim/Westerstede

²¹ H. Werner: "Auswirkungen der Strahlungsabsorption von Außenwandoberflächen und Nachtabsenkung der Raumlufttemperaturen auf den Transmissionswärmeverlust und den Heizenergieverbrauch.", IBP-Bericht EB-8/1985, Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Auftraggeber: Ziegelforum München

²² ""Hütte" Des Ingenieurs Taschenbuch", herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte, EV in Berlin, 27. Auflage, I. Band, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1948, Seite 543

²³ Thomas Frank: "Klimatische Einflussgrößen", ETHZ, Abteilung Bauphysik, EMPA, Dübendorf, CH, 17.01.03, Folie 12 von 15

²⁴ Cécile Bonnet; Alexander Storch: "Der Einfluss der Himmelstemperatur auf abgedeckte und ungedeckte Kollektoren", arsenal research, Faradaygasse 3, A-1030 Wien, Fundstelle: <http://www.arsenal.ac.at/erneuerbare>

²⁵ McAllister E. D., W. McLeish, Heat Transfer in the Top Millimeter of the Ocean, JGR, Vol. 74, No. 13, pp. 3408-3414, 1969. Fundstelle: <http://klimt.iwr.uni-heidelberg.de/PublicFG/ProjectB/CFT/diss/haus/node20.html>. Zitat: "Ein Anwendungsfall, für den dies wichtig wird, ist die Emission von Strahlung an der freien Ozeanoberfläche. In klaren Nächten kann die scheinbare Temperatur des Himmels bis zu 65 °C unter der Temperatur der Ozeanoberfläche liegen ([McAllister, McLeish, 69])."

²⁶ Zenitwinkel und Nadirwinkel sind der Sehwinkel zwischen Visierlinie und Lotrichtung

²⁷ Dr. h.c. Manfred Rommel (*1928), 1974-1996 Oberbürgermeister von Stuttgart

²⁸ Jean Paul Sartre

²⁹ Carl Friedrich von Weizsäcker

³⁰ Die Frage "Cui bono?", gelegentlich auch in der Form „Qui bono?“ auftretend, kommt aus dem Lateinischen und bedeutet: "Wem zum Vorteil?". Dabei handelt es sich nicht allein um ein kriminologisches Prinzip, dass der Verdacht am ehesten auf denjenigen fällt, der daraus den größten Nutzen zieht. Will man verstehen, warum etwas so ist wie es ist, ist die Frage nach dem Nutzen meist Ziel führend. Das betrifft fast alle Bereiche wie Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.

³¹ Dipl.-Ing. Martin Jaekel, Oberstudiendirektor, und Regierungsbaumeister a.D. Walter Klopfermann, Oberstudienrat: "Bürgerliche Baukunde", in Bautechnische Lehrhefte, Heft 9,4. Auflage, Dr. Max Jänecke Verlagsbuchhandlung, Leipzig, 1937

³² H. Fischer und Prof. Körte: "S. Sonnenlichtanalyse", in "Moderne Bauformen", Heft 11, 1932; und: Dr.-Ing. Grobler: "Die Besonnungsdauer", Deutscher Baukalender und Deutsche Bauzeitung, Nr. 41, 1932

³³ Unter Zeilenbau sind parallel zueinander angeordnete Reihenhäuser zu verstehen, wo sich in stets gleicher Reihenfolge Garten, Bürgersteig und Straße anreihen. Im Vergleich hierzu der Reihenhau, wo

³⁴ Prof. Heiligenrath-Karlsruhe: „Städtebau und Bevölkerungsdichte“

³⁵ Plessner: „Die Besonnung der Ost-West-Straße“, deutsche Bauzeitung, Nr. 51, 1932

³⁶ Als Globalstrahlung bezeichnet man die an der Erdoberfläche auf eine horizontale Empfangsfläche insgesamt eintreffende Solarstrahlung. Die Globalstrahlung setzt sich zusammen aus der Direktstrahlung und der Diffusstrahlung (Streuung an Wolken, Wasser- und Staubteilchen). In der Meteorologie wird üblicherweise die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche betrachtet, für senkrechte Flächen wie Hauswände ist dieser Wert zu messen bzw. umzurechnen. Hierbei kommt ein vom Erdboden reflektierter Anteil dazu, während Direktstrahlung - in Abhängigkeit vom Einstrahlungswinkel - und Diffusstrahlung - aufgrund des kleineren Füllanteils des Gesichtsfeldes mit Himmel - geringer ausfallen.

³⁷ AMz-Bericht 5/1997 "Solarabsorption auf Außenwänden und Reduktion der Transmissionswärmeverluste" der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel, AMz = Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.

³⁸ [1] Kupke, C.; Stohrer, M.: Wärmeenergetransport durch Außenwände unter natürlichen Klimabedingungen. Abschlussbericht Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft für Bauphysik e.V. an der FH für Technik (FEB), Stuttgart (1987). [2] Frank, T.: Energiebilanz von Außenwänden unter realen Randbedingungen. Untersuchungsbericht Nr. 136 788, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf, Schweiz (1994). [3] Lindauer, E.; Einfluss der Absorption von Sonnenstrahlung auf die Transmissionswärmeverluste von Außenwänden aus Ziegelmauerwerk. Bericht REB 4/ 1996 des Fraunhofer Inst. für Bauphysik, Holzkirchen (1996). [6] Lindauer, E.: Untersuchungen zum Nachweis des solaren Ausnutzungsgrades an thermisch leichten und schweren Versuchsräumen. Bericht REB-5/1996 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1997). [7] Werner, H.: Parameterstudie über energetische Einflussgrößen auf den Heizenergiebedarf von Gebäuden im Hinblick auf die ESVO'99, Rottach-Egern (1997) unveröffentlicht.

- ³⁹ Lindauer, E; Einfluss der Absorption von Sonnenstrahlung auf die Transmissionswärmeverluste von Außenwänden aus Ziegelmauerwerk. Bericht REB 4/ 1996 des Fraunhofer Inst. für Bauphysik, Holzkirchen (1996).
- ⁴⁰ Palmiter, L.; Wheeling, T.: SUNCODE - A Program User's Manual. Ecotope Group (1981).
- ⁴¹ Arch. Dipl.-Ing. Renate Hammer, Dipl.-Ing. Patrick Jung: "Beton in der Solararchitektur", eine Studie im Auftrag von Die österreichische Zementindustrie, Wien, und InformationsZentrum Beton, Köln, Oktober 2000. Die Studie „Beton in der Solararchitektur“ hatte als Masterthesis an der Donau Universität Krems von Architektin Dipl.-Ing. Renate Hammer (Donau Universität Krems) ihren Ursprung, wurde unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Patrick Jung (Ingenieurbüro Köln) in die vorliegende Form gebracht und von der österreichischen Zementindustrie gefördert.
- ⁴² Dr.-Ing. H. Leonhardt, Dipl.-Ing.(FH) Sinnesbichler: "Untersuchungen des langwelligen Wärmestrahlungsverhaltens von Fassadenanstrichen im Winter", IBP-Bericht RK-ES-05/2000, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis), ohne Datum, (PDF vom 03.07.2003)
- ⁴³ Dipl.-Ing. M. Bumann: Merkblatt zu Thermografieaufnahmen im Gebäudebereich „IR-Thermografie-FibelTS“, DIMaGB, Berlin, 31.03.2009
- ⁴⁴ Dipl.-Ing. Peter Rauch: "Eingespeicherte Solarenergie bei einer Außenwand. Temperaturmessung an einer Gebäudeaußenwand im Februar 2001 (14 Tage)", Kapitel 2.4. Auswertung, Ingenieurbüro Rauch, Leipzig, Februar 2001, Fundstelle: <http://www.ib-rauch.de/bauphysik/waermesp.html>
- ⁴⁵ Dipl.-Ing. Peter Rauch: "Eingespeicherte Solarenergie bei einer Außenwand. Temperaturmessung an einer Gebäudeaußenwand im Dezember 2002", Ingenieurbüro Rauch, Leipzig, Dezember 2002, Fundstelle: <http://www.ib-rauch.de/bauphysik/waermesp2.html>
- ⁴⁶ Dr. Werner Platzer: "Fassaden zur Solaren Wandheizung - Der Einsatz von Transparenter Wärmedämmung", Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., Gundelfingen, Fachseminar Solare Fassaden, 28.-30. Juni 2002, Freiburg
- ⁴⁷ „Was dem Jupiter erlaubt ist, ist dem Rindvieh nicht erlaubt“, vermutlich eine Abwandlung des Zitates von Terenz – „Aliis si licet, tibi non licet.“ = „Wenn es anderen erlaubt ist, so doch nicht dir.“
- ⁴⁸ Fundstelle: <http://baufuesick.blogspot.com/2008/08/din-18195-kostenlos.html> mit Verweis auf Faktensammlung bei <http://www.richtigbauen.de/info/rules/r00.htm>
- ⁴⁹ Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung: Zusammenfassung der Ergebnisse ; wissenschaftlicher Endbericht mit praktischen Beispielen" DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. Bearb. von Bernd Hartlieb, Berlin ;Wien ; Zürich : Beuth, 2000
- ⁵⁰ Hauser, Prof. Dr.: Forschungsvorhaben „Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 „Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren“ auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart“, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Wärme, Energie, Feuchte, Schall, Tageslicht, Baunatal, Zusammenfassung, Aktenz.: IBH 457/02, 31.01.2003
- ⁵¹ Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann: "Die Berechnungsverfahren der Normen erlauben keine realistische Einschätzung der Feuchte- und Wärmebilanz von Bauteilen", DIMaGB, Berlin, 01.06.2007
- ⁵² Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer und Dr.-Ing. Martin Krus vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Freilandversuchsstelle Holzkirchen: Skript zur Vorlesung Bauphysik vom 08.09.2004
- ⁵³ Bumann, M.: "Über die Erfindung des Wärmeschutzes", DIMaGB, Berlin, 14.02.2009
<http://baufuesick.blogspot.com/2009/02/uber-die-erfindung-des-waermeschutzes.html>
http://download.dimagb.de/docs/bumann/Ueber_die_Erfindung_des_Waermeschutzes.pdf
- ⁵⁴ Helmut Lindner, Studiendirektor: "Lehrbuch der Physik für Ingenieur- und Fachschulen", Ingenieurhochschule Mittweida, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 5. Auflage, 1972, Fundstellen: S. 261, 262 und 263
- ⁵⁵ Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer: „Die konstruktiven Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau“, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1936
- ⁵⁶ Umrechnung von kcal/m²h in SI-Einheiten: 1 kcal = 4,1868 kWs, 4,1868 kWs = 4.186,8 Ws, 1 h = 60 x 60 = 3600 s, 4.186,8 Ws = 1,163 Wh, Wh/m²h = W/m², 100 kcal/m²h = 116,3 W/m²
- ⁵⁷ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16. November 2001, Abschnitt 5 Gemeinsame Vorschriften, Ordnungswidrigkeiten, § 13 Ausweise über Energie- und Wärmebedarf, Energieverbrauchskennwerte, (6)
- ⁵⁸ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Referentenentwurf, Stand: 16. November 2006, Abschnitt 5 Energieausweise und Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz, § 19 Ausstellung auf der Grundlage des Energieverbrauchs, (4)
- ⁵⁹ Eine Gradtagszahlentabelle steht beim IWU als Excel-Tool im Download zur Verfügung, bei Redaktionsschluss war die letzte Version vom 05.12.2008. 67 Eine jährliche Aktualisierung der Daten ist immer im Mai geplant. Es bestehen noch weitere Quellen für Klimadaten im Internet.
- ⁶⁰ Quelle: Internetseite des DWD, ohne Datumsangabe, erfasst im März 2009
- ⁶¹ Quelle: Klimafaktoren für den Energiepass. Damit Ihr Energiepass noch verlässlicher wird, Datei: KF_alle_ab_2002_XLS_XLS_default.xls, Statistik: Erstellt am: Montag, 07. Mai 2007, 10:35:48, Gedruckt am: Mittwoch, 13. Juni 2007, 15:45:34, Zusammenfassung: Autor: Prior, Firma: IEMB, Zuletzt gespeichert von: ghalbig
- ⁶² Künzel 1994: „Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten“, von der Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Abhandlung, vorgelegt von Dipl.-Ing. Hartwig M. Künzel aus Tegernsee, Lehrstuhl für Konstruktive Bauphysik der Universität Stuttgart, 1994

⁶³ Von der Außenwand kapillar aufgenommenes Regenwasser muss durch Verdunstung (der Transport erfolgt in Kombination von Kapillarität und Diffusion, wobei der Transportkoeffizient für das Trocknen schlechter ist als der für das saugen) wieder freigesetzt werden. Die dabei der Gebäudebilanz abhanden kommende Energiemenge wird Regenenthalpie genannt. Als Praxisbeispiel ist die Verdunstungskälte bekannt: man friert nach dem Baden in nassen Sachen, man kann am Sommerstrand mit feuchtem Sand Getränke kühlen.

⁶⁴ Beilagen zur Berliner Wetterkarte (KBD), Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin; Hupfer, P. und Chmielewski, F.-M.: Das Klima von Berlin, 1990;

⁶⁵ Quelle: <http://atlas.umwelt.hessen.de/>

⁶⁶ <http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de>

⁶⁷ IWU: "Klimadaten deutscher Stationen, Datenquelle: Klimadaten Deutscher Stationen, Deutscher Wetterdienst, Offenbach - www.dwd.de", IWU Darmstadt, 05.12.2008"

⁶⁸ Dipl.-Ing. M. Bumann: "Energieberatung Objekt: L. A. 18",* 1.) Energieberatung – Objektbericht mit Empfehlungen, 2.) Energieverbrauchsanalyse (EVA), 31 Seiten, 21 Tabellen, 11 Bilder, zahlreiche Anlagen, DIMaGB, Berlin, 14.12.2007, * Projektbezeichnung anonymisiert

⁶⁹ Sonnenschein-Applet (Java), Fundstelle: <http://www.jgiesen.de/uv/>

⁷⁰ Gottfried Lohmeyer, Heinz Bergmann, Matthias Post: "Praktische Bauphysik eine Einführung mit Berechnungsbeispielen: eine Einführung mit Berechnungsbeispielen", Vieweg+Teubner Verlag, 2005, Seite 195

⁷¹ Arch. & Ing. Paul Bossert: "Die 8 energierelevanten Faktoren der Aussenwand", Architektur- & Ingenieurbüro Paul Bossert, Rainstrasse 23, CH-8955 Oetwil a. d. Limmat, 20.06.2003

⁷² Dipl.-Ing. Peter Rauch: "Berechnung des Transmissionswärmeverlustes an einer massiven Außenwand", Ingenieurbüro Rauch, Leipzig, Erläuterung: Bitte wählen Sie den Wandbaustoff und die Himmelsrichtung aus und geben Sie die Wandstärke (inklusive Putz) ein. Hinweis: Wird zum Beispiel die Südseite überschattet, so wählen Sie die Westseite. Fundstelle: <http://www.projet2001.de/bauphysik/energie.html>

⁷³ Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Meier, Architekt SRL: "Berücksichtigung der Speicherung beim u(k)-Wert", Nürnberg, vermutlich 2001, Fundstelle: <http://www.dimagb.de/info/bauphys/pmspeich.html>

⁷⁴ Dipl.-Ing. Peter Rauch: "Formel und Tabellen zur Berechnung des Ueff-Wertes", Ingenieurbüro Rauch, Leipzig, Fundstelle: <http://www.projet2001.de/bauphysik/energiebeschr.html>

⁷⁵ Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Meier: "Richtig bauen. Bauphysik im Widerstreit - Probleme und Lösungen", 2. Auflage, als Band 645 in Kontakt & Studium, expert Verlag, Renningen, 2003

⁷⁶ telefonische Anfrage des Autors vom 06.01.2009 im Ingenieurbüro Petr Rauch, Leipzig

⁷⁷ Dipl.-Ing. M. Bumann, Berechnungstool zur Ermittlung von Ueff unter Berücksichtigung des Speichervermögens und der solaren Erträge, verwendet in der Energiebedarfsberechnung zum Projekt "SHB", DIMaGB, Berlin, 01.12.2008

⁷⁸ Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer: „Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie“, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1928

⁷⁹ Herbert Müller: "Ruhiger Wohnen – Das Massivdach aus Porenbeton", Xella Bausysteme, Technische Kommunikation, November 2004

⁸⁰ Kapitel 02 Wärme, www.viewegteubner.de/freebook/978-3-519-55014-3_1.pdf

⁸¹ Dipl.-Ing. Hauser, Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. K. Gertis: "Kenngrößen des instationären Wärmeschutzes von Außenbauteilen - Eine kritische Überprüfung der Kenngrößen-Eignung für die Neufassung von DIN 4108 -", Institut für Bauphysik der Fraunhofer Gesellschaft, Berichte aus der Bauforschung, H. 103, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1975

⁸² Deutsches Ingenieur Blatt, Organ der deutschen Ingenieurkammern Körperschaften des Öffentlichen Rechts, Heft 3, März 1998, Seite 27

⁸³ Dipl.-Ing. Torsten Schoch: "Die Energieeinsparverordnung. Erläuterungen und Beispiele Nichtwohnbau", Porenbeton Bericht 22, Bundesverband Porenbeton, Wiesbaden, 1. Auflage Oktober 2002

⁸⁴ Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer, Dr.-Ing. Martin Krus: "Bauphysik Skript zur Vorlesung", Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Freilandversuchsstelle Holzkirchen, 08.09.2004, 2.6.2 Wann darf bei instationären Verhältnissen stationär gerechnet werden

⁸⁵ Dipl.-Ing. M. Bumann: "Rechenwerte für ThermoShield, Teil 1", DIMaGB Bauberatung, Berlin, 23.05.2006, S. 12/16

⁸⁶ Dipl.-Ing. Peter Rauch: "Wärmeeindringkoeffizient b", Fundstelle: <http://www.ib-rauch.de/bauphysik/formel/warmeindrin.html>

⁸⁷ Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann: "Vom Dämmen und Speichern - und der Suche nach der Wahrheit", DIMaGB.de - Informationen für Bauherren, 03/2002, Fundstelle: <http://www.dimagb.de/info/bauphys/mbbph2.html>

⁸⁸ Dipl.-Ing. Klaus Roggel, Architekt: "Bauphysikalische Erläuterungen (Auszug aus meiner Diplomarbeit 1982) Fortsetzung Wärmespeicherung, Teil II", Technische Universität Berlin (TUB) IAIP, Fachgebiet Klimagerechtes Bauen, Prof. Dipl.-Ing. Hasso Schreck, Fachbereich 21, Berlin im April 1982, überarbeitet im Juni 2000, Fundstelle: http://www.das-wohltemperierte-haus.info/waer_spei2.htm