



Bibliothek des technischen Wissens

Bauphysik

Walter Bläsi

Silvia Ferdinand

Kuno Schlatter

11. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 42616

Autoren:

Bläsi, Walter

Studiendirektor i.R.

Neuried

ab der 11. AuflageFerdinand, Silvia
Schlatter, KunoOberstudienrätin
Dipl.-Ing. (FH), OberstudienratBottrop
Löffingen**Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:**

Ferdinand, Silvia, Oberstudienrätin, Bottrop

Bildentwürfe: Bläsi, Walter**Bildbearbeitung:**Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
PER MEDIEN & MARKETING GmbH, Braunschweig

11. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-4380-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2022 by Verlag Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlag Foto: © sveta – stock.adobe.com

Icons: PER MEDIEN & MARKETING GmbH

Satz und Layout: PER MEDIEN & MARKETING GmbH, 38102 Braunschweig, www.per-mm.de

Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Die Bauphysik liegt nun in der **11. Auflage** vor und bietet wertvolle Grundlagen zum Verständnis bauphysikalischer Zusammenhänge von Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz in Gebäuden.

Das Buch richtet sich an:

- Meister, Techniker und Gebäudeenergieberater
- Lehrkräfte an Berufsschulen
- Aus- und Weiterbildungsinstitutionen
- Studierende an: Technischen Akademien, Fachhochschulen, Technischen Universitäten

So ist es in der Praxis möglich, den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung mit der in reichlicher Menge vorhandenen Sonnenstrahlungsenergie durch thermische Solaranlagen sowie durch Photovoltaikanlagen und in gleicher Weise die Luft und die Erde als weiteren Energieträger mit Wärmepumpen im Rahmen der Geothermie zu decken.

Mögliche Problemfälle zeigt die folgende Übersicht:

Nr.	Wärmeschutz	Feuchteschutz	Schallschutz	Brandschutz	Grund für ⊖
1	⊕ entspricht GEG	⊖ Tauwasser	⊕ kein Problem	⊕ entspricht der Norm	s _d -Wert der Dämmschicht
2	⊕ entspricht GEG	⊖ Tauwasser	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	Dämmschicht, bzw. Dampfbremse an falscher Stelle
3	⊕ entspricht KfW 70	⊖ Schimmel in der Raumecke	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	Wärmebrücken
4	⊕ entspricht KfW 50	⊖ Algen auf der Außenseite der Wand	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	zu dicke Dämmschicht, zu geringe Wärmestromdichte, zu geringe Außenputzdicke
5	⊕ Null-Energiehaus	⊕ kein Problem	⊖ Trittschall	⊕ kein Problem	Dämmschicht mit zu hoher dynamischen Steifigkeit
6	⊕ Energieplushaus	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	⊖ Problem	Dämmmaterial im Brandfall tropfend, giftige Gase entwickelnd

Den ursächlichen Zusammenhängen bei Schadensfällen – etwa durch Wärmeschutz und Feuchteschutz – wird mit durchgerechneten Beispielen nachgegangen. Es wird aufgezeigt, dass bei der Erstellung eines Gebäudes und auch bei der Altbausanierung die Wärmeschutzmaßnahmen Auswirkungen auf den Feuchteschutz, Schallschutz und Brandschutz haben.

Neu in der 11. Auflage

In der aktuellen Auflage wurden das Layout aufgefrischt und der Inhalt insgesamt aktualisiert. Weiterhin wurde das vereinfachte Verfahren zur Berechnung des Wärmeschutzes nach dem neuen Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) aufgenommen und in zwei Beispielen berechnet. Der Wärmeschutznachweis nach dem GEG für Bestandshäuser und neu zu errichtende Wohngebäude wurde nach der Monatsbilanzierung der DIN 4108 angewendet.

Ihr Feedback ist uns wichtig. Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de.

Prolog: Amortisation von Dämmmaterial

Bevor eine Bauherrin/ein Bauherr Renovierungsmaßnahmen an ihrem/seinem Haus vornimmt, wird sie/er sich die Frage stellen:

Lohnen sich Investitionen in Richtung Wärmeschutz bei Amortisationszeiten bis zu 30 Jahren?

Außerdem wird immer das Argument der Erderwärmung vorgebracht, demzufolge keine kalten und langen Winter mehr zu erwarten sind und daher Wärmedämmung kein Thema ist.

Trotz Bedenken bzw. vermeintlichem Gegenargument bringt Wärmeschutz Vorteile.

Amortisation sollte nicht das alleinige Entscheidungskriterium sein.

Bei den Amortisationsüberlegungen wird deshalb fast nur in Richtung Wärmeschutz gedacht, weil dafür Fördergelder zur Verfügung stehen. Nicht einbezogen in die Überlegungen ist der Feuchteschutz und Schallschutz für deren Berücksichtigung keine Zuschüsse gewährt werden, da damit keine Energieeinsparung verbunden ist. Die Erderwärmung, die mildere Winter beschert, lässt so manchen Bauherrn zur Aussage verleiten, dass Wärmedämmung nicht mehr erforderlich sein wird. Vergessen dabei wir allerdings, dass damit auch heißere Sommer verbunden sind, die das Leben in einem schlecht gedämmten Haus unerträglich werden lassen. Was im Winter an Heizkosten gespart wird, geht im Sommer an Kühlung verloren. Eine Verbesserung des Wärmeschutzes ist auf jeden Fall mit einer verbesserten Wohnqualität verbunden. Während für den winterlichen Wärmeschutz der Wärmedurchgangskoeffizienten die wichtigste Kenngröße ist. So spielen für den sommerlichen Hitzeschutz der Temperaturleitwert, Wärmeeindringkoeffizient sowie der Temperatur-Amplitudenverlauf eine zentrale Rolle.

Weitere Beweggründe:

- Reduzierung des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen: → CO₂-Reduzierung
- Abfederung von Preissteigerungen dieser Brennstoffe
- Erhöhung des Wohngefühls, des Wohnwertes, der Wohnqualität
 - für den Eigentümer als Selbstnutzer
 - für die Vermietung → höhere Mieten erzielbar, Energiepass Beweis für den energetischen Stand.
 - bei Verkauf → Energiepass hat Einfluss auf den Preis.
 - besser für die Erhaltung der Bausubstanz

Weshalb gibt es heute schon das:

- Energieautarke Haus
- Energie-Plus-Haus?

Dank der Nutzung der:

- Geo-Thermie: Erdwärme: oberflächennahe GT und tiefen GT
- Solar-Thermie: Sonne: Thermische (Warmwasser)-Photovoltaik-Anlage
- Aqua-Thermie: Wasser: Wasserkraftwerke
- Air-Thermie: Windkraft: Windräder
- Nachwachsende Energieträger: Holz, Pflanzen
- Reproduzierbare Energieträger: Biogas

Auswirkungen des Wärmeschutzes:

- Kausaler Zusammenhang von Wärmeschutz und Feuchteschutz
 - Was im Wärmeschutz gut ist, kann im Feuchteschutz auch gut sein, aber auch nur mäßig, ja sogar schlechter als ohne Wärmeschutz.
- Teilweise kausaler Zusammenhang zwischen Wärmeschutz und Schallschutz, bzw. Wärmeschutz und Brandschutz.

Auswirkungen von Investitionen in

• die Fassade

- Durch Außendämmung → Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit der Wand
 - höhere innere Wandoberflächentemperatur
 - kein Zugempfinden in Wandnähe
 - Vermeidung thermischer Spannungen im Mauerwerk

• die Fenster

- Dämmung der transparenten Bauteile/Fenster
- Dreifachverglasung (= 2 SZR) mit Beschichtung der Scheiben,

- Füllung der Scheibenzwischenräume (SZR) mit Edelgas Argon (kleinerer λ -Wert) hat Auswirkungen auf den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz.

Bei nur sehr geringem Mehraufwand (drei verschieden dicke Scheiben steigt das Wohlwohngefühl erheblich, z. B. von $R_g = 30$ dB auf 40 dB. Bedenke: Differenz von 10 dB werden als halb so laut empfunden. Fenster mit: $U_w = 1,1$ W/m²K bzw. $U_g = 0,7$ W/m²K, $g = 0,60$ sind für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz unumgänglich.

- **das Dach**

Beim Dach als leichtes Bauteil ($m' < 100$ kg/m²) und fast orthogonalem Sonneneinstrahlungswinkel sind die beiden Kennwerte Temperaturleitzahl a und der Wärmeeindringkoeffizient b für das Wohlbefinden in Dachräumen von besonderer Bedeutung.

Wozu dämmen?

- Vermeidung von Schimmel in Raumecken und hinter Einbauschränken
- höhere innere Wandoberflächentemperatur
- Vermeidung von Wärmebrücken, besonders der konvektiven Wärmebrücken
- Nachweis von Wärmebrücken nach DIN 4108 Bbl 2

Dämmstoffdicken haben jedoch nachweislich in der Verbesserung (Verminderung) des U -Wertes ihre Grenzen. Ab $d > 200$ mm liegt die Verminderung des U -Wertes im Bereich der zweiten Stelle nach dem Kommastelle. → auch hier: gilt das Gesetz des abnehmenden Grenzertrags.

Neben den Investitionen am Bauwerk selbst trägt die Anlage- und Lüftungstechnik auch zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bei.

Je kleiner die Anlageaufwandszahl e ist, desto besser ist die Anlage zu bewerten.

Die Luftdichtheit bedeutet eine weitere Stellschraube zur Reduzierung des Energieverbrauchs, erfordert jedoch ein entsprechendes Nutzerverhalten oder gar konditionierte Lüftung, soll Schimmelbildung vermieden werden. Investitionen sollten nicht nur von Seiten der Amortisation betrachtet werden, sondern auch von den Annehmlichkeiten, die sie uns bescheren.

Wie soll man sich in einem Haus fühlen, in dem die Leitungen auf Putz liegen, für Einzelöfen das Öl oder die Kohle aus dem Keller geholt werden muss, wo das Kondenswasser am inneren Fensterbrett in einer Rinne mit einem Tuch aufgewischt werden muss, weil die Fenster noch Einfachverglasung haben, die Scheibenverbundprofile aus Aluminium, statt dem dauerhaften Edelstahl oder Kunststoffprofilen sind.

Vergleich Auto

Wenn man beim Auto gleiche Rentabilitäts- und Amortisationsüberlegungen wie manche Hauseigentümer/Hausbewohner anstellen würde, käme man zum Ergebnis, dass man mit öffentlichen Verkehrsmitteln günstiger weg käme.

Komfort: z. B. Navi, Sitzheizung, elektrische Fensterheber, Rückfahrkamera, Rückfahrsektoren, Einparkhilfen, elektrische verstellbare und beheizte Außenspiegel, programmierbare Fahrersitzstellung beim Besteigen des Fahrzeugs

Bequemlichkeit: z. B. vier Türen, gute Sitze, Rückenlehne, Mobilität zu jeder Zeit

Fazit: Es ist daher nicht verkehrt, sich etwas näher mit Bauphysik zu befassen.

Inhaltsverzeichnis

1 Wärmeschutz

1.1 Grundlagen des Wärmeschutzes.....	12	1.6.5	Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs nach dem GEG	56
1.1.1 Gründe für den Wärmeschutz	12	1.6.6	Höchstwerte des Transmissionswärmeverlustwert für bestehende Wohngebäude nach dem GEG	56
1.1.2 Energieträger.....	12	1.6.7	Technische Ausführung eines Wohngebäude-Referenzgebäudes nach GEG	57
1.1.3 Einflussgrößen des Wärmeschutzes	13	1.6.8	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG	58
1.1.4 Wärmeübertragung.....	14	1.6.9	Vereinfachtes Verfahren für ein zu errichtendes Wohngebäude	61
1.2 Physikalische Grundlagen.....	15	1.7 Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108	65	
1.2.1 Grundbegriffe im Wärmeschutz	15	1.7.1	Wärmeschutz-Nachweis nach DIN 4108	65
1.2.2 Behaglichkeitsgefühl in einem Raum	18	1.8 Geothermie	68	
1.2.3 Einflussmöglichkeiten zur Energie-Einsparung.....	20	1.9 Heizanlagen-Systeme (DIN 4701-10)	70	
1.3 Dämmstoffe: Herstellung – Eigenschaften – Verwendung	21	1.9.1	Bauarten von Wärmeezeugern	70
1.3.1 Dämmstoffe im Erdreich, in der Fassade und am Dach	26	1.9.2	Tabellen der Heizanlagen-Systeme (DIN 4701-10)	72
1.3.2 Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)	27	1.10 Meteorologische Daten für 15 Klimaregionen in Deutschland nach DIN V 18599.....	87	
1.3.3 Aufdoppelung der Dämmschicht an Wärmedämmverbundsystemen (WDVS)	29	1.10.1	Ausgewählte Referenzorte für Strahlungsintensitäten	90
1.4 Entwicklung des U'-Wertes in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke.....	32	1.11 Wärmeschutznachweis – Beispielberechnungen.....	98	
1.5 Nachweis nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	33	1.11.1	Monolithische Bauteile	99
1.5.1 Das Gebäude-Energie-Gesetz in Beziehung zu den nationalen Normen.....	33	1.11.2	Bauteil mehrschalig mit Dämmung	100
1.5.2 Erneuerungen des Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	34	1.11.3	Mittlerer U-Wert/R-Wert.....	106
1.5.3 Geltungsbereich des Gebäude-Energie-Gesetz (GEG).....	35	1.11.4	U-Wert von thermisch homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946	109
1.5.4 Berechnungsgrundlagen nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	36	1.11.5	Wärmeschutznachweis nach GEG für Bestandgebäude Monatsbilanzierung nach DIN 4108	115
1.5.5 Begriffserläuterungen des Nachweisverfahrens des GEG.....	37	1.11.6	Neu zu errichtende Wohngebäude.....	166
1.5.6 Gebäudemaße und ihre Verwendung in dem GEG	41	1.11.7	Vereinfachtes Nachweisverfahren nach GEG (Tabellenverfahren)	193
1.5.7 Von der Endenergie Q_E zur Primärenergie Q_P	42	1.12 Glas	202	
1.5.8 Interne Wärmegewinne.....	43	1.12.1	Besondere Gläser	203
1.5.9 Solare Wärmegewinne	44	1.12.2	Fenster im sommerlichen Wärmeschutz und Wärmedämmverglasung	204
1.5.10 Luftdichtheit/Luftdichtheitsprüfung	45	1.12.3	Lüftung unter dem Blickwinkel der Energieeinsparung	206
1.5.11 Lüftungswärmeverluste.....	46	1.12.4	Das Fenster als vermeintliche Schwachstelle in der Gebäudehülle	208
1.5.12 Wärmespeicherung	47	1.12.5	Prüfung einer Verglasung im eingebauten Zustand über die Lage einer Beschichtung.....	209
1.5.13 Energieausweis (Energiepass).....	47	1.12.6	Temperaturleitzahl a (a-Wert) und Wärmeeindringkoeffizient b (b-Wert).....	212
1.5.14 Anforderungen für neue zu errichtende Gebäude nach den jeweiligen Vorschriften der Wärme-Schutz-Verordnung (WSchVO) bzw. Energie-Einspar-Verordnung (EnEV) und GEG	50	1.13 Sommerlicher Wärmeschutz.....	214	
1.6 Nachweisverfahren nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG).....	51	1.13.1	Abminderungsfaktoren F_C	215
1.6.1 Monats-Bilanz-Verfahren (MB-Verfahren).....	51	1.13.2	Sonneneintragskennwerte	216
1.6.2 Sanierung von Gebäuden im Bestand (Altbausanierung)	53	1.13.3	Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV) und Temperatur-Amplituden-Dämpfung (TAD).....	221
1.6.3 Struktogramm zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs in Reihenfolge 1 bis 10	54	1.13.4	Vergleich sommerlicher winterlicher Wärmeschutz einzelner opaker Baustoffe	223
1.6.4 Energiebilanz	55			

1.14	Längenänderung von Bauteilen infolge von Temperatureinflüssen.....	224
1.14.1	Berechnungsbeispiele von Flachdächern	226
1.14.2	Arten von Flachdächern.....	230
1.14.3	Berechnungsbeispiele verschiedener Bauteile.....	233

2 Feuchte – Feuchteschutz

2.1	Arten der Feuchte.....	234
2.2	Aggregatzustände.....	235
2.3	Arten der Wässer.....	236
2.4	Kreislauf des Wassers.....	236
2.5	Wasser in seiner Bedeutung.....	237
2.6	Kapillarität.....	237
2.7	Sperrung.....	239
2.7.1	Sperrung gegen Wasser	239
2.7.2	Sperrung gegen Wasserdampf	243
2.8	Luftfeuchte.....	244
2.8.1	Absolute Luftfeuchte.....	244
2.8.2	Relative Luftfeuchte.....	244
2.9	Tauwasserbildung – Taupunkttemperatur.....	244
2.10	Wasserdicht – wasserdampfdicht – Dampfbremse – Dampfsperre.....	250
2.10.1	Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (μ -Wert).....	250
2.11	Erklärung des Wärmestromprinzips.....	251
2.12	Erklärung des Prinzips der Sperrung gegen Feuchte.....	251
2.13	Vergleich Wärmeschutz – Feuchteschutz.....	252
2.13.1	Baukonstruktive Grundsätze.....	253
2.14	Dampfdruck.....	254
2.15	Feuchteschutz infolge von Wasserdampfdiffusion.....	255
2.15.1	Bedingungen im Feuchteschutz nach DIN 4108.....	255
2.15.2	Vermeidung von Tauwasser an der Bauteiloberfläche	255
2.15.3	Vermeidung von Tauwasser im Innern von Bauteilen.....	256
2.15.4	Nachweisverfahren: Perioden-Bilanz-Verfahren und Monats-Bilanz-Verfahren	257
2.15.5	Arten des Feuchtetransportes.....	258
2.15.6	Formeln für die Nachweisverfahren im Bereich des Feuchteschutzes	259
2.16	Aufbau des Glaser-Diagrammes nach DIN 4108-3.....	264
2.16.1	Aufbau des Diagrammes der Tauperiode.....	264
2.16.1	Tauperiode.....	264
2.16.2	Erklärung des Diagrammaufbaus der Tauperiode.....	265
2.16.3	Erklärung des Diagrammaufbaus der Verdunstungsperiode.....	266
2.16.4	Aufbau des Diagrammes der Verdunstungsperiode.....	267

2.17	Maßnahmen zur Tauwasservermeidung ..	268
2.18	Mögliche Fälle der Tauwassersituation.....	269
2.18.1	Kein Tauwasserausfall.....	269
2.18.2	Tauwasser in einer Ebene.....	269
2.18.3	Tauwasserausfall in zwei Ebenen.....	269
2.18.4	Tauwasserausfall in einem Bereich	270
2.19	Feuchtetechnische Untersuchung verschiedener Konstruktionen	271
2.20	Der Temperaturfaktor f_{Rsi}.....	321
2.21	Feuchtetechnische Untersuchung nach DIN EN ISO 13 788.....	323
2.21.1	Nachweisverfahren nach DIN EN ISO 13 788.....	324
2.22	Energetische Schwachstellen und ihre Folgen.....	337
2.22.1	Wärmebrückenarten	337
2.22.2	Wärmebrücken: Berechnungsbeispiele	339
2.22.3	Einzelnachweis von Wärmebrücken gemäß DIN 4108 Beiblatt 2	340
2.22.4	Eine Wärmebrücke der besonderen Art, der frei ausragende Balkon.....	343
2.22.5	Schimmelpilzbildung	345
2.22.6	Vermeidung von Schimmel hinter Schrankwänden und Einbauschränken nach DIN 4108-8.....	347
2.22.7	Aufgaben zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	352
2.22.8	Außenwände unter verschiedener feuchtetechnischer Betrachtung	360
2.23	Algenbildung auf Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS).....	362
2.24	Auswirkung der Globalstrahlung auf Fenster und Verglasungen.....	365
2.25	Schlagregen	367
2.26	Kapillaraktive Dämmstoffe.....	369
2.26.1	Feuchte adaptive Dampfbremse	371
2.26.2	Innendämmung mit Calciumsilicatplatten.....	372
2.27	Das Steildach als besonderes Bauteil.....	374
2.27.1	Temperaturwanderung in verschiedenen Dämmstoffen	377

3 Schall – Schallschutz

3.1	Bedeutung des Schallschutzes.....	378
3.2	Schall.....	379
3.2.1	Frequenz.....	380
3.2.2	Amplitude.....	380
3.2.3	Schallbezeichnungen	380
3.3	Grundbegriffe	381
3.4	Hörschwelle – Schmerzgrenze.....	389
3.5	Zusammenhang Phon – Dezibel.....	390
3.6	Lautstärkeskala	391
3.7	Schallarten	392
3.8	Akustik	393
3.8.1	Nachhallzeit T	393
3.8.2	Grenzfrequenz.....	395

6 Bauchemie

6.1	Aufgabe der Bauchemie	498
6.2	Gase	499
6.2.1	Schadensfaktor Gase	499
6.3	Säuren	500
6.4	Laugen	501
6.5	Salze	501
6.6	pH-Wert	504
6.7	Bindemittel	506
6.8	Kreislauf des Kalkes	506
6.9	Korrosion	507
6.9.1	Elektrochemische Spannungsreihe nach Galvani	508
6.10	Nicht-Eisenmetalle (NE-Metalle)	509
6.11	Schadensfaktor Wasser	509
6.11.1	Wasser als Lösungsmittel	509
6.11.2	Wasser als Partner von chemischen Reaktionen	510
6.11.3	Wasser als Transportmittel	510
6.11.4	Wasser als Sprengfaktor	510
6.11.5	Wasser als Beeinträchtigungsfaktor	510
6.11.6	Wasser als Förderfaktor	511
6.12	Säuren als Schadensursache	511
6.12.1	Herkunft der Säuren	511
6.13	Schadensfaktor Laugen	512
6.13.1	Herkunft der Laugen	513
6.14	Schadensfaktor Salze	514
6.15	Schadensfaktor Organismen	516
6.16	Regeln zur Vermeidung von Bauschäden .	516

Sachwortverzeichnis

.....	511
-------	-----

Bildquellenverzeichnis

.....	523
-------	-----

