Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 51 (1973)

Heft: 9

Artikel: Bauphysiskalische Berechnung mit Computer zur Vermeidung von Kondeswasserschäden (System E. H. Weber)

Autor: Weber, Ernst H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875307

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bauphysikalische Berechnung mit Computer zur Vermeidung von Kondenswasserschäden (System E. H. Weber)

Ernst H. WEBER, Bern

624.0:1:624.9:699.82:681.3.001.5

Zusammenfassung. *Moderne Bauweisen mit Flachdächern, Mehrschichtaussenwänden usw. verlangen eine genaue Berechnung bauphysikalischer Werte, um Schäden durch Kondenswasser zu vermeiden. Nach einem kurzen Überblick über die herkömmlichen Berechnungsmethoden und ihre Grenzen beschreibt der Autor seine eigene Berechnungsart, die genauere und gezielte Ergebnisse liefert. Die Berechnung mit dem Computer führt bei geringstem Zeitaufwand zu sehr ausführlichen und arithmetisch fehlerfreien Resultaten, wie an einem Beispiel veranschaulicht wird.*

Calcul des valeurs physiques de bâtiments à l'aide de l'ordinateur, en vue d'éviter les dommages dus à l'eau de condensation (système E. H. Weber)

Résumé. *L'édification d'immeubles modernes à toits plats, aux murs extérieurs à plusieurs couches, etc., exige un calcul plus précis des valeurs physiques des bâtiments si l'on veut éviter les dommages dus à l'eau de condensation. Après un bref aperçu des méthodes traditionnelles et de leurs limites, l'auteur décrit un système de calcul qu'il a développé et qui conduit exactement aux résultats désirés. L'emploi d'un ordinateur programmé en conséquence permet d'obtenir rapidement des résultats détaillés sans erreur arithmétiques, ce qui est démontré à l'aide d'un exemple.*

Calcoli dei valori fisici di costruzione eseguiti con calcolatori, al fine di prevenire danni causati dall'acqua di condensazione (sistema E. H. Weber)

Riassunto. *I nuovi metodi di costruzione con tetti piatti, pareti esterne a più strati, ecc., richiedono calcoli più esatti dei valori fisici di costruzione, se si vogliono evitare danni causati dall'acqua di condensazione. A un breve sunto dei modi tradizionali e i loro limiti, l'autore fa seguire una descrizione del proprio metodo di calcolo, che fornisce risultati più precisi e confacenti. L'uso di un calcolatore convenientemente programmato permette di ottenere rapidamente risultati dettagliati senza errori aritmetici, ciò che è illustrato con un esempio.*

1. Einleitung

Seit einigen Jahren werden bei Bauprojekten sowohl Flachdächer als auch Mehrschichtaussenwände, Sandwichplatten usw. nicht nur statisch, sondern auch bauphysikalisch berechnet, das heisst, es wird durch Berechnung zum voraus festgestellt, ob – und gegebenenfalls wieviel – Kondenswasser zu erwarten ist.

Der zu erwartenden Kondenswassermenge werden Wärmeisolation und Dampfsperre angepasst, unter Berücksichtigung des wirtschaftlichen Optimums zwischen Erstellungskosten und Heizmittelverbrauch, leider aber auch unter Berücksichtigung der empfohlenen Mindestwerte. Stellen sich aber die so gefürchteten Kondenswasserschäden an ausgeführten Bauten ein, so wird durch Nachkalkulation ermittelt, warum und wieviel Kondenswasser gebildet wurde, um daraus zu ersehen, wie der Schichtaufbau verändert werden muss, um künftige Kondenswasserschäden zu verhüten. Besondere Sorgfalt ist beim Bau von Sichtbeton- oder gar Sichtbacksteinaussenwänden geboten. Für Aussenmauern aus Sichtbacksteinen sollte die Konstruktion so gewählt werden, dass sie *vollständig kondenswasserfrei* bleibt. Sichtbetonwände und Flachdachbeläge können eine genau berechnete Kondenswassermenge schadlos aufnehmen, aber nicht *mehr*. Aus preislichen Gründen werden in der Praxis meistens Konstruktionen mit beschränkter Kondenswasserzulassung gewählt. Voraussetzung für diese Konstruktionsart sind aber eine genaue bauphysikalische Berechnung oder ein untrüglicher siebter Sinn für komplizierte bauphysikalische Zusammenhänge, die die Fähigkeiten eines Normalbegabten übersteigen. Doch auch kalte Erdgeschossböden und nasse Schallschluckverkleidungen unter der Decke des obersten Geschosses lassen sich durch eine bauphysikalische Berechnung voraussehen und vermeiden.

2. Übliche Berechnungsmethoden

Die bauphysikalischen Berechnungen werden in der Regel durch Sachverständige in Bauphysik ausgeführt. Die Methoden sind sehr verschieden, sowohl in ihrem mathematischen Aufbau als auch in ihrer Aussagekraft und Vollständigkeit.

Besonders gewarnt sei vor vereinfachten Rechenarten, die nur den sogenannten K-Wert ermitteln. Aus diesem allein kann kein Rückschluss auf die Wasserdampfdiffusion gewonnen werden. Der Schichtaufbau liegt oft so, dass auch ein überaus günstiger K-Wert die Kondensation nicht verhindern, beim Anbringen von Schallschluckplatten sogar vermehren kann. Neuere Berechnungsmethoden zeigen neben dem K-Wert eine Vergleichszahl der Kondensationsleistung (g/m² je Stunde). Diese Zahl kann jedoch nur bei Verwendung ähnlicher Materialien zum Vergleich dienen. Die zu berechnenden Konstruktionen bestehen aber aus Baumaterialien, die das einemal viel, das anderemal wenig Kondenswasser schadlos aufnehmen können. Ausserdem hängt die mögliche Wasseraufnahme von der Materialdicke der wasseraufnehmenden Schichten und von ihrer örtlichen Lage ab. Eine Kondensationsleistung von zum Beispiel 0,7 g/m² je Stunde kann für eine bestimmte Schichtzusammenstellung durchaus schadlos, für eine andere, mit wenig wasserspeicherfähiger Wärmeisolation, zuviel sein.

3. Berechnungsmethode E. H. Weber

Nachstehend wird eine vom Autor entwickelte Berechnungsmethode vorgestellt, die «stofforientiert» ist, das heisst, die Rechenresultate können und müssen dem Volumen, der Wasseraufnahmefähigkeit und der Wasserverträglichkeit der verwendeten Baumaterialien gegenübergestellt werden. Für diese Berechnung sind folgende Teilresultate wichtig:

1. Die Aussentemperatur (TA), bei der die Kondensation beginnt oder noch Null ist (TA bei Kondensation = 0).
2. Die Mittelwerte der meteorologischen Aufzeichnungen vieler Jahrzehnte, die angeben, an wie vielen Tagen in einem Jahr in einer bestimmten Höhenlage (Messstation) die Aussentemperatur (TMIT) gemessen werden kann. MINIMA-Temperaturen (TMIN), die in der Summenhäufigkeit nicht mehr als etwa 1...2% der mittleren Temperatur betragen, spielen für die Kondensmengenberechnung keine Rolle; sie werden jedoch für die Berechnung des Schwitzwassers an der Oberfläche benötigt, da auch bei selten auftretenden Tiefsttemperaturen kein Schwitzwasser gebildet werden darf (beispielsweise bei Tapeten).
3. Aus 1 und 2 lässt sich die Zahl der sogenannten Kondenstage mit genügender Genauigkeit berechnen. (Die Faustformel, mit 60 Kondenstagen zu rechnen, kann untragbare Verzerrungen der Kondensationsmengen ergeben.)
4. Die Dampfdrücke werden nach der Theorie der Tangentenkonstruktion von *H. Glaser* ermittelt. (Einheiten in Torr[1].) Aus 3 und 4 werden die Mittelwerte für die Kondenswasserberechnung gewonnen.
5. Die Diffusionswiderstände werden in Anpassung an Abschnitt 4 berechnet (Einheit = $d\mu$).
6. Der sogenannte Multiplikationsfaktor 2 stimmt mit genügender Genauigkeit für Temperaturen zwischen +20 und —20 °C. (Für die Berechnung von Tiefkühlräumen und heissen Badeanlagen sind entsprechende Korrekturen vorzunehmen.)

   Bei der Berechnung mit der Einheit Torr Hg anstelle kg/m² H_2O wird der Wert N im Mittel zu 12 000 angenommen.
7. Für die Kondensationsmengen oder die Austrocknungsmengen gelten: Wasserdampfmengen (g/m² und Anzahl Tage)

$$= \frac{2 \times \text{Anzahl Tage} \times \text{Differenz des Dampfdruckes}}{\text{Diffusionswiderstand}}$$

Der Computer berechnet Teilresultate für 50, 65, 80% (relative Luftfeuchtigkeit im Innern) sowie die Kondenswassermengen im Winter, die Austrocknung im Winter und im Sommer, nach einer oder beiden Seiten.

Als Neuerung darf die Einführung von 20 Klimabauzonen für die Schweiz gelten, die für Höhenlagen zwischen 276 und 2500 m über Meer zu wählen sind *(Tabelle I)*. Die Lage, ob mehr südlich oder nördlich, spielt in der flächenmässig kleinen Schweiz nur eine untergeordnete Rolle, die vernachlässigt werden kann. Die feinere Unterteilung der Höhenlagen wurde notwendig, da man in der Schweiz sowohl in Gegenden mit mildem Mittelmeerklima als auch in hochgelegenen, rauhen Berggebieten Gebäude erstellt und weil die vorliegende Berechnungsart wesentliche Unterschiede bei Berücksichtigung der Höhenlage ergibt.

[1] Torr = Masseinheit des Druckes. 1 Torr = 1 mm Hg; 760 Torr = 1 Atm = 1013 mbar

Tabelle I. Klimabauzonen zum Computerprogramm

Die Temperaturen sind ohne Veränderungen dem Beiheft «Klimatalogie der Schweiz» von *M. Schüepp,* 9...12 Teil, City-Druck AG, Zürich 1, Jahrgang 1969, entnommen.

			WINTER (Dez., Jan., Febr.)			
			Temperatur °C	Temperatur °C	%	Tage
Code	Ortsbezeichnung	H. ü. M.	Tages-MITTEL	Tages-MINIMA	tiefer als MITTEL	
01	Lugano	276	— 5	—10	0,37	1,35
02	Basel	317	—10	—15	1,81	6,60
03	Genf	405	—10	—15	0,24	0,87
04	Montreux	410	—10	—15	0,11	0,40
05	Altdorf	456	—10	—15	0,41	1,49
06	Neuenburg	487	—10	—15	0,76	2,77
07	Bad Ragaz	517	—15	—20	0,17	0,62
08	Sitten	549	—10	—15	0,44	1,60
09	Zürich	556	—10	—15	1,94	7,08
10	Lausanne	562	—10	—15	0,41	1,49
11	Bern	572	—15	—15	0,18	0,66
12	Freiburg	670	—15	—20	0,10	0,36
13	La Chaux-de-Fonds	990	—15	—20	0,29	1,05
14	Château d'Oex	1000	—15	—20	0,39	1,42
15	Leysin	1350	—15	—20	0,22	0,80
16	Davos	1560	—20	—25	0,33	1,20
17	Bever (GR)	1711	—20	—25	1,24	4,52
18	Rigi-Kulm	1785	—20	—25	0,26	0,95
19	St. Gotthard	2098	—20	—25	0,50	1,82
20	Säntis	2500	—20	—25	1,68	6,13
21	Jungfraujoch	3475	Nach Angaben			

Für die Kondenswasserberechnung ist die Anzahl der Kondenstage erforderlich, wobei die Tage zusammenhängend oder durch Gutwetterperioden unterbrochen sein können. Die Kondenstage beginnen bei der Aussentemperatur TA (K = O) und enden mit der Temperatur Tagesmittel von 3 Wintermonaten.

Eine weitere Neuheit besteht in der Einführung der Verhältniszahl X zwischen den Wärmedurchgangswiderständen und den Diffusionswiderständen. Dass irgendein Verhältnis zwischen Wärmeleitzahl λ und Diffusionszahl μ oder deren Widerständen bestehen muss, ahnten Bauphysiker schon vor 20 und mehr Jahren. Von dieser Vermutung ausgehend, wurden auch immer wieder Rezepte bekanntgegeben, die die Schichtzusammenstellung aus mehreren Stoffen erleichtern sollten. Alle diese Rezepte konnten sich aber nicht durchsetzen, weil die richtigen Beziehungen der Widerstände zueinander fehlten.

Um diesen Artikel nicht allzusehr mit Einzelheiten zu belasten, werden diese Zusammenhänge in einem später erscheinenden Beitrag ausführlich dargelegt.

Es ist wichtig, die zutreffendsten Werte für die Wärmeleitzahl λ und die Diffusionszahl μ einzusetzen. Dazu liegen

zahlreiche Tabellen schweizerischer und ausländischer Versuchsanstalten vor. Leider stellt man bei einigen Baustoffen wesentliche Differenzen fest. Sie sind einerseits die Folge verschiedener Versuchsanordnungen, anderseits auch verschiedener Herstellungsverfahren, Qualitäten oder verschiedener Baufeuchtigkeit der untersuchten Baustoffe.

Die Werte sind von Fall zu Fall den wirklichen Verhältnissen möglichst gut anzupassen, wobei besonders auf den künftigen Feuchtigkeitsgehalt der einzubauenden Baustoffe Rücksicht genommen werden sollte. Wohl infolge der verschiedenen Herstellungsverfahren zeigen sich, vor allem bei Dachbahnen (Dachpappen), grosse Unterschiede. Bei diesen kann vorderhand auf die «garantierten» Angaben der Fabrikanten oder deren amtliche Prüfausweise abgestellt werden. Die genaue Bezeichnung der einzelnen Dachbahnen und Dampfbremsen sowie die Angabe der Zahl der Heissbitumenanstriche und Materialstärken sind zu empfehlen, da sonst eine spätere Kontrolle erschwert wird. Auch Kork kann sehr verschiedene μ-Werte aufweisen, je nachdem ob es sich um Naturkork, expandierten oder teergebundenen Kork usw. handelt.

Leider sind die Angaben über die Feuchtigkeitsgehalte der Baustoffe noch etwas knapp, obwohl sie für stofforientierte bauphysikalische Berechnungen wichtig sind. Dabei muss unterschieden werden zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt ω_v ($= \omega$ vorhanden), der sich bei im Bau gelagerten Baustoffen nach einiger Zeit selbst einstellt, und dem sogenannten maximalen Feuchtigkeitsgehalt ω_{max}, den ein Baustoff ohne Schaden zu erleiden vorübergehend aufweisen kann ($\omega_{zul.} = \omega_{max} - \omega_v$ in Volumenprozenten).

Eine brauchbare Zusammenstellung, die aber noch erweitert werden sollte, findet sich in der «Bauphysikalischen Entwurfslehre 1», S. 27, von *F. Eichler*.

Beim vorliegenden Berechnungssystem wurden die Arbeiten von H. Glaser, wonach Kondensation eintritt, sobald der Teildampfdruck den Sattdampfdruck erreicht hat, sowie die graphische Methode zur Ermittlung der Kondensationsperiode von F. Eichler berücksichtigt. Die Austrocknungsvorgänge bei Kondensationszonen, von *K. Seiffert* veröffentlicht, wurden aus technischen Gründen vereinfacht übernommen.

Der Computer erhält den einschränkenden Befehl, nur Konstruktionen zu berechnen, die eine Kondensation*sebene* oder zusätzlich eine wenig wirksame, genau abgegrenzte Kondensations*zone* aufweisen. In diesem Fall ist die Abgrenzung so gewählt, dass die endgültig berechneten Kondensmengen *keine ins Gewicht fallenden Ungenauigkeiten* ergeben.

In folgenden drei Ausnahmefällen berechnet der Computer bis auf weiteres nur den 1/K-Wert, die Diffusionswiderstände und die Schichttemperaturen:

1. Wenn der Teildampfdruck den Sattdampfdruck nicht erreicht oder wenn TA (Kondensation = 0) unter TMIT liegt. Der Computer schreibt dann: «Keine Kondensation möglich.»
2. Bei einschichtigen, homogenen Konstruktionen oder bei undeutlicher Kondensationsebene und ausgedehnter, dominierender Kondensationszone, beispielsweise bei einschichtigen Backsteinwänden oder bei aussenseitiger, sehr dicker und hochwärmedämmender Schicht (in der Praxis kaum vorkommend). Der Computer druckt aus: «Es konnte keine Stauebene berechnet werden (Kondensationszone).» Für Backsteinwände bestehen fertige Tabellenwerte, die eine Berechnung mit Computer erübrigen, sonst zeichnerische Ergänzung des Computerblattes mit Sattdampfdruckkurven (nach Glaser).
3. Bei einer Aneinanderreihung von Dampfsperre–Wärmeisolation – Dampfsperre – Wärmeisolation – Dampfsperre usw. entstehen mehrere Stauebenen und vielleicht sogar Stauzonen, von denen unter Umständen keine wirklich dominierend ist. Dies ist der Fall, beispielsweise bei Mauern mit grosslochigen Wabensteinen, die im Eingabeblatt in mehrere Luftkammern und Stege aufgelöst werden. Der Computer gibt dann an: «Es konnte keine Stauebene berechnet werden.» (Solche unüberschaubaren Konstruktionen sind bauphysikalisch gefährlich und sollten nicht zur Ausführung kommen.)

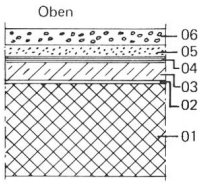
Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, auf den mathematischen Ablauf dieses Berechnungssystems oder auf die komplizierte Programmierung für den Computer einzugehen. Es gilt vor allem zu zeigen, dass mit einem Computer mit einem Zeitaufwand von wenigen Minuten eine ausführliche Prognose über die bauphysikalische Tauglichkeit eines Flachdaches, einer Mehrschichtaussenmauer usw. erhalten werden kann. Eine Zusammenfassung der Entwicklungsdaten ist in Bearbeitung und wird später in geeigneter Form veröffentlicht. Den Beweis, dass die Berechnungsmethode praxisnahe Resultate liefert, bieten Vergleich und Auswertung von genau 221 Konstruktionen, die bisher mit dem Computer berechnet wurden. Im Zuge der Versuche wurden auch zahlreiche Nachkalkulationen an kondenswasserbildenden Konstruktionen durchgeführt, von denen der Schichtaufbau und das Erstellungsjahr bekannt waren und bei denen erst nach Jahren Kondenswasserschäden auftraten. Dadurch wurden oft wertvolle Rückschlüsse möglich über die Zeit, während der sich theoretisch berechnete Kondenswassermengen bilden, und über die Kondenswassermengen, die von bekannten Baumaterialien nicht mehr aufgenommen werden konnten. Wenn der Computer kein Kondenswasser errechnet und trotzdem Feuchtigkeit vorhanden ist, so liegt die Ursache in Material- oder Verlegefehlern, Rissen der Dampfsperrschicht, nicht berechneten Wärmebrücken usw.

Station	Plan-Nr.	Bauvorhaben	Bauteil	Temperatur innen	Relative Raumfeuchtigkeit	Eingang Wärmeübergang α i	Ausgang Wärmeübergang α a	Klimabauzone	Schicht-Nr.	Bezeichnung der Schicht	Dicke der Schicht δ (Meter)	Wärmeleitzahl λ (kcal/km°C)	Dampf-widerstandsfaktor μ (1)
BASEL TEL. ZENTR.	100.15.	09	05	21	2	07	20	02	06	KIES	0.04	2.00	2.0
									05	SAND	0.02	1.20	2.0
									04	2V50+1J3+HB	0.01	0.20	23400.
									03	KORK.EXPBIT	0.03	0.04	5.
									02	F3+HEISSBIT	0.003	0.20	19000.
									01	BETON 2400	0.20	1.30	35.

Skizze für Ausführungsvariante

Nr. 1.....

Resultat:
Ungenügend!



BASEL TEL. ZENTRALE
FLACHDACH
MUSTERBLATT

Erstellt: We
Datum: 26. 3. 73
Tel:

Gesehen:
Datum:
Tel:

PTT ERZ 3.72/Gs

Fig. 1
Ablochschema für Datenkarten zum Computerprogramm

Erläuterungen zum Ausfüllen des Eingabeblattes (Fig. 1)

Kol. 1...16 Station = Ortsbezeichnung in Buchstaben
Kol. 17...24 Konstruktion gemäss Plan No. xx, yy
Kol. 25...26 Bauvorhaben (s. Tabelle II) Apparateraum = 09
Kol. 27...28 Bauteile (s. Tabelle III) Flachdach in Normalbauweise = 05
Kol. 29...30 Innenlufttemperatur, (TLI) = +21° C
Kol. 31 Relative Feuchtigkeit der Innenluft, (RLI)
Code 50% = 1 für Wohnräume
Code 65% = 2 für Telephonzentralen, Apparateraum
Code 80% = 3 für besondere Industriebauten
Kol. 32...33 Eingang, Wärmeübergang αi = 1:7 (0.143)
Kol. 34...35 Ausgang, Wärmeübergang αa = 1:20 (0.05)
Kol. 36...37 Klimazone (s. Tabelle I) = 02 (für Basel)
Kol. 38...39 Schicht-Nr. (s. Figur 1), kalte Seite oben, warme Seite unten, gilt auch für Wände. Bezeichnung 06, 05, 04, 03, 02, 01 von oben nach unten.
Kol. 40...50 Bezeichnung der Schichten mit Buchstaben
Kol. 51...60 Dicke der Schichten in Metern
Kol. 61...70 Wärmeleitzahlen λ (kcal/hm°C) nach Tabellen
Kol. 71...80 Dampfwiderstandsfaktoren μ nach Tabellen

4. Einsatz des Computers

4.1 Herstellung der Lochkarten

Die Daten des Eingabeblattes *(Fig. 1)* werden durch das Elektronische Rechenzentrum der PTT auf normierte Lochkarten übertragen *(Fig. 2*, für jede Schicht eine Lochkarte).

4.2 Die Programmierung für den Computer

Das Computerprogramm wird in enger Zusammenarbeit von Programmierer und Sachverständigen für Bauphysik erstellt. Die Unterlagen für den Programmierer müssen vollständig sein, und vor allem muss das Berechnungssystem

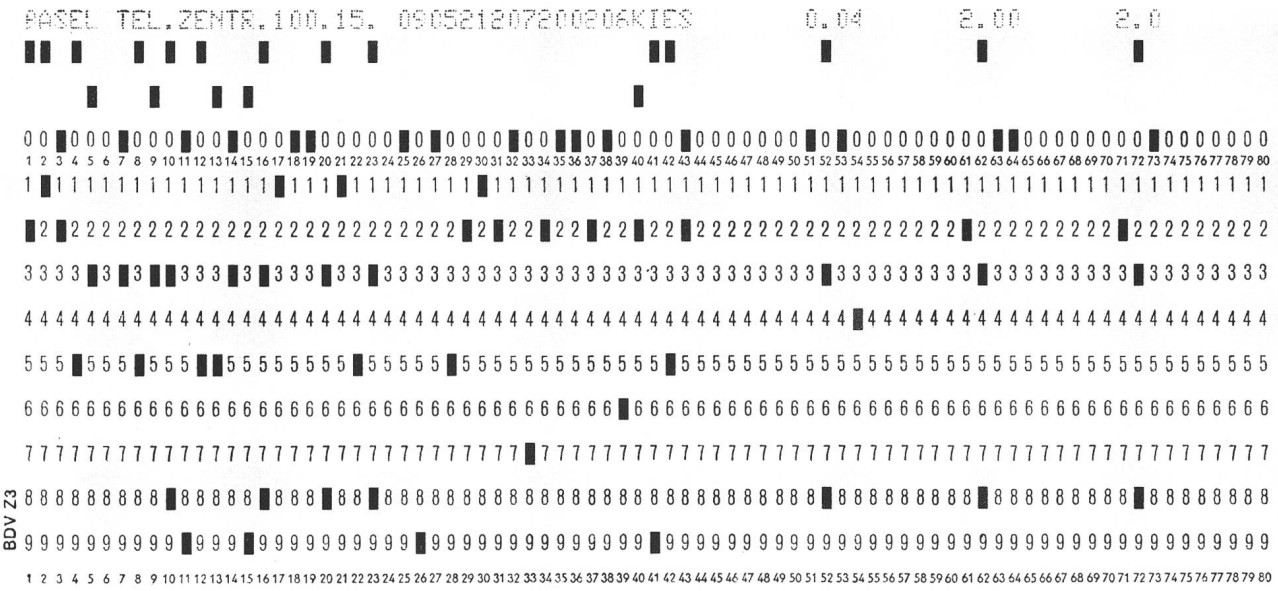


Fig. 2
Lochkarte

auf alle denkbaren Konstruktionsarten (selbst auf fehlerhafte und unwirkliche) ausgedehnt werden. Sollte keine Lösung möglich sein, so muss der Computer den Grund der Unlösbarkeit im sogenannten Fehlerjournal ausschreiben.

Die umfangreichen gespeicherten Daten, die für die vorliegende Berechnung erforderlich sind, beanspruchen die Kapazität eines mittelgrossen Rechners.

Die Berechnungsart beschränkt sich auf die *stationäre* Wärmeübertragung und die Austrocknung während des ganzen Jahres. (Bei Leichtbauweisen sollten gegen sommerliche Hitze auch die Phasenverzögerung und Dämpfung der Temperaturwellen in einem besonderen Verfahren berechnet werden.) Es ist vorgesehen, auch diese Berechnungsarten zu programmieren und mit dem Computer zu berechnen.

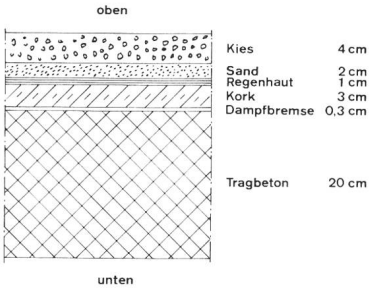


Fig. 3 Schnitt eines Flachdachentwurfes zur Nachkalkulation mit Computer

5. Berechnungsbeispiel *(Fig. 3 und 4)*

Bauvorhaben: Telephonzentralengebäude in Basel *(Tabelle II)*.

Bauteil: Flachdachbelag über beheiztem Apparateraum *(Tabelle III)*.

Besonderheit: Konstante Luftfeuchtigkeit 65%, Lufttemperatur +21 °C.

Tabelle II. Daten für Bauvorhaben zum Computerprogramm

1.	Kühlräume	Code	01
2.	Mehrzweckanlagen		02
3.	Garage beheizt		03
4.	Lagerschuppen unbeheizt/temperiert		04
5.	Lagerschuppen beheizt		05
6.	Kellerräume unbeheizt/temperiert		06
7.	Wohnräume beheizt		07
8.	Büroräume (Posträume)		08
9.	Telephonzentrale (Apparateraum)		09
10.	Industriebauten (mit Feuchträumen)		10

Tabelle III. Daten für Bauteile zum Computerprogramm

1.	Decke über offener Durchfahrt	Code	01
2.	Decke über Keller		02
3.	Decke über beheizten Räumen im unbeheizten Dachraum (Steildach)		03
4.	Boden ohne Unterkellerung		04
5.	Flachdach in Normalbauweise		05
6.	Flachdach in Spezialbauweise		06
7.	Aussenwand (Vollwand)		07
8.	Aussenwand (2-Schalen-Mauerwerk)		08
9.	Aussenwand (Mehrschichtenmauerwerk)		09
10.	Fenster, Türen, Glasbausteine usw.		10

```
 1        2          3          4          5        6        7        8        9        10       11       12       13

 BAUPHYSIKALISCHE BERECHNUNG  ABT.H      ENDRESULTATE

 BERECHNUNGSSYSTEM E.H.WEBER NO.1
                                          RFI      2*TW * DELTA PIW  : D1  =  EING.WI  EING.WI-WA EING-AUSG
 DATUM DER BERECHNUNG        8.8.1973                                                   (WI-WA)-(SI+SA)
                                          %       (TAGE)    TORR*     METER    GR/M2     GR/M2     GR/M2
 PLAN NO.                    100.15
                                          50       320       3.56      64.15    17.76     15.45    -18.99
                                          65       476       5.25      64.15    38.95     34.72     15.71
1.STATION              BASEL TEL.ZENTR.   80       594       7.04      64.15    65.17     58.98     54.75

2.BAUVORHABEN      TEL.ZENTR.(APP.RAUM)            2*TW    DELTA PAW    D2     AUSG.WA

3.BAUTEIL          FLACHDACH NORMALBAU     50       320       1.69     234.12     2.30
                                           65       476       2.08     234.12     4.23
4.TEMP.LUFT INNEN     TLI        21  'C   80       594       2.44     234.12     6.19

5.REL.FEUCHT.INNEN    RFI         2                2*TS    DELTA PIS    D1     AUSG.SI  AUSG.SI+SA

6.KLIMABAUZONE        NO.         2       50       410      -4.23      64.15   -27.04   -34.44
                                          65       254      -3.64      64.15   -14.41   -19.00
7.TEMP.MITTEL  WA. MENGENBER  -10  'C    80       136      -0.84      64.15    -1.78    -4.24

8.TEMP.MINIMA  WA.TAUP.BER.   -15  'C                2*TS    DELTA PAS    D2     AUSG.SA

9.AUSTROCKNUNG        RFI         2       50       410      -4.23     234.12    -7.41
                                          65       254      -4.23     234.12    -4.59
10.KONDENSWASSER   TA(KO) 50%  8.36 'C    80       136      -4.23     234.12    -2.46
                          65% 13.04 'C
                          80% 16.79 'C
11.VERHAELTNISZAHL    (X)     =  1.170

 BERECHNUNG DER WAERMEDURCHGANGS-WIDERSTAENDE*DER DIFFUSIONS-WIDERSTAENDE*   DER SCHICHTTEMPERATUREN+KONDENSWASSERSTAUEBENE

          SCHICHTEN                                R2                                D2       INTEGRAL   MINIMA  T(INTEGR.) T(SKALA)
 - NAME    - NO.     - DICKE    LAMBDA   Ø:LAMBDA  R1          MY       Ø *MY        D1       Ø:LAMBDA (TLI-TMIN)(Ø:L)*(TLI TINT-TMIN
                       Ø                                                                                  :RO   -TMIN):RO
                      METER   KCAL/HM'C HM2'C/KCALHM2'C/KCAL   (1)      METER       METER   HM2'C/KCAL KCAL/HM2     'C        'C
                                                                                                              0.00     -15.0
          AUSGANG    1.00000   20.00     0.050                                                0.050     30.0      1.50     -13.5

             13

             12

             11

             10

              9

              8

              7

 KIES         6      0.04000    2.00     0.020                 2.0      0.08                 0.070     30.0      2.10     -12.9

 SAND         5      0.02000    1.20     0.017                 2.0      0.04                 0.087     30.0      2.60     -12.4

 2V50+1J3+HB  4      0.01000    0.20     0.050    R2=0.137  23400.0   234.00 D2=  234.12   0.137     30.0      4.11     -10.9
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 KORK EXPBIT  3      0.03000    0.04     0.750                 5.0      0.15                 0.887     30.0     26.64      11.6

 F3+HEISSBIT  2      0.00300    0.20     0.015              19000.0     57.00                 0.902     30.0     27.09      12.1

 BETON        1      0.20000    1.30     0.154                35.0      7.00 D1=   64.15    1.056     30.0     31.71      16.7
          EINGANG    1.00000    7.00     0.143    R1=1.062
                                          ---------------------          ---------------------
                                 1/K =RO =  1.198    RO=1.198        DO =  298.27 DO=  298.27 RO=1.198     30.0     36.00      21.0
                                                                                                                TLI-TMIN

 1        2          3          4          5        6        7        8        9        10       11       12       13
```

Fig. 4
Ergebnisblatt der Computerberechnung

Auswertung der Computerausgabe

5. Kol. unten — 1:K = 1,198 HM2°C/kcal
Zu wenig für den mehrschichtigen Flachdachbelag

8. Kol. unten — Regenhaut = 234,00 m
Wärmeisolation = 0,15 m
Dampfbremse = 57,00 m
Die Wärmeisolation mit nur 0,15 m Diffusionswiderstand wird von der viel stärkeren Regenhaut und der stärkeren Dampfbremse zur «Dampffalle» gemacht, das heisst, der im Winter eindiffundierte Dampf kann im Sommer nicht vollständig entweichen.

13. Kol. unten — Schichttemperaturen von TLI = +21° C bis TMIN = —15°.
Temperatur unterkant Decke = +16,7° C.
Schwitzwasser unterkant Decke tritt erst auf, wenn bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit die Temperatur unter 14,2° fällt. Somit ist keine Schwitzwasserbildung möglich.

13. Kol. unten — Die sogenannte Stauebene wird vom Computer mit – – – – – – selbsttätig gezeichnet. Sie ist massgebend für die Unterteilung von R_0 in R_1 und R_2 sowie D_0 in D_1 und D_2 und die weitere Berechnung.
Die Lage der Stauebene ist richtig.

1....4. Kol. oben — Austrocknung während des Sommers.
Code 1 = Fenster werden täglich zur Lüftung benützt.

Code 2 = Die Räume sind dauernd auf 65% relative Luftfeuchtigkeit künstlich befeuchtet.

Code 3 = Vollklimatisierte Räume mit 80% rel. Luftfeuchtigkeit (RFI).

Ziffer 5 und 9 mit Code 2 sind für die Telephonzentrale richtig

Ziffer 10

Kondenswasser entsteht bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit bei +13.04° CTA. Die Kondenswasserbildung tritt zu früh ein, was ungünstig ist.

Ziffer 11

Verhältniszahl X = 1,170
Die günstigste Zahl wäre 14,558 = kondenswasserfrei. Die ungünstigste Zahl wäre 1,00 = stärkste Kondenswasserbildung bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit. Die Schichtzusammenstellung ist ziemlich ungünstig, für das bauphysikalisch stärker beanspruchte Telephonzentralengebäude sogar ungenügend!

10. Kol. oben — bezugnehmend auf 5. Kol. oben

- Kondenswasserrückstand in der Wärmeisolation beträgt bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit (RFI) nach 238 Tagen 34,72 g/m².
  Die 3 cm starke Korkplatte könnte, ohne dauernden Schaden zu erleiden, aufnehmen:
  10 000×0,03×2 = 600,00 g/m²
  Kork wird somit nach 238 Tagen nicht unzulässig durchnässt.
- Kondenswasserrückstand bei variabler RFI.
  bei 50% RFI = 15,45 g/m²
  bei 65% RFI = 34,72 g/m²
  bei 80% RFI = 58,98 g/m²
  Kork würde auch bei stark erhöhter RFI nach 238 Tagen nicht unzulässig durchnässt.

11. Kol. oben — Die Austrocknungsmöglichkeit im Laufe eines Jahres
bei 50% RFI = —18,99 g/m²; Austrocknung gewährleistet
bei 65% RFI = + 15,71 g/m²; Austrocknung nicht gewährleistet
bei 80% RFI = + 54,75 g/m²; Austrocknung nicht gewährleistet

- Die Wärmeisolation kann im Laufe des Jahres nicht austrocknen. Die jährliche Zunahme des Kondenswassers in der Korkschicht beträgt 15,71 g/m².
- Berechnung der Zeit bis zur «unzulässigen Durchnässung» der Wärmeisolation Kork.
  Maximale Wasseraufnahmefähigkeit = 600,00 g/m²
  jährliche Zunahme = 15,71 g/m²
  600:15,71 = 38 Jahre
  Reduktion infolge Undichtigkeiten und stetiger Abnahme der Wärmedämmfähigkeit (zunehmende Durchnässung).
  Endgültiger Wert geschätzt = etwa 30 Jahre
  Die vorliegende, bewährte und starke Regenhaut wird erfahrungsgemäss der Witterung ungefähr 35 Jahre lang standhalten, ehe sie erneuert werden muss.
  Die Prognose zeigt, dass auch die Korkschicht nahezu so lange hält, bis sie erneuert werden muss.

Zusammenfassung:

Es wird empfohlen, eine Regenhaut zu wählen, die weniger diffusionsfest ist.
Das «hochwertige Wärmedämm-Material» sollte um 2–3 cm verstärkt werden; zugleich wäre ein Wärmedämm-Material mit höherem Diffusionswiderstand zu wählen.
Ebenso würde sich unter Umständen eine Verstärkung der Dampfbremse günstig auswirken. Es ist aber wohl zu beachten, dass dieser Vorschlag auch Nachteile bringt. Eine starke Dampfbremse mit einer Aluminiumfolien-Einlage wäre wohl wesentlich teurer, könnte aber zur Einsparung von Heizöl nicht beitragen. Im weiteren würde sie die Dampffalle verstärken und somit die Austrocknung im Sommer erschweren. Ob eine stärkere Dampfbremse wirklich Vorteile bringen könnte, müsste in einer zweiten Berechnung mit dem Computer abgeklärt werden.

Schlussbetrachtung

Das Beispiel wurde absichtlich so gewählt, dass die Zusammenfassung der Computerresultate nicht zu einer eindeutigen Ablehnung, aber auch nicht zu einer rückhaltlosen Zustimmung führte. Es zeigt auch, wo die untersten Grenzen eines Flachdachbelages ungefähr liegen und entspricht etwa den Mindestanforderungen der SIA-Empfehlungen.

Die Dimensionierung eines Flachdachbelages sollte vielmehr nach dem «wirtschaftlichen Optimum» erfolgen. K. Seiffert schreibt in der Deutschen Bauzeitung 3/72 sehr zurückhaltend: «Das wird – zum Nachteil des Wohnungsinhabers – auch immer wieder übersehen.»

Wir haben aber noch andere Gründe nach dem wirtschaftlichen Optimum zu dimensionieren. In unserem rohstoffarmen Lande sollte man es sich zur Pflicht machen, nur soviel Brennstoff zu verbrennen als notwendig ist. Auch im Sinne des Umweltschutzes ist dringend geboten, so wenig Rauch als möglich zu erzeugen. Die Staubglocke über manchen Städten zeigt, dass die Rauchentwicklung ihre Grenzen überschritten hat.

Der erfahrene Architekt weiss aber auch, dass handwerkliche Fehler auf dem witterungsausgesetzten Flachdach nie ganz ausgeschlossen werden können. Zu seinem Vorteil sollte er deshalb nur Konstruktionen ausführen lassen, die einen angemessenen Sicherheitsgrad gewährleisten. Auf was dabei zu achten ist, zeigt ihm unter anderem die Auswertung der Computerausgabe mit ihren vielen Teilkriterien. Im Wohnungsbau ist stets darauf zu achten, dass Flachdächer über Küchen und Bädern wenigstens zeitweise durch relative Luftfeuchtigkeiten von über 50% gefährdet sind.

Anmerkungen der Redaktion

- Gewisse Abkürzungen in diesem Text (beispielsweise Aussentemperatur TA anstatt t_a) entsprechen nicht den üblichen Normen. Sie wurden ausnahmsweise so gewählt, damit sie mit den vom Computer ausgedruckten Bezeichnungen übereinstimmen.
- Die Berechnungsmethode E. H. Weber stellt etwas Neues und noch nicht Veröffentlichtes dar. Die Redaktion nimmt gerne Fragen oder Anregungen zur Weiterleitung an den Autor entgegen.