

PORENBEETON BERICHT 1+2

Feuchtigkeitsverhältnisse
in Außenwänden und Flachdächern



FEUCHTIGKEITS- VERHÄLTNISSE IN AUSSENWÄNDEN UND FLACHDÄCHERN

Dr.-Ing. Helmut Künzel

Zusammenfassung der bisherigen Berichte:

1. Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in Dächern aus Porenbeton
2. Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden aus Porenbeton, ergänzt durch neue Erkenntnisse.

Herausgeber: Bundesverband Porenbeton

Vertrieb: BVP Porenbeton Informations-GmbH

Postfach 18 26, 65008 Wiesbaden, Dostojewskistr. 10, 65187 Wiesbaden

Telefon: 06 11/98 50 44-0, Telefax 06 11/80 97 07

Druck: Druck- und Verlagshaus Chmielorz GmbH, Ostring 13, 65205 Wiesbaden-Nordenstadt

Ausgabe: Nachdruck Juni 2001

Veröffentlichungen, auch auszugsweise, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung und Übersicht | 5 |
| 2. Angabe des Feuchtegehalts - Volumprozent oder Masseprozent? | 5 |
| 3. Messergebnisse | 6 |
| 3.1 Außenwände | 6 |
| 3.2 Flachdächer | 9 |
| 4. Auswertungen | 12 |
| 4.1 Außenwände | 12 |
| 4.2 Flachdächer | 13 |
| 5. Ausgleichsfeuchte heutigen Porenbetons | 14 |
| 6. Zusammenfassung und Folgerungen | 15 |
| 7. Literaturhinweise | 16 |

Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden und Flachdächern aus Porenbeton

von Dr.-Ing. Helmut Künzel

1. Einleitung und Übersicht

Die Kenntnis des Feuchtegehalts, der sich unter durchschnittlichen Verhältnissen in Außenbauteilen auf die Dauer einstellt, ist u. a. für die Beurteilung des Wärmeschutzes wichtig. Dieser Feuchtegehalt hängt von den Materialeigenschaften des verwendeten Baustoffes ab und von den Feuchtewirkungen von außen (Regenfeuchte) und von innen (Wohnfeuchte). Unter den oben genannten „durchschnittlichen Verhältnissen“ ist dabei zu verstehen, dass der erforderliche Regenschutz gegeben ist, dass der Wärmeschutz der Außenbauteile größer als der jeweilige Mindestwärmeschutz ist und das die angrenzenden Räume ausreichend beheizt und belüftet werden. Dies sind natürlich keine genau definierten Randbedingungen. Um Angaben über die in der Praxis sich einstellenden Feuchteverhältnisse zu gewinnen, entnahm man von Außenwänden bewohnter Gebäude Proben, deren Feuchtegehalt gravimetrisch ermittelt wird. Einem Vorschlag von J. S. Cammerer folgend, wurde auf der Grundlage solcher Messungen ein „praktischer Feuchtegehalt“ definiert, der bei der Festlegung des Rechenwerts der Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Materials berücksichtigt wird. Dieser praktische Feuchtegehalt ist in Anhang A der DIN 4108, Teil 4 [1] für die wichtigsten Bau- und Dämmstoffe aufgeführt und ist folgendermaßen definiert:

Unter praktischem Feuchtegehalt versteht man den Feuchtegehalt, der bei der Untersuchung genügend ausgetrockneter Bauten, die zum dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, in 90% aller Fälle nicht überschritten wurde.

Aus alter Konvention sind in der Tabelle des genannten Anhangs A die praktischen Feuchtegehalte von Mauersteinen, Leicht- und Normalbeton in Volumprozent angegeben, die Werte für Holz und Dämmstoffe hingegen in Masseprozent. Für Porenbeton ist dort als praktischer Feuchtegehalt der Wert 3,5 Vol-% zu finden, der aufgrund von Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik aus 45 Einzelmesswerten von 28 Wohnbauten festgelegt worden ist [2].

Auch an Flachdächern aus bewehrten Porenbeton-Dachplatten wurden vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik Messungen des Feuchtegehalts vorgenommen. 60 Messungen an 30 Objekten ergaben einen praktischen Feuchtegehalt von 3 Vol-% [3]. Die genannten Untersuchungen wurden im Zeitraum 1965 bis 1969 durchgeführt.

In der Folgezeit gewonnene Erkenntnisse führten zu folgenden neuen Gesichtspunkten:

1. Der praktische Feuchtegehalt nach obiger Definition steht bei wasseraufnahmefähigen Stoffen in einer direkten Relation zu den Sorptionseigenschaften der Stoffe [4].
2. Der massebezogene Feuchtegehalt u_m ist zur Beurteilung der Feuchteverhältnisse einer Baustoffart - z. B. Porenbeton unterschiedlicher Rohdichte - physikalisch zutreffen der als der volumenbezogene Feuchtegehalt u_v [6].
3. Bei der Festsetzung des Rechenwerts der Wärmeleitfähigkeit im Rahmen von Zulassungsbescheiden durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin, wird der Sorptionsfeuchtegehalt u_{m80} [%] nach DIN 52620 (Bezugsfeuchte [5]) zugrunde gelegt.

Im folgenden wird unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse eine erneute Auswertung der früheren Untersuchungsergebnisse von Außenwänden und Flachdächern aus Porenbeton vorgenommen, die seinerzeit entsprechend den damaligen Gepflogenheiten in Volumprozent erfolgte [2, 3]. Eine detaillierte Analyse der früheren Untersuchungsergebnisse führt außerdem zu weitergehenden Aussagen über den Feuchtegehalt bei Flachdächern aus Porenbeton. Des Weiteren werden die veränderten Eigenschaften der Ausgleichfeuchte des seit Ende der siebziger Jahre produzierten Porenbetons gegenüber dem „alten Porenbeton“ dargestellt, die eine günstigere Bewertung des Wärmeschutzes zur Folge haben. Zunächst werden aber im folgenden Abschnitt die Gesichtspunkte für die zweckmäßige Angabe des Feuchtegehalts von Baustoffen erläutert.

2. Angabe des Feuchtegehalts - Volumprozent oder Masseprozent?

Bei der gravimetrischen Bestimmung des Feuchtegehalts, die durch Wiegen einer Materialprobe, anschließendes Trocknen und Wiederwiegen erfolgt, erhält man aus dem Masseverlust ΔM und der Trockenmasse M_{tr} unmittelbar den massebezo-

$$u_m = \frac{\Delta M}{M_{tr}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Zur Ermittlung des volumenbezogenen Feuchtegehalts u_v muß die Rohdichte des Materials ρ_m bekannt sein oder bestimmt werden:

$$u_v = \frac{\rho_m}{1000} \cdot u_m \text{ [%]}$$

genen Feuchtegehalt u_m :

Der Wert 1000 in dieser Gleichung entspricht der Rohdichte des Wassers in kg/m^3 . In dieser Maßeinheit ist auch die Materialrohddichte in die Gleichung einzusetzen.

Der massebezogene Feuchtegehalt ist somit aus den gravimetrischen Messwerten einfach zu bestimmen. Hingegen ist der volumenbezogene Feuchtegehalt anschaulicher: Er gibt den prozentualen Anteil des im Materialvolumen befindlichen Wassers an. Der Unterschied wird aus der Gegenüberstellung dreier Stoffe unterschiedlicher Rohdichte aber gleichen volumenbezogenen Wassergehalts von 2% in Tabelle 1 deutlich. Es ist offensichtlich, dass zu einer vergleichenden Betrachtung der Feuchteverhältnisse in diesem Falle nur der volumenbezogene Feuchtegehalt geeignet ist. Aus dieser Erfahrung heraus wurde der praktische Feuchtegehalt in der Norm [1] in Volumprozent angegeben. Schließlich ging es darum, die verschiedenen Baustoffarten untereinander zu bewerten, die in der Regel je Baustoffart in einem eng begrenzten Rohdichtebereich zur Anwendung kamen.

Dies änderte sich, als — veranlasst durch die Energiekrise — kleinere Rohdichten im Bereich ein und derselben Baustoffart produziert worden waren. Eine Übertragung des an Material größerer Rohdichte ermittelten praktischen Feuchtegehalts in Volumprozent auf kleinere Rohdichten führt dann zu falschen Bewertungen. In diesem Fall ist der Feuchtegehalt in Masseprozent die physikalisch richtige Bewertungsgröße.

Tabelle 1:
Massebezogene Feuchtegehalte bei Stoffen unterschiedlicher Rohdichte und gleichem volumenbezogenen Feuchtegehalt

| Rohdichte [kg/m ³] | Feuchtegehalt | |
|-----------------------------------|---------------|-----------|
| | [Volum-%] | [Masse-%] |
| 25- z. B. Hartschaum | 2 | 80 |
| 500- z. B. Porenbeton | 2 | 4 |
| 2000- z. B. Kalksandvollstein | 2 | 1 |

Dies wird durch die nachfolgenden Überlegungen und Untersuchungen deutlich.

Wie oben ausgeführt und in [4] näher erläutert, hängt der praktische Feuchtegehalt mit den Sorptionseigenschaften des Baustoffes zusammen, wobei der Materialfeuchtegehalt bei 80% rel. Luftfeuchte (Bezugsfeuchte [5]) in Zukunft den praktischen Feuchtegehalt nach obiger Definition ersetzen soll. Porenbeton nimmt als hyroskopischer Baustoff Feuchtegehalte entsprechend der umgebenden relativen Luftfeuchte an, wobei sich diese Feuchte durch Absorption im Feststoff anlagert, während die sichtbaren Makroporen frei von Wasser sind. Je kleiner die Rohdichte von Porenbeton ist, desto größer ist das Porenvolumen und desto kleiner der Feststoffanteil, in dem Wasser absorbiert wird. Da die Struktur des Feststoffes bei Porenbeton praktisch unabhängig von der Rohdichte ist, ist auch die im Feststoff absorbierte und auf die Masse bezogene Sorptionsfeuchte von der Rohdichte unabhängig. Auf das Volumen bezogen ist aber der Sorptionsfeuchtegehalt bei Porenbeton niedriger Rohdichte kleiner als bei Porenbeton größerer Rohdichte (nochmals: in den Poren, die für die kleinere Rohdichte maßgebend sind, befindet sich kein Wasser!). Diese Zusammenhänge werden durch die in Bild 1 dargestellten Messergebnisse der Sorptionsfeuchte, bezogen auf die Masse bzw. das Volumen, bei Porenbetonproben unterschiedlicher Rohdichte bestätigt. Das Ergebnis zeigt, dass der massebezogene Feuchtegehalt bei Porenbeton eine Stoffkenngröße ist und dass der volumenbezogene Feuchtegehalt ein von der Rohdichte abhängiger Wert ist.

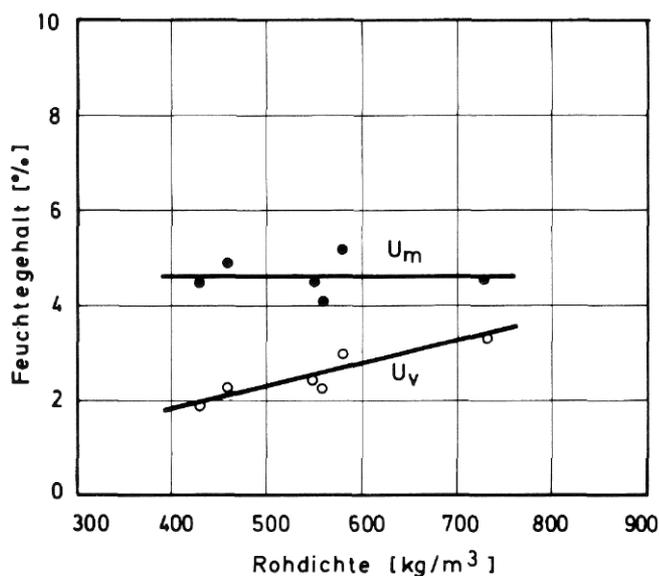


Bild 1:
Sorptionseuchte (Gleichgewichtsfeuchte) von Porenbeton bei 20 °C und 80% r. F., bezogen auf das Volumen (u_v) bzw. die Masse (u_m) des Materials in Abhängigkeit von der Rohdichte.

Zusammenfassend ist zur Frage der Angaben der Feuchteverhältnisse von Baustoffen festzustellen:

Zum Vergleich der Feuchteverhältnisse bei unterschiedlichen Baustoffen ist die Angabe in Volumprozent anschaulich und sinnvoll.

Zur Bewertung der Feuchteverhältnisse bei unterschiedlicher Rohdichte ein und derselben Baustoffart - z. B. hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit - ist die Angabe in Masseprozent richtig und physikalisch begründet.

3. Messergebnisse

3.1 Außenwände

Am Ende des Winters 1968/69 (Februar bis Mai) wurden von 28 Wohngebäuden aus Porenbeton im west- und süddeutschen Raum insgesamt 60 Proben aus unterschiedlich orientierten Außenwänden zur Feuchtebestimmung entnommen. Die Gebäude lagen in 22 verschiedenen Orten in den folgenden Städten bzw. deren weiteren Umgebung: Essen, Bruchsal, Stuttgart, Günzburg, Augsburg, Fürstenfeldbruck, Landshut und Nürnberg. Mit Hilfe eines Kronenbohrers wurden zylindrische Proben von 7 cm Durchmesser aus den Wänden herausgebohrt, in verschiedene Abschnitte unterteilt und bis zur gravimetrischen Feuchtebestimmung im Labor in luftdicht verschlossenen Büchsen aufbewahrt. Die Entnahmestellen wurden so gewählt, dass die Ergebnisse als repräsentativ für ungestörte Wandflächen gelten konnten. (Etwa 1 m von Fenster- und Türflächen entfernt, nicht an Wandflächen, an deren Innenseite Möbel standen.)

Erfasst wurden Außenwände, die an Wohn- und Schlafräumen, Küchen, Bäder und auch an unbeheizte Räume grenzen. Die überprüften Außenwände bestanden aus Porenbeton unterschiedlicher Fabrikation (HEBEL, Siporex, YTONG) und waren in unterschiedlicher Bauart errichtet (Wandplatten 15 bis 20 cm, Mauerwerk aus Porenbetonblöcken mit Normal- oder Dünnbettmörtel vermauert von 24 bis 30 cm Dicke). Die Außenoberflächen waren in der Regel mit herkömmlichem Putz und Anstrich oder mit Kunstharzputzen versehen, ein Objekt war unverputzt, ein anderes war mit einer Faserzement-Plattenbekleidung versehen. Das Alter der überprüften Gebäude lag zwischen 2 und 23 Jahren, im Mittel 7 Jahre.

An den entnommenen Proben wurde auch die Rohdichte des Porenbetons bestimmt. Es ergab sich ein Mittelwert von 540 kg/m³ (Extremwerte 420 und 700 kg/m³). Unter Zugrundelegung der ermittelten Rohdichten wurden aus den massebezogenen Messwerten die volumenbezogenen Werte errechnet.

Nähere Angaben über die einzelnen Gebäude sowie über die Art der Beheizung und der Raumnutzung sind - zusammen mit den Messergebnissen - in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2:

Zusammenstellung der Messwerte der mittleren Porenbeton-Wandfeuchte mit Angaben über die Bauten bzw. Räume. (Die in Klammern gesetzten Messwerte wurden bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.)

| Nr. | Ort | Porenbetonroh-dichte [kg/m ³] | Bau-alter [Jahre] | Bauart und Wanddicke | Außen-oberfläche | Be-heizung | Raum-nutzung | Wand-orien-tierung | Feuchtigkeits-gehalt | |
|-----|-------------------------------|--|----------------------|----------------------|---|-----------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | | | | masse-bezogen [Gew.-%] | volumen-bezogen [Vol.-%] |
| 1 | Essen-Werden | 520 | 11 | Wandplatten 25 cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentral-heizung | Bad | Nord-Westen | 4,0 | 2,1 |
| | | | | | | | | Wohn-zimmer | Süd-Osten | 3,8 |
| 2 | Dinslaken | 600 | 8 | Wandplatten 20cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentral-heizung | Wohn-zimmer | Westen | 6,2 | 3,7 |
| | | | | | | | Schlaf-zimmer | Osten | 4,2 | 2,5 |
| 3 | Dinslaken | 580 | 9 | Wandplatten 20 cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentral-heizung | Kinder-zimmer | Westen | 3,9 | 2,3 |
| | | | | | | | Wohn-zimmer | Süden | 3,4 | 2,0 |
| 4 | Bruchsal | 600 | 4 | Wandplatten 20 cm | Putz | Zentral-heizung | Schlaf-zimmer | Westen | 6,7 | 4,0 |
| | | | | | | | | Norden | 5,6 | 3,4 |
| 5 | Philipsburg b. Bruchsal | 620 | 7 | Mauerwerk 25cm | Putz | Zentral-heizung | Kinder-zimmer | Westen | 4,7 | 2,9 |
| | | | | | | | | Norden | 4,9 | 3,0 |
| 6 | Philipsburg b. Bruchsal | 630 | 7 | Mauerwerk 25cm | unverputzt | Zentral-heizung | Kinder-zimmer | Westen | 3,4 | 2,2 |
| | | | | | | | | Norden | 3,3 | 2,1 |
| 7 | Huttenheim | 620 | 9 | Wandplatten 20cm | Putz | Zentral-heizung | Schlaf-zimmer | Nord-Westen | 4,3 | 2,7 |
| | | | | | | | | Nord-Osten | 3,8 | 2,4 |
| 8 | Huttenheim | 61 | 7 | Mauerwerk 25cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentral-heizung | Schlaf-zimmer | Westen | 3,2 | 2,0 |
| | | | | | | | | Süden | 3,6 | 2,2 |
| 9 | Gangkofen b. Landshut | 420 | 3 | Mauerwerk 24cm | Putz bzw Faser-zement-Platten (Westseite) | Zentral-heizung | Wohn-zimmer | Westen | 4,3 | 1,8 |
| | | | | | | | | Süden | 6,5 | 2,7 |
| | | | | | | | Küche | Westen | 3,9 | 1,7 |
| | | | | | | | | Norden | 6,9 | 2,9 |
| 10 | Kleinheppach b. Waiblingen | 500 | 6 | Mauerwerk 24 cm | Putz mit Disp. - Farbe | Zentral-heizung | Kinder-zimmer | Süd-Westen | 3,7 | 1,9 |
| | | | | | | | | Nord-Westen | 4,9 | 2,5 |
| 11 | Ludwigsburg | 640 | 4 | Mauerwerk 24cm | Putz mit Disp. - Farbe | unbe-heizt | Treppen-haus | Westen | (9,4) | (6,0) |
| | | | | | | | | Norden | (5,3) | (3,4) |
| 12 | Günzburg | 680 | 6 | Mauerwerk 30cm | Kunststoff-Beschichtung | unbe-heizt | unbe-wohnt (nicht ausgeb.) | Westen | (6,2) | (4,2) |
| | | | | | | | | Süden | (5,4) | (3,7) |
| 13 | Kühbach b. Schrobenhausen | 490 | 7 | Mauerwerk 30 cm | Putz mit Disp. - Farbe | Zentral-heizung | Küche | Westen | (22,7) | (11,1) |
| | | | | | | | | Norden | 5,4 | 2,7 |
| 14 | Schrobenhausen | 510 | 5 | Mauerwerk 30cm | Putz | unbe-heizt | Treppen-haus | Westen | (6,2) | (3,2) |
| | | | | | | | | Norden | (5,1) | (2,6) |

Tabelle 2 (Fortsetzung): Zusammenstellung der Meßwerte der mittleren Porenbeton-Wandfeuchte mit Angaben über die Bauten bzw. Räume. (Die in Klammern gesetzten Meßwerte wurden bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.)

| Nr. | Ort | Porenbetonroh-dichte [kg/m ³] | Baualter [Jahre] | Bauart und Wanddicke | Außen-oberfläche | Beheizung | Raum-nutzung | Wand-orientierung | Feuchtigkeits-gehalt | |
|-----|-------------------------------|---|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | | | masse-bezogen [Gew.-%] | volumen-bezogen [Vol.-%] |
| 15 | Hörzhausen b. Schrobenshausen | 530 | 5 | Mauerwerk 30cm | Putz | unbeheizt | unbewohnt (nicht ausgeb.) | Westen | (9,3) | (4,9) |
| | | | | | | | | Norden | (9,2) | (4,9) |
| 16 | Oberweihersbuch b. Nürnberg | 700 | 4 | Mauerwerk 25cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentralheizung | Bad | Norden | 10,8 | 7,6 |
| | | | | | | temperiert | Treppenhaus | Osten | (7,2) | (5,1) |
| 17 | Roth b. Nürnberg | a) 520 b) 670 | 4 | Mauerwerk 30cm | Putz mit Disp. -Farbe | temperiert | Treppenhaus | a) Westen | (8,1) | (4,2) |
| | | | | | | | | b) Norden | (10,2) | (6,8) |
| 18 | Schwabach b. Nürnberg | 530 | 6 | Mauerwerk 25cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentralheizung | Schlafzimmer | Westen | 5,1 | 2,7 |
| | | | | | | | | Norden | 5,6 | 2,9 |
| 19 | Hochbrück b. München | 570 | 7 | Wandplatten 20 cm | Putz | Einzel-ofenheizung | Wohnzimmer | Süd-Westen | 4,6 | 2,6 |
| | | | | | | | Schlafzimmer | Nord-Westen | 7,8 | 4,5 |
| 20 | Siegertsbrunn b. München | 560 | 2 | Wandplatten 20 cm | Putz | Zentralheizung | Kinderzimmer | Norden | (12,2) | (6,8) |
| | | | | | | | | Süden | (7,2) | (4,0) |
| | | | | | | | | Bad | Norden | (14,8) |
| 21 | Feldkirchen b. München | 550 | 8 | Wandplatten 20 cm | Putz | Einzel-ofenheizung | Wohnzimmer | Süd-Westen | 4,6 | 2,6 |
| | | | | | | | Schlafzimmer | Nord-Osten | 5,4 | 3,0 |
| 22 | München | a) 660 b) 620 | a) 23 b) 14 | Wandplatten a) 15 cm b) 21 cm | Putz | Einzel-ofenheizung | Küche | a) Nord-Osten | 3,7 | 2,5 |
| | | | | | | | | b) Nord-Westen | 5,9 | 3,7 |
| 23 | Fürstenfeldbruck | 560 | 6 | Wandplatten 20cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentralheizung | Kinderzimmer | Westen | 4,2 | 2,4 |
| | | | | | | | Wohnzimmer | Süden | 4,3 | 2,4 |
| 24 | Fürstenfeldbruck | 560 | 7 | Wandplatten 20 cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentralheizung | Wohnzimmer | Westen | 4,7 | 2,7 |
| | | | | | | | WC | Norden | 4,1 | 2,3 |
| 25 | Fürstenfeldbruck | 600 | 5 | Wandplatten 17,5 cm | Kunststoff-Beschichtung | Zentralheizung | Schlafzimmer | Osten | 4,2 | 2,5 |
| | | | | | | | | Norden | 4,5 | 2,7 |
| 26 | Höhenkirchen b. Holzkirchen | 630 | 5 | Wandplatten 20 cm | Putz | Zentralheizung | Kinderzimmer | Süden | 4,4 | 2,8 |
| | | | | | | | Küche | Norden | 9,7 | 6,1 |
| 27 | Höhenkirchen b. Holzkirchen | 540 | 5 | Mauerwerk 25 cm | Putz | Zentralheizung | Wohnzimmer | Westen | 6,0 | 3,3 |
| | | | | | | | Schlafzimmer | Osten | 5,6 | 3,1 |
| 28 | Holzkirchen | 500 | 17 | Wandplatten 15 cm | wasser-abweisender Putz | Einzel-ofenheizung | Wohnzimmer | Westen | 6,0 | 3,0 |
| | | | | | | | | Osten | 5,0 | 2,5 |
| | | | | | | | | Norden | 5,8 | 2,9 |

3.2 Flachdächer

Erfasst wurden insgesamt 35 Flachdächer aus bewehrten Porenbetonplatten (siehe Tabelle 3), die über Wohnräumen, Werkstätten und Fabrikationshallen liegen. Die Dachhaut dieser Dächer bestand zum Teil aus mehreren Lagen Bitumpappe, die unmittelbar auf die Porenbeton-Außenflächen aufgeklebt waren (nicht belüftete Flachdächer). Zum Teil waren oberseitig gewellte Faserzementplatten mit Luftabstand aufgebracht (belüftete Flachdächer). Die Unterseiten der Porenbetonplatten waren unbehandelt oder mit einer nicht dampfsperrenden Beschichtung versehen. Das Alter der überprüften Dächer lag zwischen 3 und 11 Jahren. Die Rohdichte des Porenbetons bewegte sich in den Grenzen von 470 kg/m^3 und 750 kg/m^3 , Mittelwert 590 kg/m^3 . Die geographische Lage der Meßobjekte erstreckte sich über das ganze Bundesgebiet.

Probenentnahme und Probenbehandlung erfolgte wie bei den Außenwänden, jedoch mit dem Unterschied, daß bei

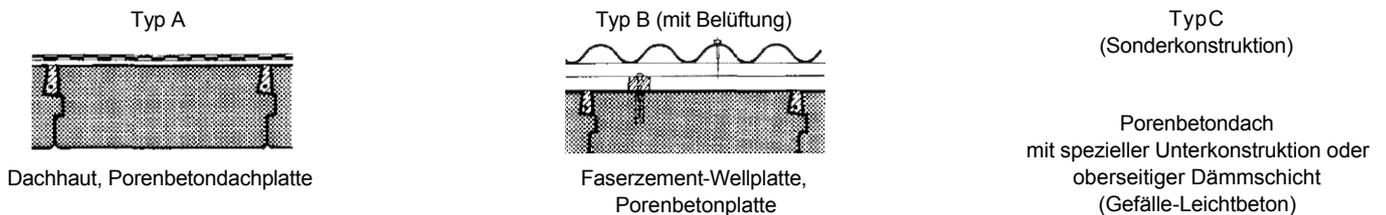
jedem Objekt Proben vor dem Winter und nach dem Winter genommen worden waren (eine Meßperiode im Winter 1965/66 und eine zweite im Winter 1967/68). Die Meßstellen wurden wiederum so gewählt, daß die Ergebnisse als repräsentativ für die Dachflächen betrachtet werden konnten. Es wurden jeweils drei Einzelproben zur Bildung von Mittelwerten entnommen.

Da die raumklimatischen Bedingungen in den angrenzenden Räumen zum Teil sehr unterschiedlich waren (temperiert, intermittierend oder ständig beheizt oder klimatisiert), wurden zur besseren Bewertung der Ergebnisse in jedem Objekt während einer Zeitdauer von 4 bis 6 Wochen im Winter Messungen der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte vorgenommen. Dies erfolgte mit Hilfe von Thermohygrographen und z. T. mittels elektrischer Sonden.

Nähere Angaben über die überprüften Objekte mit Angaben über die Raumnutzung und die Meßergebnisse des Raumklimas und der Porenbetonfeuchte erhält die Tabelle 3.

Tabelle 3:

Zusammenstellung der Meßwerte der mittleren Porenbeton-Deckenfeuchte (Mittelwerte aus Messungen an verschiedenen Dachstellen).



Schematische Darstellung der untersuchten Dachkonstruktionen

Die Unterseite der Porenbetonplatten war unbehandelt oder mit einer nicht dampfsperrenden Beschichtung versehen. Die Meßobjekte mit der laufenden Nummer 1 bis 19 wurden im Winterhalbjahr 1965/1966, die Messobjekte mit der laufenden Nummer 20 bis 35 im Winterhalbjahr 1967/1968 überprüft

| Nr. | Anschrift | Dachkonstruktion (Typ u. Dicke d. Porenbetonplatten) | Baujahr | Innenverhältnisse | | | | Rohdichte [kg/m^3] | Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt | | | |
|-----|--|---|-------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|-------------|--------|
| | | | | Nutzungsart des Raumes | Beheizung | mittl. Lufttemp. [°C] | mittl. rel. Luftfeuchtigkeit [%] | | vor Winter | | nach Winter | |
| | | | | | | | | | Gew.-% | Vol.-% | Gew.-% | Vol.-% |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | Kuba-Tonmöbel, Wolfenbüttel, Lindenerstraße | A 15 cm | 1958/ 59 | Versandhalle, Lagerraum | intermitt. | 14,5 | 45 | 650 | 5,2 | 3,4 | 5,2 | 3,4 |
| 2 | Kuba-Tonmöbel, Wolfenbüttel, Lindenerstraße | A 7,5 cm | 1958/ 59 | Lagerraum | intermitt. | 13,0 | 55 | 700 | 4,2 | 2,9 | 4,5 | 3,2 |
| 3 | Einzelgarage, Wolfenbüttel, Westring 3/1 3 | A 10cm | – | Garage | unbeheizt | – | – | 600 | 6,5 | 3,9 | – | – |
| 4 | Wäscherei Wrede, Peine, Rosenhagen 28 | B 15 cm | 1961 | Wäscherei- raum | intermitt. | 18,5 | 52 | 750 | 5,5 | 4,1 | 5,5 | 4,1 |
| 5 | Schulte-Dieckhoff, Strumpfwirkerei, Horstmar | B 15 cm | 1957 | Strickerei- saal | ständig. (Klimatisiert) | 21 | 46 | 600 | 3,6 | 2,2 | 3,8 | 2,3 |

Tabelle 3 (Fortsetzung):

Zusammenstellung der Messwerte der mittleren Porenbeton-Deckenfeuchte (Mittelwerte aus Messungen an verschiedenen Dachstellen).

| Nr. | Anschrift | Dachkonstruktion (Typ u. Dicke d. Porenbetonplatten) | Baujahr | Innenverhältnisse | | | | Rohdichte [kg/m ³] | Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt | | | |
|-----|--|---|---------|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|------------|
| | | | | Nutzungsart des Raumes | Beheizung | mittl. Lufttemp. [°C] | mittl. rel. Luftfeuchtigkeit [%] | | vor Winter | | nach Winter | |
| | | | | | | | | | Gew.- % | Vol.- % | Gew.- % | Vol.- % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 6 | H. Uhlending KG, Druckerei Dorsten, Marienstraße 1 | A 15 cm | 1961 | Druckereiraum | ständig (klimatisiert) | 21 | 53 | 650 | 3,9 | 2,5 | 3,9 | 2,5 |
| 7 | Hallenbad Dülmen | C 12,5cm | 1963 | Hallenbad | ständig (gesteuert) | — | — | — | — | — | 7,0 | - |
| 8 | August-Thyssen-Hütte, Haus der Konstrukteure, Duisburg-Hamborn | C 12,5cm | 1957 | Konstruktionsbüro | intermitt. | | | 650 | 3,2 | 2,1 | | |
| 9 | August-Thyssen-Hütte, Autowaschhalle, Duisburg-Hamborn | A 12,5cm | 1956 | Auto- waschhalle | intermitt. | 15 | 67 | 650 | 2,8 | 1,8 | 3,4 | 2,2 |
| 10 | August-Thyssen-Hütte, Garagen, Duisburg- Hamborn | A 12,5cm | 1956 | Garage | temperiert | 20,5 | 35 | 600 | 2,9 | 1,7 | 3,1 | 1,9 |
| 11 | August-Thyssen-Hütte, Pkw-Überdachung, Duisburg-Hamborn | A 12,5 cm | 1956 | offener Unterstand | unbeheizt. | 3,8 | 80 | 550 | 3,5 | 1,9 | 3,9 | 2,1 |
| 12 | H. Osterloh u. Co., Münchingen, Daimlerstraße 20 | A 15 cm | 1957 | Fabri- kationshalle, Schreinerei | temperiert | 19,0 | 38 | 550 | 3,1 | 1,7 | 2,6 | 1,4 |
| 13 | Zahnradfabrik Zuffenhausen, Stgt.- Zuffenhausen | A 15 cm | 1958 | Lehrwerkstatt | temperiert | 20,0 | 40 | 600 | 3,1 | 1,9 | 2,7 | 1,5 |
| 14 | Zentral-Einkaufs- genossenschaft, Stgt.- Zuffenhausen | B 17,5 cm | 1959 | Span-platten- Lagerhalle | temperiert | 9,3 | 61 | 750 | 3,4 | 2,6 | 3,3 | 2,5 |
| 15 | Ergee-Strumpffabrik Rössler, Neustadt/Lahn | A 15 cm | 1957/58 | Strickereisaal | ständig (klimatisiert) | 22 | 60 | 500 | 5,3 | 2,6 | 6,2 | 3,1 |
| 16 | Flugplatz Fürstenfeldbruck | A 15 cm | 1956/57 | Ersatzteillager | temperiert | 14,8 | 48 | 550 | 4,0 | 2,2 | 3,0 | 1,6 |
| 17 | Möbelfabrik Bals, Kaufering | A 15 cm | 1955 | Fabrikraum | intermitt. | 12,5 | 47 | 550 | 4,1 | 2,3 | 3,2 | 1,8 |
| 18 | Möbelfabrik Bals, Kaufering | A 12,5 cm | - | Lageraum | unbeheizt | 5,0 | 80 | 550 | 4,6 | 2,5 | 4,4 | 2,4 |
| 19 | Papierfabrik Seltmans, Isny | A 15 cm | 1959/60 | Papierraum | ständig (klimatisiert) | 20,0 | 55 | 550 | 4,8 | 2,6 | 4,0 | 2,2 |
| 20 | Konsum-Genossen- schaft, GmbH Reichertshofen | A 12,5 cm | 1957 | Lagerhalle | unbeheizt | 4,7 | 70 | 550 | 3,6 | 2,0 | 3,4 | 1,9 |

Tabelle 3 (Fortsetzung):

Zusammenstellung der Messwerte der mittleren Porenbeton-Deckenfeuchte (Mittelwerte aus Messungen an verschiedenen Dachstellen).

| Nr. | Anschrift | Dachkonstruktion (Typ u. Dicke d. Porenbetonplatten) | Jahr | Innenverhältnisse | | | | Rohdichte [kg/ m ³] | Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt | | | |
|-----|---|---|-------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------|-------------|---------|
| | | | | Nutzungsart des Raumes | Beheizung | mittl. Lufttemp. [°C] | mittl. rel. Luftfeuchtigkeit [%] | | vor Winter | | nach Winter | |
| | | | | | | | | | Gew.- % | Vol.- % | Gew.- % | Vol.- % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 21 | Belinda, Strumpffabrik, Landsberg | A 12,5cm | 1958/ 59 | Fabrikraum | ständig (klimatisiert) | 21,0 | 46 | 480 | 2,0 | 1,0 | 2,4 | 1,2 |
| 22 | Agfa-Gevaert AG, München, Tegernseer Landstraße 161 | A 10cm | 1958/ 59 | Fabrikraum | ständig (klimatisiert) | 19,0 | 43 | 470 | 2,7 | 1,3 | 2,5 | 1,2 |
| 23 | Agfa-Gevaert AG, München, Tegernseer Landstraße 161 | A 10 cm | 1958/ 59 | Dachraum über Fabrikraum | temperiert | 12,0 | 68 | 470 | 3,4 | 1,6 | 2,6 | 1,2 |
| 24 | Karl Stöhr KG, Gasbetonwerk, Huttenheim | C 17,5 cm | 1962 | Zeichensaal | intermitt. | 23,0 | 42 | 590 | 6,1 | 3,6 | 5,0 | 3,0 |
| 25 | Siemens und Halske, Bruchsal, Südbau 651 1/1 2 | A 10cm | 1961 | Maschinenhalle | intermitt. | 22,4 | 34 | 570 | 2,9 | 1,7 | 1,5 | 0,9 |
| 26 | Salzgitter-Chemie, Embsen, NPK-Halle II | A 15 cm | 1964 | Düngemittelhalle | intermitt. | 23,4 | 36 | 630 | 3,5 | 2,2 | 2,2 | 1,4 |
| 27 | Salzgitter AG, Werk Heerte | A 15 cm | 1962 | Elektrowerkstatt | intermitt. | 22,3 | 33 | 610 | 3,2 | 2,0 | 2,7 | 1,6 |
| 28 | HEW-Betriebshof, Hamburg-Braunfeld, HalleII | A 15 cm | 1961 | Werkstatthalle, | ständig (gesteuert) | 20,3 | 37 | 720 | 2,9 | 2,1 | 1,9 | 1,4 |
| 29 | Stapelholmer Kaserne, Seeth-Friedrichstadt | A 8,75 cm | 1963 | Fahrzeughalle | temperiert | 9,7 | 58 | 610 | 5,0 | 3,0 | 3,1 | 1,9 |
| 30 | Esso-Tankstelle, München, Westendstraße 250 | A 10 cm | 1959 | Auto-Waschboxe | intermitt. | — | — | 470 | 3,5 | 1,6 | 3,8 | 1,8 |
| 31 | Bäckerei Woitalla, München, Schererhofstraße | A 17,5 cm | 1958 | Backstube | intermitt. | 23 | 50 | 530 | 2,9 | 1,5 | 2,1 | 1,1 |
| 32 | Spinnerei Adolff AG, Ehingen | A 15 cm | 1958 | Spinnereisaal | ständig (klimatis.) | 21 | 48 | 540 | 3,3 | 1,8 | 2,8 | 1,5 |
| 33 | Papierfabrik, Bad Herzberg | A 7,5 cm | 1961/ 62 | Fabrikationshalle | ständig, beheizt | 21,5 | 36 | 700 | 4,0 | 2,8 | 2,0 | 1,4 |
| 34 | Stadt. Schwimmbad, Wolfsburg, Schachtweg 57 | C 7,5 cm | 1961 | Schwimmbadhalle | ständig beheizt | 30 | 39 | 620 | 2,6 | 1,6 | 1,4 | 0,9 |
| 35 | Kettelhack Riker, Pharma GmbH, Borken | C 15 cm | 1965 | Lagerhalle | intermitt. | 17,2 | 45 | 560 | 6,2 | 3,5 | 5,1 | 2,9 |

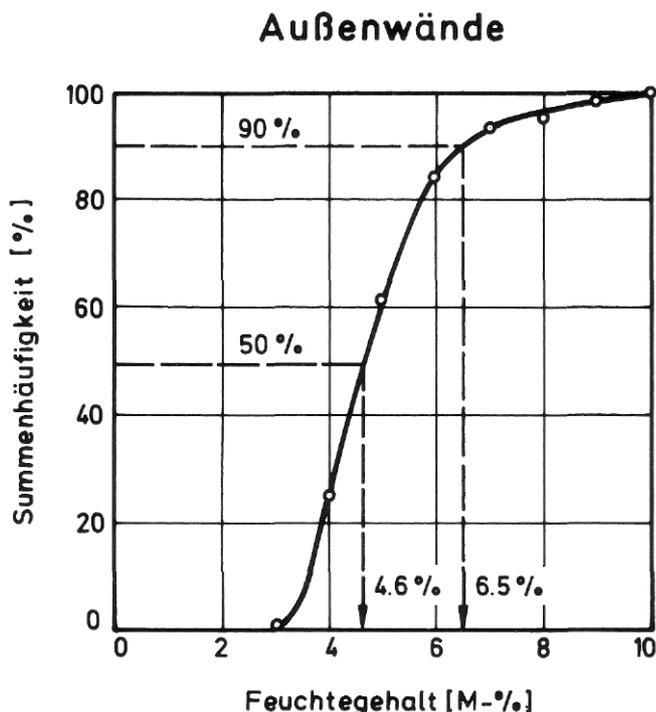
Von der weiteren Auswertung ausgeklammert wurden folgende Messobjekte: Nr. 7 und 8, weil die Dächer dieser Messobjekte eine besondere Unterkonstruktion besitzen; Nr. 24 und 35 weil die Dächer dieser Mess- Objekte oberseitig mit einem Gefälle-Leichtbeton versehen sind; Nr. 34, weil das Dach dieses Messobjektes eine besondere Unterkonstruktion besitzt und oberseitig mit einer Wärmedämmschicht versehen ist.

4. Auswertungen

4.1 Außenwände

Von den 60 Einzelmessungen des Porenbeton-Feuchtegehalts wurden bei den damaligen Auswertungen 45 für die statistische Auswertung des praktischen Feuchtegehalts herangezogen [2]. Hierbei handelte es sich um die Ergebnisse von Außenwänden mit einem Alter von über zwei Jahren, die an Wohnzimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer, Küchen und Baderäumen angrenzen. Von den 15 nicht berücksichtigten Messwerten wurden 11 ausgesondert, da sie von unbeheizten oder nicht dem Aufenthalt von Menschen dienenden Räumen stammen (z. B. Vorräume, Treppenträume), drei wegen zu geringen Alters (unter zwei Jahre) und ein Messwert, da er von einer Westwand mit unzureichendem Regenschutz stammt.

Eine statistische Auswertung der gleichen Messstellen wie damals - allerdings bei Angabe der Werte in Masse-% statt in Volum-% ergibt die in Bild 2 dargestellte Verteilung der Summenhäufigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt. Die Summenhäufigkeit stellt jenen Prozentsatz der Messwerte dar, der kleinere Werte als der jeweils betrachtete Feuchtewert ergeben hat. Die 90%-Fraktile, der Wert, der also in 90% aller Fälle unterschritten worden ist, entspricht dem praktischen Feuchtegehalt. Die 50%-Fraktile ist der häufigste Wert aller Messwerte. Wie aus Bild 2 ersichtlich, ergibt eine statistische Auswertung einen praktischen Feuchtegehalt von 6,5 M-% und einen häufigsten Wert von 4,6 M-%.



90%-Fraktile : 6,5 M-%
(praktischer Feuchtegehalt)
50%-Fraktile : 4,6 M-%
(häufigster Wert)

Bild 2:
Summenhäufigkeit des mittleren Feuchtegehalts von Porenbeton-Außenwänden aufgrund von 45 Einzelmessungen (s. Tabelle 2).

Unter Zugrundelegung der mittleren Porenbeton-Rohdichte der Messobjekte von 540 kg/m^3 (siehe oben) ergeben sich - bezogen auf das Volumen die früher ermittelten Werte von 3,5 Vol-% als praktischer Feuchtegehalt und 2,5 Vol-% als häufigster Wert. Dies ist ein keinesfalls überraschendes Ergebnis. Nur: Wenn man den massebezogenen Feuchtegehalt von 6,5% zugrunde legt und auf das Gebäude mit niedrigster Rohdichte überträgt (Objekt Nr. 9 in Tabelle 2 mit 420 kg/m^3 Rohdichte), dann errechnet sich ein volumenbezogener Feuchtegehalt von 2,7%, der mit dem real gemessenen Feuchtegehalt von 2,3 Vol-% (Mittelwert aus vier Einzelmessungen, siehe Tabelle 2) besser übereinstimmt als der in der Norm festgelegte Wert 3,5 Vol-%. Je niedriger die Rohdichte des Porenbetons ist, desto günstiger wirkt sich die Anwendung des massebezogenen Feuchtegehalt aus. Andererseits ergeben sich bei höheren Rohdichten (über 540 kg/m^3) höhere Feuchtegehalte als 3,5 Vol-%.

Eine Analyse der an den bewohnten Gebäuden gemessenen Wandfeuchtegehalte, aufgeteilt nach der Raumnutzung (Tabelle 4) und nach der Wandorientierung (Tabelle 5) hat nur geringe Einflüsse der jeweils betrachteten Parameter ergeben. Die Wandorientierung oder die Art der Raumnutzung ergibt nur Abweichungen von etwa maximal einem halben Prozent vom gewichteten Mittelwert. Die Art der Raumnutzung und damit die möglicherweise unterschiedliche Belastung durch wohnbedingte Feuchte und die Einwirkungen von außen durch Regen (Wandorientierung) haben somit einen untergeordneten Einfluss auf die Porenbetonfeuchte. Der hauptsächlich bestimmende Einfluss auf den Langzeit-Feuchtegehalt sind die Sorptionseigenschaften des Porenbetons.

Tabelle 4:
Mittelwerte der Porenbetonfeuchte von Außenwänden in Abhängigkeit von der Nutzungsart des angrenzenden Raumes

| Nutzungsart | Anzahl/Messwerte | Feuchtegehalt [M-%] |
|------------------------|------------------|---------------------|
| Wohnen | 13 | 5,0 |
| Kind | 5 | 4,2 |
| Schlafen | 13 | 4,75 |
| Küche/Bad | 11 | 4,6 |
| gewichteter Mittelwert | 42 | 4,7 |

Tabelle 5:
Mittelwerte der Porenbetonfeuchte von Außenwänden in Abhängigkeit von der Wandorientierung

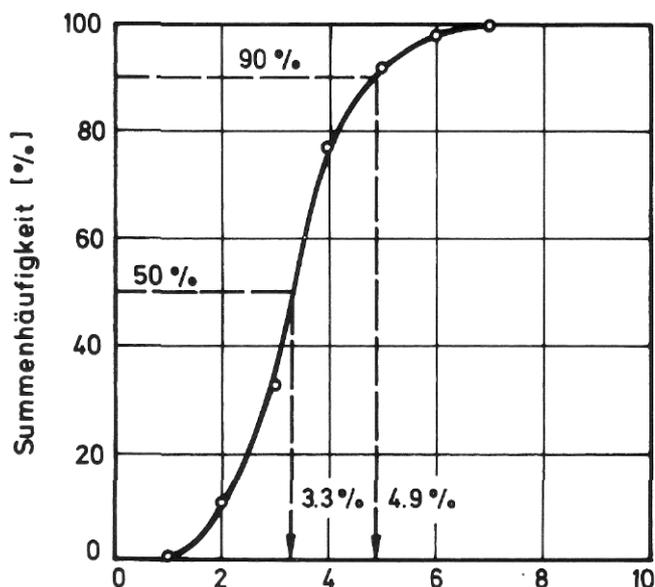
| Orientierung | Anzahl/Messwerte | Feuchtegehalt [M-%] |
|------------------------|------------------|---------------------|
| Nord | 15 | 5,5 |
| Ost | 6 | 4,4 |
| Süd | 9 | 4,3 |
| West | 14 | 4,9 |
| gewichteter Mittelwert | 44 | 4,9 |

4.2 Flachdächer

Von den geprüften 35 Objekten mit Porenbeton-Flachdächern wurden nur wenige wohnähnlich genutzt. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um industrielle oder gewerbliche Fabrikations- oder Lagerräume, die klimatisiert, beheizt, nur temperiert oder unbeheizt waren. Die Probenentnahmen erfolgten bei den Flachdächern vor und nach dem Winter, um feststellen zu können, ob sich infolge des Temperatur- bzw. Dampfdruckgefälles nach außen eine Feuchteerhöhung in diesem Zeitraum einstellt. Diese Fragestellung ist naturgemäß nur bei nicht belüfteten Flachdächern über temperierten, beheizten oder klimatisierten Räumen von Interesse. Deshalb wurden für eine statistische Auswertung nur die Dächer des Typs A in Tabelle 3 bei Aussonderung der Dächer über nicht beheizten Räumen herangezogen. Damit verbleiben für diese Auswertung 24 Objekte. Das Ergebnis ist in Bild 3 dargestellt und ergibt um rund 1,5 Prozentpunkte niedrigere Feuchtegehalte als bei den Außenwänden.

Weitere Aufschlüsse über den Einfluss verschiedener Randbedingungen auf die Feuchteverhältnisse in Flachdächern aus Porenbeton geben die Tabellen 6 bis 9, in denen Einzel- und Mittelwerte von Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte, Porenbetonfeuchte vor und nach dem Winter und deren Mittelwerte zusammengestellt sind. Aus einem Vergleich der Tabellen 6 und 7 geht hervor, dass über beheizten und temperierten Räumen die Porenbetonfeuchte der nicht belüfteten Dächer vor dem Winter etwas höher ist als nach dem Winter.

Flachdächer



90%-Fraktile : 4,9 M-%
(praktischer Feuchtegehalt)
50%-Fraktile : 3,3 M-%
(häufigster Wert)

Bild 3:

Summenhäufigkeit des mittleren Feuchtegehalts von nicht belüfteten Porenbeton-Flachdächern über temperierten, beheizten oder klimatisierten Räumen aufgrund von Messungen an 24 Objekten vor und nach dem Winter (s. Tabelle 3).

Tabelle 6:

Porenbetonfeuchte vor und nach dem Winter sowie deren Mittelwerte bei nicht belüfteten Flachdächern über beheizten Räumen (>18 °C) mit Angabe von Mittelwerten der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte in den Räumen und Gesamtmittelwerte

| Nicht belüftete Flachdächer über beheizten Räumen | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|
| Nr. | Raumlufttemperatur [°C] | Raumluftfeuchte [%] | Porenbetonfeuchte [M-%] | | |
| | | | vor Winter | nach Winter | Mittelwert |
| 6 | 21 | 53 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |
| 10 | 20,5 | 35 | 2,9 | 3,1 | 3,0 |
| 12 | 19 | 38 | 3,1 | 2,6 | 2,85 |
| 13 | 20 | 40 | 3,1 | 2,7 | 2,9 |
| 15 | 22 | 60 | 5,3 | 6,2 | 5,75 |
| 19 | 20 | 55 | 4,8 | 4,0 | 4,4 |
| 21 | 21 | 46 | 2,0 | 2,4 | 2,2 |
| 22 | 19 | 43 | 2,7 | 2,5 | 2,6 |
| 25 | 22,5 | 34 | 2,9 | 1,5 | 2,2 |
| 26 | 23,5 | 36 | 3,5 | 2,2 | 2,85 |
| 31 | 23 | 50 | 2,9 | 2,1 | 2,5 |
| 32 | 21 | 48 | 3,3 | 2,8 | 3,05 |
| 33 | 21,5 | 36 | 4,0 | 2,0 | 3,0 |
| Mittel: | 22 | 44 | 3,4 | 2,9 | 3,2 |

Tabelle 7:

Porenbetonfeuchte vor und nach dem Winter sowie deren Mittelwerte bei nicht belüfteten Flachdächern über temperierten Räumen (<18 °C) mit Angabe von Mittelwerten der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte in den Räumen und Gesamtmittelwerte

| Nicht belüftete Flachdächer über temperierten Räumen | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|
| Nr. | Raumlufttemperatur [°C] | Raumluftfeuchte [%] | Porenbetonfeuchte [M-%] | | |
| | | | vor Winter | nach Winter | Mittelwert |
| 1 | 14,5 | 45 | 5,2 | 5,2 | 5,2 |
| 2 | 13 | 55 | 4,2 | 4,5 | 4,35 |
| 9 | 15 | 67 | 2,8 | 3,4 | 3,1 |
| 11 | 4 | 80 | 3,5 | 3,9 | 3,7 |
| 16 | 15 | 48 | 4,0 | 3,0 | 3,5 |
| 17 | 12,5 | 47 | 4,1 | 3,2 | 3,65 |
| 18 | 5 | 80 | 4,6 | 4,4 | 4,5 |
| 20 | 4,5 | 70 | 3,6 | 3,4 | 3,5 |
| 23 | 12 | 68 | 3,4 | 2,6 | 3,0 |
| 29 | 9,5 | 58 | 5,0 | 3,1 | 4,05 |
| Mittel: | 10,5 | 62 | 4,0 | 3,7 | 3,8 |

Der Unterschied ist bei beheizten Räumen mit einem Mittelwert der Lufttemperatur von 22 °C etwas größer als bei temperierten Räumen mit rund 10 °C Mitteltemperatur. Über nicht beheizten Räumen (Tabelle 8) und bei belüfteten Flachdächern (Tabelle 9) ergibt sich im Mittel kein Unterschied in den Feuchtegehalten vor und nach dem Winter. Allerdings stammen die Mittelwerte in den beiden letztgenannten Fällen nur jeweils von drei Einzelmessungen und sind daher nicht so repräsentativ wie die Mittelwerte in den Tabellen 6 und 7.

Als weiteres Ergebnis ist festzustellen, dass mit zunehmender Intensität der Beheizung und damit abnehmender relativer Luftfeuchte die Porenbetonfeuchte abnimmt. Während der

Feuchtegehalt von nicht belüfteten Flachdächern über beheizten Räumen im Mittel 3,2 M-% beträgt, liegt dieser Wert über temperierten Räumen bei 3,8 M-% und über nicht beheizten Räumen bei 3,9 M-%. Der höchste Mittelwert mit 4,2 M-% wurde bei den belüfteten Flachdächern festgestellt (Tabelle 9). In diesem Falle wird der Porenbeton-Feuchtegehalt durch die Außenluftfeuchte mitbestimmt, die mit rund 80% höher ist als die relative Luftfeuchte in beheizten Räumen.

Wie bei den Außenwänden, so ergibt sich auch bei den Flachdächern, dass deren Feuchtegehalt im Wesentlichen durch die relative Feuchte der umgebenden Luft, also durch Vorgänge der Wasserdampf-Sorption bestimmt wird.

Tabelle 8:

Porenbetonfeuchte vor und nach dem Winter sowie deren Mittelwerte bei nicht belüfteten Flachdächern über nicht beheizten Räumen mit Angaben von Mittelwerten der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte unterhalb des Daches und der Gesamtmittelwerte

| Nicht belüftete Flachdächer über unbeheizten Räumen | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|
| Nr. | Raumlufttemperatur [°C] | Raumluftfeuchte [%] | Porenbetonfeuchte [M-%] | | |
| | | | vor Winter | nach Winter | Mittelwert |
| 11 | 3,8 | 80 | 3,5 | 3,8 | 3,6 |
| 18 | 5,0 | 80 | 4,6 | 4,4 | 4,5 |
| 20 | 4,7 | 70 | 3,6 | 3,4 | 3,5 |
| Mittel: | 4,5 | 77 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |

Tabelle 9:

Porenbetonfeuchte vor und nach dem Winter sowie deren Mittelwerte bei belüfteten Flachdächern über temperierten und beheizten Räumen mit Angaben von Mittelwerten der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte in den Räumen und Gesamtmittelwerte

| Belüftete Flachdächer über Räumen mit 10 °C bis 20 °C | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|
| Nr. | Raumlufttemperatur [°C] | Raumluftfeuchte [%] | Porenbetonfeuchte [M-%] | | |
| | | | vor Winter | nach Winter | Mittelwert |
| 4 | 18,5 | 52 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| 5 | 21 | 46 | 3,6 | 3,8 | 3,7 |
| 14 | 9,5 | 61 | 3,4 | 3,3 | 3,35 |
| Mittel: | 16 | 53 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |

5. Ausgleichsfeuchte heutigen Porenbetons

Seit Ende der siebziger Jahre wurde durch Änderung der Rezepturen und des Produktionsprozesses die Kristallisation der Kalziumsilikathydrate des Porenbetons so modifiziert, dass ein Material mit kleinerer innerer Oberfläche entstanden ist und dadurch mit niedrigerer Sorptionsfeuchte. Untersuchungen an entnommenen Wandproben von Wohngebäuden aus solchem Material, durchgeführt teils durch das YTONG-Hauptlabor und teils durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) ergaben folgende Werte des praktischen Feuchtegehalts (90%-Fraktile der Summenhäufigkeit) [7]:

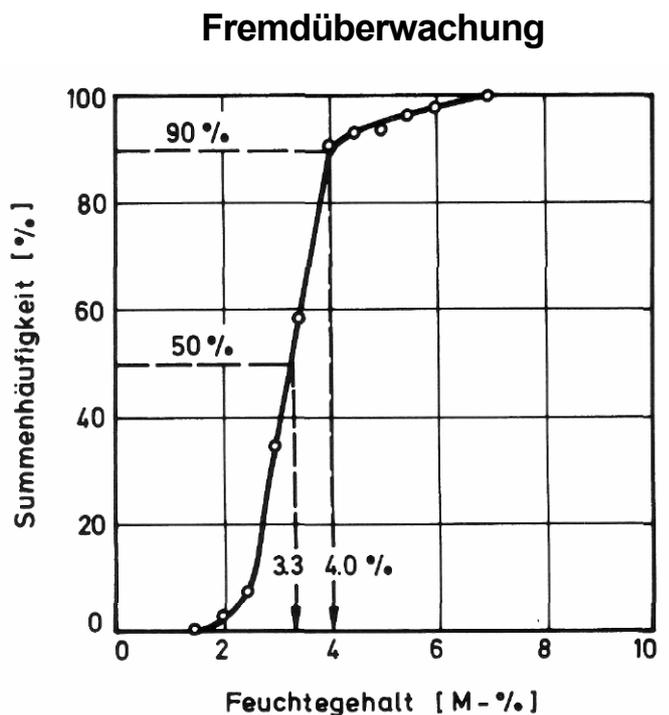
YTONG (63 Messungen): 4,5 M-%
 IBP (19 Messungen): 4,0 M-%

Dies gab den Anlass, für diesen geänderten Porenbeton kleinere Werte der Wärmeleitfähigkeit auf dem Wege der Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin, zu erreichen. Von dem zugelassenen Material, das heute von allen Porenbeton-Werken hergestellt wird, muss durch Eigen- und Fremdüberwachung ein Sorptionsfeuchtegehalt $u_{m,80}$ (Bezugsfeuchte) von mindestens 4,0 M-% nachgewiesen werden.

Eine statistische Auswertung der Fremdüberwachungswerte von sieben Werken der HEBEL AG und sechs Werken der YTONG AG aus den Jahren 1990 bis 1994 - insgesamt 55 Prüfwerte, jeweils ermittelt aus 3 Einzelwerten* - ergab folgendes:

90%-Fraktile: 4,0 M-%
 50%-Fraktile (häufigster Wert): 3,3 M-%

Der Verlauf der Summenhäufigkeit der ermittelten Sorptionswerte ist in Bild 4 dargestellt und lässt erkennen, dass die Streuung der Messwerte gering ist. Dies bedeutet, dass die Produktion sehr einheitlich und gezielt auf die reduzierte Bezugsfeuchte durchgeführt wird.



90%-Fraktile : 4,0 M-%
 (praktischer Feuchtegehalt)
 50%-Fraktile : 3,3 M-%
 (häufigster Wert)

Bild 4:

Summenhäufigkeit der mittleren Sorptionsfeuchte $u_{m,80}$ von Porenbeton-Plansteinen PP2 und PP4 aufgrund von 55 Messwerten aus der Fremdüberwachung 1990-1994 (HEBEL und YTONG).

*)Überwachende Stellen: Forschungsinstitut für Wärmeschutz München, Amtliche Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen Hannover, Forschungs- und Materialprüfungsamt Stuttgart

6. Zusammenfassung und Folgerungen

Das wesentliche Ergebnis der Praxisuntersuchungen an Außenwänden und Flachdächern aus Porenbeton - nämlich, dass deren Feuchtegehalt hauptsächlich durch die Wasserdampf-Sorption des Porenbetons bestimmt wird - lässt sich durch die Darstellung des mittleren Feuchtegehalts in Abhängigkeit von der mittleren relativen Feuchte der die unterschiedlichen Bauteile umgebenden Luft in Bild 5 zusammenfassen. In diesem Bild wurden von den geprüften unterschiedlichen Flachdachgruppen die jeweils am Ende einer Winterperiode festgestellten mittleren Feuchtegehalte den in der Winterperiode gemessenen mittleren Raumluftfeuchten gegenübergestellt. Da im Zusammenhang mit den Wandfeuchte-Untersuchungen keine Temperatur- und Luftfeuchtemessungen erfolgten, wurde in diesem Fall ein Feuchtwert von 70% angenommen, der sich als Mittelwert von 80% rel. Außenluftfeuchte und 60% rel. Raumluftfeuchte ergibt (beheizte und temperierte Räume). Wie aus Bild 5 zu erkennen, scharen sich die verschiedenen Konstruktionen repräsentierende Punkte um die eingezeichnete Sorptionskurve, die einen mittleren Verlauf von Porenbeton unterschiedlicher Herstellung und unterschiedlicher Rohdichte darstellt [8].

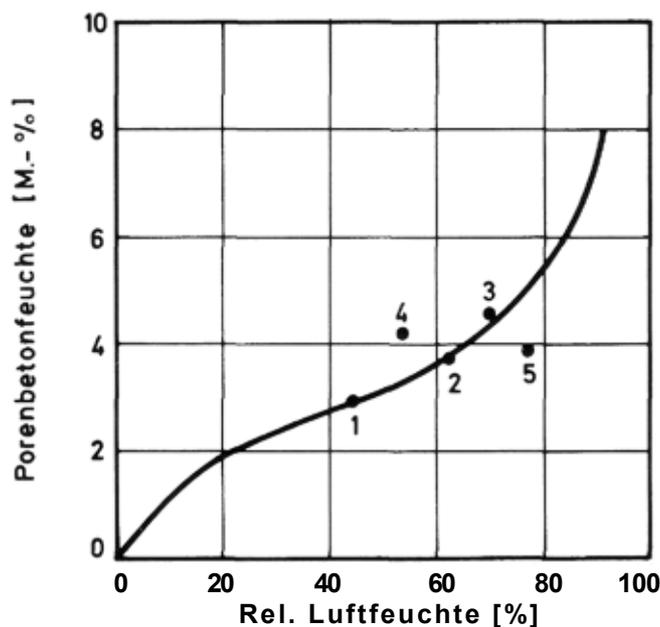


Bild 5:

Sorptionskurve für Porenbeton (Mittelwertkurve nach Untersuchungen an Porenbeton unterschiedlicher Rohdichte aus den fünfziger Jahren [8]) und Mittelwerte 1 bis 5 der Porenbetonfeuchte von Flachdächern und Außenwänden in Abhängigkeit von der angrenzenden Luftfeuchte.

- 1: 13 Messwerte von nicht belüfteten Dächern über beheizten Räumen ($> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 2: 10 Messwerte von nicht belüfteten Dächern über temperierten Räumen ($< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 3: 45 Messwerte von Außenwänden von beheizten und temperierten Räumen
- 4: 3 Messwerte von belüfteten Dächern über beheizten und temperierten Räumen
- 5: 3 Messwerte von nicht belüfteten Dächern über nicht beheizten Räumen

Die niedrigere Feuchte der über beheizten oder temperierten Räumen angeordneten Flachdächer im Vergleich zu den Außenwänden oder zu den belüfteten Flachdächern ist damit zu erklären, dass jene - von der Außenluft durch die Dachhaut abgesperrt - nur mit der Raumluft im Ausgleich stehen, deren relative Feuchte im Falle einer Beheizung oder Temperierung niedriger ist als die der Außenluft. Hierdurch wird nochmals überzeugend deutlich, dass die Sorptionseigenschaften von Porenbeton von entscheidendem Einfluss sind für die sich einstellenden Feuchteverhältnisse. Dass die Einflüsse der Regenfeuchte und der Wohnfeuchte demgegenüber gering sind, ist folgendermaßen zu erklären: Nachteilige Einwirkungen der Regenfeuchte kann man heute - und auch zum damaligen Zeitpunkt der Messungen - durch geeignete Außenputze und Beschichtungen bzw. Bekleidungen vermeiden. Infolge der weit über dem Mindestwärmeschutz liegenden Wärmedämmwerte von Außenbauteilen aus Porenbeton ist auch unter ungünstigen Bedingungen Tauwasserbildung an Bauteil-Oberflächen praktisch auszuschließen. Und schließlich führt Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen aus Porenbeton infolge eindiffundierter Raumluftfeuchte nicht zu den oft befürchteten Feuchteerhöhungen, wenn man allein Diffusionsvorgänge betrachtet.

Ein Transport von Feuchte ist in Bauteilen in flüssiger Form und in Dampfform möglich entsprechend den Kapillareigenschaften und der Dampfdurchlässigkeit des Baustoffes und der treibenden Kräfte (Feuchtegefälle, Dampfdruckgefälle). Die Dampfdurchlässigkeit ist leicht zu messen und der Diffusionstransport sowie Tauwasser- und Verdunstungsmenge relativ einfach mit dem Glaser-Verfahren zu berechnen. Für die Berechnung des Feuchte-transportes durch Kapillarleitung sind komplexere Rechenverfahren nötig.

Diese Situation der seit langem möglichen einfachen Berechnung von Diffusionsvorgängen führte zu einer Überbewertung des Diffusionstransports in der Praxis. In vielen Fällen - insbesondere bei monolithischen Wand- und Deckenkonstruktionen - ist der Diffusionstransport gering im Vergleich zum Transport durch Kapillarleitung. Wie eine aus Diffusion und Kapillarleitung kombinierte Feuchte erfolgt, ist schematisch am Beispiel eines nichtbelüfteten Porenbeton-Flachdaches im Bild 6 dargestellt.

Zu berücksichtigen ist, dass der Kapillartransport dem reinen Diffusionstransport im allgemeinen entgegenwirkt [9], [10]. Diffusionsberechnungen nach DIN 4108 Teil 3 [11] führen daher nicht zu realistischen Ergebnissen. Deshalb wird in der genannten Norm ausdrücklich ausgeführt, dass bei Außenwänden und nicht belüfteten Flachdächern aus Porenbeton der Feuchteschutz gewährleistet ist und dass ein diffusions-technischer Nachweis nicht zu führen ist. Dies gilt für Raumklimabedingungen, welche die DIN 4108 voraussetzt. Für davon abweichende Bedingungen sind gesonderte Überlegungen anzustellen.

In Bild 5 ist eine mittlere Sorptionskurve dargestellt, welche an Porenbeton früherer Herstellung ermittelt worden ist, entsprechend etwa den an den überprüften Bauten verwendeten Materialien. Die weitere technologische Entwicklung des Porenbetons führte - wie dargelegt - zu einer Reduzierung der Feuchteaufnahme durch Sorption (Bezugsfeuchtegehalt 4,0 M-% statt einem praktischen Feuchtegehalt von 6,5 M-% bzw. nach Norm 3,5 Vol-%). Dieser Erkenntnis wurde in der Ausgabe 1998 der DIN V 4108-4 dadurch Rechnung getragen, dass nun tatsächlich 6,5 Masse-% als praktischer Feuchtegehalt für Porenbeton gelten.

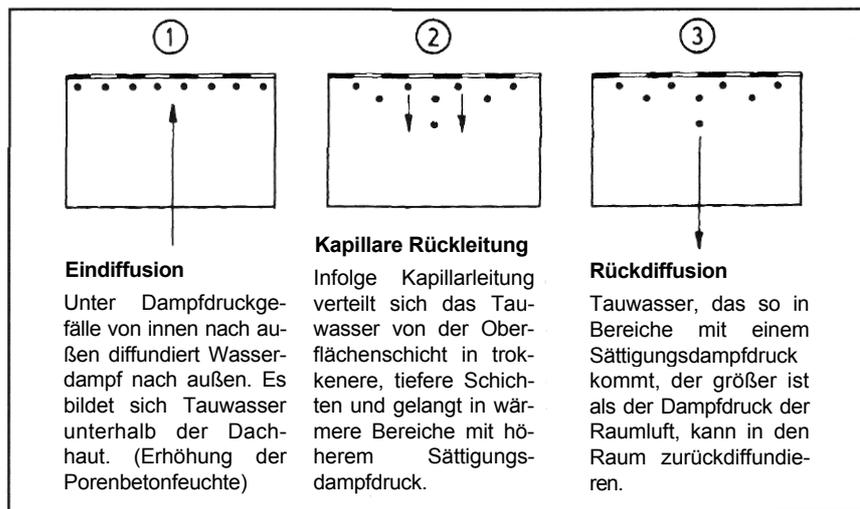


Bild 6:
Schematische Darstellung mit Erläuterung über den Feuchtetransport in nicht belüfteten Porenbeton-Flachdächern

Wenn auch die Ergebnisse der früheren Untersuchungen auf den heute hergestellten Porenbeton in quantitativer Hinsicht nicht zutreffen, so gelten doch die grundsätzlichen Aussagen und Zusammenhänge über das Verhalten von Porenbeton bei der Anwendung im Hochbau, die aus den umfangreichen Praxisuntersuchungen abgeleitet worden sind.

7. Literaturhinweise

- [1] DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Teil 4, Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte. Anhang A (1991)
- [2] Künzel, H.; Herold P.: Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden aus Gasbeton. Bericht 2 des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e. V. (1969). Gekürzte Fassung in Betonstein-Zeitung 35 (1969), H. 8, S. 493-495.
- [3] Künzel, H., Gertis, K.: Untersuchungen über die Feuchteverhältnisse in Dächern aus Gasbeton. Bericht 1 des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e. V. (1969). Gekürzte Fassung in Betonstein-Zeitung 35 (1969), H. 11, S. 660-662.
- [4] Künzel, H.: Zusammenhang zwischen der Feuchtigkeit von Außenbauteilen in der Praxis und den Sorptionseigenschaften der Baustoffe, Bauphysik 4 (1982), H. 3, S. 101-107.
- [5] DIN 52620, Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen (April 1991).
- [6] Künzel, H.: Bestimmt der volumen- oder der massebezogene Feuchtegehalt die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen? Bauphysik 8 (1986), H. 2, S. 33-39.
- [7] Künzel, H.; Hoffmann, D.: Beurteilung der Feuchteverhältnisse in Außenwänden aus YTONG. Gutachten des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. G Ho 28/1984.
- [8] Wißmann, W.: Über das Verhalten von Baustoffen gegen Feuchtigkeitseinwirkungen aus der umgebenden Luft. Diss. TH Darmstadt (1954).
- [9] Künzel, H.: Porenbeton, Wärme- und Feuchteschutz. Bericht 11 des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e. V. (1991, überarbeiteter Nachdruck 1994).
- [10] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart (1994).
- [11] DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung (1981).