

Schlagregenbeanspruchung von
Gebäuden und Beurteilung des
Schlagregenschutzes von Aussenputzen

F 1775

F 1775

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



BERICHT AUS DEM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK

B Ho 7/81

SCHLAGREGENBEANSPRUCHUNG VON GEBÄUDEN
UND BEURTEILUNG DES SCHLAGREGENSCHUTZES
VON AUSSENPUTZEN

Der Bundesminister für Wohnungsbau

*Abschluss - Zwischen - Bericht
zum Forschungs - Auftrag*

Az.: 315-800178-18 Eing.: 3.9.81

*Sammlung der
Forschungsberichte
des Referats*

Nr. *1775*

durchgeführt in der
Außenstelle Holzkirchen des
Fraunhofer-Instituts für Bauphysik

im Auftrag des
Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau

INSTITUT FÜR BAUPHYSIK STUTT GART

AUSSENSTELLE HOLZKIRCHEN

Amtlich anerkannte Prüf stelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten

Institutsleiter: Prof. Dr. F. P. Mechel

B Ho 7/81

Schlagregenbeanspruchung von Gebäuden und
Beurteilung des Schlagregenschutzes von
Außenputzen

Forschungsauftrag B I 5 - 80 01 78 - 18
(Kurztitel: Regenschutz von Außenwänden)

durchgeführt

in der Außenstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für
Bauphysik

im Auftrag des

Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau

Der Bericht umfaßt:
42 Seiten Text
2 Tabellen
29 Bilder

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Instituts
für Bauphysik gestattet.

Holzkirchen, 4.08.1981

Leiter der Außenstelle Holzkirchen



H. Künzel

(Dr.-Ing.H. Künzel)

Informationsverbundzentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft

Inventar-Nr. **F 1775** lfd. Nr. **81113322**



Schlagregenbeanspruchung von Gebäuden und
Beurteilung des Schlagregenschutzes von
Außenputzen

Dr.-Ing. H. Künzel

1. Ausgangsüberlegungen
2. Beurteilung der Schlagregenbeanspruchung
 - 2.1 Messungen im freien Gelände
 - 2.2 Messungen an Gebäuden
 - 2.3 Folgerungen
3. Materialtechnische Beurteilungsgrößen
 - 3.1 Wasseraufnahme
 - 3.2 Wasserabgabe
4. Beurteilung des Regenschutzes von Außenputzen mit geringer Wasseraufnahme
5. Zuordnungen zwischen der Schlagregen-Beanspruchung und den Regenschutz-Anforderungen an Außenputze
6. Meßtechnische Ermittlung der Beurteilungsgrößen
 - 6.1 Probenvorbehandlung
 - 6.2 Wasseraufnahmekoeffizient
 - 6.3 Diffusionsequivalente Luftschichtdicke
7. Zahlenmäßige Festlegung der Regenschutz-Anforderungen
 - 7.1 Wasserabweisende Außenputze
 - 7.2 Wasserhemmende Außenputze
 - 7.3 Zusammenfassung
8. Literaturhinweise

1. Ausgangsüberlegungen

Für die Konstruktion und Gestaltung unserer Bauten waren in der Vergangenheit die Erfordernisse des Regenschutzes schon immer ein wesentlicher Gesichtspunkt. Hieraus entwickelten sich bei den bodenständigen Bauarten große Dachüberstände oder weit heruntergezogene Dächer (alpenländisches Haus, Schwarzwälder Haus). In anderen Fällen wurden Wandbekleidungen aus Schieferplatten oder Holzschindeln verwendet oder - vorwiegend im norddeutschen Küstengebiet - zweischalige Wände gebaut.

Bei unseren modernen Bauten sind diese bewährten und mehr auf konstruktiven Maßnahmen beruhenden Prinzipien des Regenschutzes nicht alle oder nicht ausschließlich anwendbar. Ein großer Dachüberstand als Regenschutz ist bei Hochhäusern unmöglich. Die alleinige Verwendung von Außenbekleidungen würde zu einer Monotonie der Architektur führen. Man hat vielfach auch in der Euphorie des Wiederaufbaus mit neuen Baustoffen und Bauarten den Regenschutz "vergessen". Erhöhte Wandfeuchtigkeit, Feuchtigkeitsdurchschlag und nachträgliche Korrekturmaßnahmen waren die Folgen. Inzwischen bietet die chemische Bauteenschutzindustrie eine Vielzahl von Putzen und Putzzusätzen an, die in ihrer Wirkung den konstruktiven Maßnahmen des Regenschutzes gleichzustellen sind.

Die allseits erkannte Notwendigkeit, Energie zu sparen, verlangt nicht nur Baustoffe mit hoher Wärmedämmung, sondern auch trockene Baustoffe, um den vorgesehenen Wärmeschutz zu erzielen. Deshalb sind in der Neufassung der DIN 4108 auch Hinweise zur Verwirklichung eines ausreichenden Schlagregenschutzes für Außenwände enthalten.

Die Schlagregenbeanspruchung ist im Einzelfall schwer zu definieren, und der Schlagregenschutz von Außenputzen ist eine sehr komplexe und von vielen Einflüssen abhängige Größe, die keinesfalls durch einen einzigen Zahlenwert - wie z. B. beim Wärmeschutz die Wärmeleitfähigkeit - anzugeben ist. Trotz der bestehenden Schwierigkeiten ist man durch Vereinfachungen und Näherungen zu Regelungen gekommen, die zu einer Beurteilung der Schlagregenbeanspruchung und des Schlagregenschutzes im Sinne von Hinweisen führen.

In dieser Formulierung sind bereits die zwei wesentlichen Bewertungsgrößen angesprochen: Es geht darum, die Schlagregenbeanspruchung festzulegen und dann die erforderlichen Maßnahmen entsprechend der Beanspruchung zu wählen. Im Falle von Außenputzen bedeutet dies, daß die Wasseraufnahme bei Beregnung und die Wasserabgabe in den Trocknungsperioden so aufeinander abzustimmen sind, daß bei der gegebenen Beanspruchung auf Dauer keine unzulässige Feuchtigkeitserhöhung in der Außenwand auftritt.

In der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik wurden seit Mitte der fünfziger

Jahre Untersuchungen über die Schlagregenbeanspruchung allgemein und über den Schlagregenschutz von Außenputzen durchgeführt. In ebenem Gelände im Alpenvorland liegend, 680 m über NN, ist die Regenbeanspruchung dort besonders groß (Jahresniederschlagsmenge ca. 1000 mm). Die im folgenden dargelegten Zusammenhänge und Ergebnisse stammen im wesentlichen aus den Untersuchungen in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen.

2. Beurteilung der Schlagregenbeanspruchung

2.1 Messungen im freien Gelände

Unter Schlagregen versteht man die unter Windeinwirkung auf eine vertikale Wand auftreffende Regenmenge. Im Gegensatz hierzu wird im folgenden die auf eine Horizontalfläche auftreffende Regenmenge als "Normalregen" bezeichnet. Nach Lacy [1] besteht zwischen dem Schlagregen R_S , ermittelt mit Hilfe eines frei im Gelände aufgestellten Regennessers mit vertikaler Auffangfläche, und dem Normalregen R_N näherungsweise die Beziehung

$$R_S = a \cdot u \cdot R_N$$

wobei u die Windgeschwindigkeit [m/s] und a ein Proportionalitätsfaktor ist. Für diesen Faktor fand Lacy aus einer großen Zahl von Messungen den Wert 0,2 [s/m] .

Gleiche Messungen mit freistehenden Regennessern wurden in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen durchgeführt. Die verwendeten Regenauffanggefäße und Registriergeräte sind in einer früheren Arbeit beschrieben [2] . Die Ergebnisse

enthalten die Bilder 1 bis 3. In Bild 1 ist das Verhältnis R_S/R_N in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit dargestellt. Eine gewisse Streuung der Meßwerte ist durch unterschiedliche Regenintensitäten gegeben: Bei geringer Intensität ist das Verhältnis R_S/R_N in der Regel größer als bei hoher Intensität. Die durch die Meßpunkte gelegte mittlere Gerade hat die Steigung $a = 0,23 \text{ s/m}$, die dem in der obigen Gleichung angegebenen Proportionalitätsfaktor entspricht. Dieser Faktor ändert sich - abhängig von der Intensität - im Bereich zwischen $0,25$ und $0,15 \text{ s/m}$, wie aus Bild 2 zu ersehen ist. Dies bedeutet, daß bei gleicher Windgeschwindigkeit mit zunehmender Regenintensität die Schlagregenkomponente etwas kleiner wird. Dies kann damit zusammenhängen, daß eine größere Regenintensität vielfach durch größere Regentropfen verursacht wird, bei denen die Windkräfte weniger wirksam sind.

Der Einfallswinkel des Schlagregens auf die vertikale Auffangfläche des freistehenden Regenmessers, ermittelt aus den Verhältnissen R_S/R_N bei verschiedenen Regenfällen, ist in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in Bild 3 dargestellt. Man erkennt, daß bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s der Regeneinfallswinkel 45° beträgt; die Intensitäten von Normalregen und Schlagregen sind dann gleich groß.

Als wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist festzuhalten, daß der Schlagregen proportional dem Produkt aus Normalregen und Windgeschwindigkeit ist. Nachdem sich bei den Messungen in England wie bei den eigenen Messungen übereinstimmend ein Proportionalitätsfaktor von rund $0,2$

ergeben hat, erübrigen sich weitere Messungen an anderen Orten. Die genaue Größe dieses Proportionalitätsfaktors ist außerdem weniger interessant, da die tatsächliche Schlagregenbeanspruchung eines Gebäudes viel mehr durch andere Einflüsse mitbestimmt wird, wie im nächsten Abschnitt ausgeführt wird.

Für die später noch zu behandelnde Beurteilung des Regenschutzes von Außenputzen sind Kenntnisse über die durchschnittliche Intensität und Dauer von Schlagregenfällen von Interesse. Messungen hierüber erfolgten mit einem im Institut gebauten Klassiergerät zur Erfassung des Schlagregens [3]. Als Schlagregendauer zählte dabei die Registrierdauer des Schlagregennessers, der auf eine Intensität von 0,004 mm/min ansprach. Dabei waren Regenunterbrechungen unter zwölf Stunden möglich, die aber dann nicht als Regendauer gezählt wurden. Erst nach einer Regenunterbrechung von über zwölf Stunden wurde der dann einsetzende Regen als "neuer Regenfall" registriert. Eine Regendauer von insgesamt zehn Stunden konnte sich mit Unterbrechungen unter zwölf Stunden somit über eine längere Zeit hinziehen.

Als Ergebnis der über ein Jahr sich erstreckenden Untersuchungen ist folgendes festzustellen (Bild 4): Rund 80 % der Schlagregenfälle wiesen eine Intensität größer als 0,2 mm/h auf. Die häufigste Intensität (50 % - Wert) lag bei 0,7 mm/h. Eine Regenintensität von 3 mm/h wurde nur in 10 % der Fälle überschritten.

Über die Regendauer ist aus Bild 5 folgendes zu entnehmen: 80 % aller Regenfälle dauerten länger als zwei Stunden. Die häufigste Regendauer war rund fünf Stunden. Eine

Regendauer von zwölf Stunden wurde nur in 10 % der Fälle überschritten und Regendauern über 24 Stunden traten nicht auf.

2.2 Messungen an Gebäuden

Jedes Gebäude stört die als Wind auftretende Luftströmung; es muß umströmt werden. Dadurch treten in Gebäudenähe ganz andere Strömungsrichtungen und Geschwindigkeiten auf als im ungestörten Bereich vor dem Gebäude. Durch die gebäudenähe Strömung wird auch der Weg der von der Luftströmung mitgeführten Regentropfen beeinflusst. Bild 6 zeigt den Stromlinienverlauf eines senkrecht angeströmten Gebäudemodells nach Ermittlungen im Windkanal. Es ist einleuchtend, daß durch die Zusammendrängung der Stromlinien am oberen Gebäuderand auch der mitgeführte Regen "verdichtet" wird, so daß die Schlagregenbelastung an den Rändern - oben wie seitlich - größer ist als im übrigen Fassadenbereich.

Das hierdurch bedingte Ausmaß der unterschiedlichen Schlagregenbeanspruchung einer Fassade zeigen die in Bild 7 dargestellten Meßergebnisse, gewonnen an einem hohen Gebäude am Stadtrand von München [5]. Wie sich die Schlagregenbeanspruchung bei Annäherung an ein Gebäude, sowie in verschiedenen Höhen am und vor dem Gebäude ändert, ist aus Messungen an einem Testhaus auf dem Versuchsgelände Holzkirchen ersichtlich, deren Ergebnisse in Bild 8 dargestellt sind [6]. Auf Grund dieser Ergebnisse kann man aussagen, daß die im mittleren Fassadenbereich - ausgenommen die Ränder - auftreffende Schlagregenmenge etwa halb so groß ist wie die mit einem freistehenden Regenschirm ermittelte Schlagregenmenge im ungestörten Bereich vor dem Gebäude.

Eine ausführliche Darstellung der Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden ist in [7] auf Grund des Schrifttums bis zum Jahr 1972 gegeben.

2.3 Folgerungen

Auf Grund des in Abschnitt 2.1 dargelegten Zusammenhangs zwischen Schlagregen, Normalregen und Wind haben Lacy und Shellard [8] vorgeschlagen, die Schlagregenbeanspruchung regional zu kennzeichnen durch den Schlagregenindex, der folgendermaßen definiert ist:

$$\begin{array}{l} \text{Index} \\ [\text{m}^2/\text{s}] \end{array} = \begin{array}{l} \text{mittlere, jährliche} \\ \text{Regensumme [m]} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Jahresmittel der} \\ \text{Windgeschwindigkeit} \\ \text{[m/s]} \end{array}$$

Je nach der Größe des Schlagregenindex wird die Schlagregenbeanspruchung bewertet nach folgendem Schlüssel:

Index 0 - 3	: geringe Beanspruchung	(sheltered)
Index 3 - 7	: mittlere Beanspruchung	(moderate)
Index > 7	: starke Beanspruchung	(severe)

Nach dieser Einteilung wurde eine Schlagregenkarte für Großbritannien entworfen, die nach maßgeblicher Aussage die tatsächlichen Verhältnisse auf Grund der örtlichen Erfahrungen gut trifft: an die Westküsten grenzende Landstreifen von England, Schottland und Irland sind stark beansprucht; die östlich angrenzenden Gebiete zählen zur mittleren Beanspruchung; lediglich ein Teil von Südenland mit Schwerpunkt London gilt als gering beansprucht.

Eine nach dem gleichen Prinzip vom Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach erstellte Karte für die Bundesrepublik führte zu einer Einteilung [9], die mit den wirklichen Verhältnissen schlecht zu vereinbaren war: Nur ein schmaler Streifen des norddeutschen Küstengebietes - nördlich von Bremen und Hamburg - und die höheren Mittelgebirge würden demnach einer mittleren Schlagregenbeanspruchung unterliegen. Das ganze Alpenvorland müßte die Einstufung "geringe Beanspruchung" erhalten, und nur im Hochgebirge wären einige Stellen mit starker Beanspruchung zu finden.

Die Ursache dieser Diskrepanz gegenüber den Erfahrungen liegt wohl darin, daß das Produkt aus dem Jahresniederschlag und dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit für unser Gebiet keine ausreichende Kennzeichnung der Schlagregenverhältnisse ergibt. Besonders im Binnenland gibt es häufig Perioden mit geringer Windgeschwindigkeit, die sich auf das Jahresmittel auswirken. Aber in Regenperioden treten meist höhere Windgeschwindigkeiten auf, die dann eine stärkere Schlagregenbeanspruchung zur Folge haben, als nach der "Index-Methode" abgeschätzt. Ähnliche Diskrepanzen dieser Methode mit den praktischen Erfahrungen wurden auch in anderen Ländern festgestellt. Diese Methode trifft offenbar nur für das dem Festland vorgelagerte Großbritannien zu, wo ständig ein mehr oder weniger starker Wind weht.

Um die Schlagregenverhältnisse in Deutschland regional zu beurteilen, wurde daher eine Regenkarte entworfen, die sich allein auf die jährlichen Niederschlagsmengen stützt

(Normalregen)[10]. Dies geschah aus der Überlegung heraus, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schlagregen um so größer ist, je größer die Gesamtniederschlagsmenge ist. Danach erfolgte eine Einteilung in drei Regengebiete:

- Regengebiet I : Gebiete mit Jahresniederschlägen unter 550 mm
- Regengebiet II : Gebiete mit Jahresniederschlägen zwischen 550 mm und 700 bzw. 800 mm
- Regengebiet III : Gebiete mit Jahresniederschlägen oberhalb 53. Breitengrad ü. 700 mm unterhalb 53. Breitengrad ü. 800 mm.

Im Hinblick auf die höhere Windgeschwindigkeit im Küstengebiet wurden die Regenmengen oberhalb und unterhalb des 53. Breitengrades anders bewertet. Die so entstandene Karte der Regengebiete zeigt Bild 9. Die Gebietseinteilung für Ostdeutschland entspricht weitgehend einer von Eichler gegebenen Einteilung [11].

Da die Schlagregenbeanspruchung eines Gebäudes außer von den großräumigen klimatischen Bedingungen auch von der örtlichen Lage sowie der Gebäudeform und insbesondere der Gebäudehöhe abhängt, ist eine starre gebietsmäßige Einteilung sicher nicht sinnvoll, sondern kann nur als Anhalt dienen. So ist auch die Schlagregenkarte in Bild 9 zu verstehen. Um die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigen zu können, ist anstelle von Regengebieten die Festlegung von Beanspruchungsgruppen hinsichtlich des Schlagregens sinnvoll. Für diese Festlegung gelten folgende Hinweise nach der Fassung in DIN 4108, Teil 3 [12]:

Beanspruchungsgruppe I

Geringe Schlagregenbeanspruchung:

Im allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm sowie besonders windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen.

Beanspruchungsgruppe II

Mittlere Schlagregenbeanspruchung:

Im allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen von 600 bis 800 mm sowie windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen. Hochhäuser und Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die auf Grund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer geringen Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.

Beanspruchungsgruppe III

Starke Schlagregenbeanspruchung:

Im allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen über 800 mm sowie windreiche Gebiete auch mit geringeren Niederschlagsmengen (z. B. Küstengebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen, Alpenvorland). Hochhäuser und Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die auf Grund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer mittleren Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.

3. Materialtechnische Beurteilungsgrößen

3.1 Wasseraufnahme

Zur Ermittlung der Wasseraufnahme von berechneten Außenwänden aus porigem Material wurden im Laufe der Forschung

auf diesem Gebiet verschiedene Methoden angewandt, die hier nicht im einzelnen, sondern nur in den Grundzügen erwähnt werden sollen. Das Bestreben, derartige Versuche möglichst den natürlichen Verhältnissen entsprechend vorzunehmen, führte zur Konstruktion von "Schlagregenboxen", mit Berieselung von Wandproben auf der Außenseite und gleichzeitigem Aufrechterhalten eines konstanten oder wechselnden Überdrucks [z.B. 13, 14, 15]. Derartige Untersuchungen sind ziemlich aufwendig und mehr für Forschungs- als für Prüfzwecke geeignet.

An kleineren Proben führte Albrecht im Labor Berieselungsversuche durch, wobei das Wasser aus Sprühdüsen mit einem gewissen Überdruck auf die um 78° gegen die Horizontale geneigten Proben auftraf [16]. Wesche, Granholm [17, 18] und andere beurteilten die Wasseraufnahme von Putzen dadurch, daß sie auf die Putzflächen Glaszylinder aufbrachten, die - mit Wasser gefüllt - die Durchfeuchtung einer begrenzten Putzfläche bei Überdruck erkennen ließen.

Schließlich setzte sich als einfachste und für die Beurteilung der kapillaren Wasseraufnahme zutreffende Methode ein Saugversuch bei Eintauchen der zu beurteilenden Probenoberfläche in Wasser durch [6, 19]. Die durch zeitweiliges Wägen der Probe ermittelte Wasseraufnahme W folgt bei porösen, mineralischen Stoffen der Gleichung

$$W = w \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

mit den Bezeichnungen

- W : Wasseraufnahme [kg/m^2]
- w : Wasseraufnahmekoeffizient [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$]
- t : Zeit [h]

Eingehende Untersuchungen bei verschiedenen Randbedingungen bestätigten, daß bei den gebräuchlichen Baustoffen - insbesondere bei Putzen - und der dabei vorhandenen Kapillarstruktur die Kapillarkräfte die praktisch allein bestimmende Größe für die Wasseraufnahme sind. Die Schwerkraft und der Staudruck, die als weitere Einflußgrößen für die Wasseraufnahme zu betrachten sind, haben bei Baustoffen mit Kapillaren bis etwa 0,1 mm keine merkliche Bedeutung. Deshalb ergibt bei Baustoffen der üblichen Porrigkeit (nicht bei haufwerksporigen Stoffen) ein Saugversuch wie oben beschrieben, bei dem sich das Wasser entgegen der Schwerkraft bewegt, praktisch die gleichen Ergebnisse wie bei einem Berieselungsversuch oder einem Wasseraufnahmeversuch mit Überdruck. Die entsprechenden Untersuchungen wurden bei automatischer Registrierung der Wasseraufnahme, also nicht durch zeitweiliges Wägen mit Unterbrechung des Wasseraufnahmeprozesses, durchgeführt und sind in [6] näher beschrieben. Die Ergebnisse von Messungen an Vollziegel und Gasbeton, Baustoffe mit unterschiedlicher Kapillarstruktur, sind in Tabelle 1 dargestellt und lassen erkennen, daß die Unterschiede bei den verschiedenen Meßmethoden praktisch im Rahmen der Meßgenauigkeit liegen.

Auch Untersuchungen an Putzen ohne und mit wasserabweisenden Zusätzen (Metallseifen) erbrachten keinen Einfluß des Überdrucks. Diese Versuche wurden bis zu einem Überdruck von 60 mm Wassersäule durchgeführt, der einem maximalen Staudruck bei einer Windgeschwindigkeit von 30 m/s (110 km/h) entspricht*. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2

*)

Bei den Versuchen mit Überdruck wurden die kreisrunden Proben in nach oben überstehende Blechreifen eingedichtet. Die eingefüllte Wasserhöhe bestimmte den jeweiligen Überdruck. In diesem Falle erfolgte somit die Wasseraufnahme unter Mitwirkung der Schwerkraft.

aufgeführt. Die mit zunehmendem Überdruck sogar z. T. abnehmende Wasseraufnahme hat folgende Ursache: Die Versuche wurden zeitlich nacheinander mit zunehmendem Überdruck nach Wiederaustrocknung an jeweils denselben Proben durchgeführt. Trotz vorangegangener Feuchtigkeitsbehandlung haben sich die Proben durch die Befeuchtung beim neuerlichen Versuch - insbesondere beim nicht und schwach hydrophobierten Putz - verändert.

Diese Ergebnisse zeigen, daß es zur Kennzeichnung der Wasseraufnahme von porigen Baustoffen bei Kontakt mit flüssigem Wasser ohne oder mit Überdruck völlig ausreichend ist, einen Saugversuch (entgegen der Schwerkraft) bei Eintauchen der Probenoberfläche in Wasser vorzunehmen bei gravimetrischer Bestimmung der Wasseraufnahme.

Bei Stoffen, deren Struktur sich durch die Wasserbenetzung beim Saugversuch ändern, z. B. infolge von Quellung, ergibt sich keine lineare Abhängigkeit zwischen der gravimetrisch ermittelten Wasseraufnahme und der Quadratwurzel der Zeit. Dies ist z. B. bei manchen Kunstharzputzen der Fall. In der Regel nimmt bei solchen Putzen die Wasseraufnahme mit zunehmender Saugzeit ab (siehe hierzu auch Abschnitt 6.1).

3.2 Wasserabgabe (Trocknung)

In porösen Stoffen ist ein Feuchtigkeitstransport in flüssiger Form und in Dampfform möglich. Der Feuchtigkeitstransport in flüssiger Form durch Kapillarkräfte ist abhängig vom Feuchtigkeitsgefälle in der Probe ($\Psi_1 - \Psi_2$) und dem Wasser-

leitkoeffizienten nach folgender Beziehung:

$$g_w = \kappa(\Psi_1 - \Psi_2) \quad (2)$$

mit den Bezeichnungen:

- g_w : Wassertransport [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$]
- κ : Wasserleitkoeffizient [m/h]
- Ψ : Feuchtegehalt [kg/m^3]

Der Wasserleitkoeffizient κ ist keine Konstante, sondern hängt vom Feuchtegehalt Ψ ab. Bei hoher Feuchte, wenn alle Poren mit Wasser gefüllt sind, ist der Wasserleitkoeffizient groß. Mit abnehmender Feuchte werden in zunehmendem Maße die größeren Kapillaren von Wasser frei. Der Wassertransport, der dann nur noch durch die engeren Kapillaren erfolgen kann, nimmt stark ab, und damit wird der Wasserleitkoeffizient κ kleiner und geht schließlich gegen Null. Krischer hat hierüber eingehende Überlegungen und Untersuchungen durchgeführt [20]. Da nur von wenigen Baustoffen die Abhängigkeit des Wasserleitkoeffizienten vom Feuchtegehalt bekannt ist, sind Berechnungen über den kapillaren Wassertransport - z. B. bei Trocknungsvorgängen - im allgemeinen nicht möglich.

Ein Sonderfall des kapillaren Wassertransports ist die durch Gleichung 1 beschriebene Wasseraufnahme eines trockenen Stoffes bei unmittelbarem Kontakt mit flüssigem Wasser. In diesem Sonderfall kann der Wasseraufnahmekoeffizient w als Materialkonstante betrachtet werden.

Der Wassertransport in Dampfform (Wasserdampf-Diffusion) ist abhängig vom Dampfdruckgefälle ($p_1 - p_2$), vom Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten des Materials und dessen Dicke nach der Beziehung:

$$i = \frac{\delta}{s} (p_1 - p_2) \quad (3)$$

mit den Bezeichnungen:

- i : Wasserdampf-Diffusionsstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$]
- δ : Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient [$\text{kg}/(\text{mhPa})$]
- s : Schichtdicke [m]
- p : Wasserdampf-Partialdruck [Pa]

Unter Verwendung des Diffusionsleitkoeffizienten von Luft δ_L und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ [-], die angibt, wieviel Mal der Diffusionswiderstand des betreffenden Materials größer ist als der einer gleich dicken Luftschicht, läßt sich Beziehung 3 folgendermaßen ausdrücken:

$$i = \frac{\delta_L}{\mu s} (p_1 - p_2) = \frac{\delta_L}{s_d} (p_1 - p_2) \quad (4)$$

$s_d = \mu s$ wird diffusionsequivalente Luftschichtdicke genannt. Sie gibt an, wie dick eine Luftschicht in m sein müßte, um den gleichen Diffusionswiderstand wie die vorgegebene Materialschicht zu haben.

Die Trocknung von porösen, hygroskopischen Stoffen wird durch ein Zusammenwirken beider Arten der Feuchtigkeitsbewegung bestimmt. Man unterscheidet hierbei drei hinsichtlich der physikalischen Vorgänge verschiedene Abschnitte:

Im 1. Trocknungsabschnitt ist die Trocknungsgeschwindigkeit konstant und lediglich abhängig von der Temperatur der trocknenden Oberfläche und dem äußeren Luftzustand (Temperatur, Feuchtigkeit und Bewegung der Luft). Dies gilt, solange durch Kapillarkräfte aus dem Materialinnern soviel Feuchtigkeit an die Oberfläche geleitet wird, daß dort Sättigungsdampfdruck herrscht. Dieser Zustand ändert sich, wenn die Menisken der wassergefüllten Kapillaren von der Oberfläche ins Innere des Materials zurücktreten oder - anders ausgedrückt - wenn sich der Trocknungsspiegel von der Oberfläche ins Innere verlagert. Nun verringert sich, je weiter der Trocknungsspiegel zurücktritt, die Austrocknungsgeschwindigkeit mehr und mehr, da der Wasserdampf den wachsenden Diffusionswiderstand der trockenen Materialschicht bis zur Außenluft überwinden muß. Die Verhältnisse in diesem 2. Trocknungsabschnitt, der sich vom 1. durch einen ausgeprägten Knickpunkt in der Trocknungsgeschwindigkeit unterscheidet, werden durch die Eigenschaften der Flüssigkeitsleitung und Dampfdiffusion im Material wesentlich bestimmt.

Bei hygroskopischen Stoffen zeichnet sich, wenn in der Probe kein "freies Wasser" mehr enthalten ist, also im hygroskopischen Feuchtigkeitsbereich ein 2. Knickpunkt im Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit ab, der den 3. Trocknungsabschnitt einleitet. Nunmehr erfolgt die Feuchtigkeitsbewegung praktisch nur noch durch Diffusion. Das erneute stärkere Absinken der Trocknungsgeschwindigkeit ist durch die nun auftretende Dampfdruckerniedrigung in den Kapillaren bedingt. Die Trocknung ist beendet, wenn das Material Gleichgewichtsfeuchtigkeit mit der Außenluft erreicht hat. Eine schematische Darstellung des Trocknungsverlaufs gibt Bild 10.

Außenputze mit wasserabweisenden Zusatzmitteln sowie Kunstharzputze haben eine geringe kapillare Leitfähigkeit. Solche Putze werden nach Beregnung an der Oberfläche relativ rasch abtrocknen, so daß der Trocknungsverlauf hauptsächlich durch die Verhältnisse im 2. Trocknungsabschnitt bestimmt wird.

Frühere Untersuchungen [21] haben ergeben, daß die Trocknung feuchten Mauerwerks durch mineralische Außenputze mit hydrophobierenden Zusatzmitteln hindurch überwiegend durch Diffusion erfolgt und damit durch die Diffusionseigenschaften der Putze zu kennzeichnen ist. Bei diesen Untersuchungen wurden kreisrunde Putzproben von 19 cm Durchmesser und 2 cm Dicke hergestellt. Nach Ermitteln der Wasserdampfdurchlässigkeit wurde auf die Rückseite der Putzproben in einer entsprechenden Form eine 3 cm dicke Gipsschicht aufgegossen, die ein saugfähiges Mauerwerk ersetzen sollte. Nach Trocknung der Gips- und Putzschicht und seitlichem Abdichten wurde rückseitig in die Gipsschicht jeweils 200 g Wasser eingebracht (entsprechend 23 Vol-%, bezogen auf die Gipsschicht) und auch die Gipsoberfläche abgedichtet. Das Wasser konnte aus der feuchten Gipsschicht nur durch den Außenputz hindurch entsprechend dessen Eigenschaften der Kapillarleitung und Dampfdiffusion an die umgebende Luft in einem Klimaraum (25°C, 55 % r.F.) abgegeben werden. Die gravimetrisch ermittelte Austrocknungsgeschwindigkeit in den ersten drei Tagen in Abhängigkeit vom Diffusionswiderstand der Putze ist in Bild 11 dargestellt, in dem auch die allein auf Grund von Wasserdampf-Diffusion zu erwartende, rechnerisch ermittelte Trocknungsgeschwindigkeit angegeben ist. Die Ergebnisse in Bild 11 lassen erkennen, daß bei Außenputzen mit hydrophobierenden Zusatzmitteln, die einen Wasseraufnahmekoeffizienten w zwischen 0,05 und $0,3 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0,5}$ hatten, die Trocknung vorwiegend durch Wasser-

dampf-Diffusion erfolgt; der Kapillaranteil ist kleiner oder höchstens gleich groß wie der Diffusionsanteil. Bei Außenputzen mit größeren Wasseraufnahmekoeffizienten (ohne Zusatzmittel) überwiegt bei den gegebenen Versuchsbedingungen der Kapillaranteil bei der Trocknung gegenüber dem Diffusionsanteil, z. T. bis etwa um den Faktor 10.

Gleiche Untersuchungen liegen von Kunstharzputzen nicht vor. Hier tritt an Stelle eines Feuchtigkeitstransports durch Kapillarleitung, die bei Kunstharzputzen praktisch nicht vorhanden ist, ein Feuchtigkeitstransport durch Wasserquellung, zusätzlich zum Feuchtigkeitstransport durch Wasserdampf-Diffusion. Messungen der Wasserdampfdurchlässigkeit an Kunstharzanstrichen und -putzen auf Gasbeton als Trägermaterial, durchgeführt nach dem Trockenbereichverfahren und dem Feuchtbereichverfahren nach DIN 52 615 [22] geben Auskunft über die Wirkung von Quellvorgängen auf den Wassertransport durch Kunstharzbeschichtungen. Eine Darstellung von Meßergebnissen in Bild 12 zeigt, daß sich mit zunehmendem Diffusionswiderstand der Beschichtung die Ergebnisse nach beiden Verfahren unterscheiden: Bei s_d -Werten von 2 bis 3 m und mehr nach dem Trockenbereichverfahren betragen die Werte nach dem Feuchtbereichverfahren nur 25 % bis 50 % der Werte nach dem Trockenbereichverfahren.

Zur Erläuterung dieses Unterschieds sind einige Betrachtungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse bei Messungen nach den beiden Diffusions-Meßverfahren notwendig. Hierzu wird in Bild 13 eine schematische Darstellung eines Diffusionsgefäßes gegeben. Beim Trockenbereichverfahren wird in das Gefäß ein Trocknungsmittel, z. B. Silicagel, eingebracht, über dem sich eine rel. Luftfeuchte von 3 % einstellt. Beim

Feuchtbereichverfahren wird z. B. eine gesättigte Wasserlösung von Ammoniumdihydrogenphosphat verwendet mit 93 % rel. Luftfeuchte. Das Feuchtigkeitsgefälle von Absorptions- oder Desorptionsmittel zum Feuchtegehalt im Klimaraum (50 % r.F.) teilt sich über Luftschicht, Gasbeton und Putzschicht entsprechend deren Diffusionswiderstände auf. In Bild 13, rechts, sind die Feuchtigkeitsverhältnisse an den einzelnen Grenzsichten beim Trockenbereichverfahren und beim Feuchtbereichverfahren im Falle einer Beschichtung mit $s_d = 0,5$ m auf Gasbeton dargestellt. Entscheidend ist, daß sich beim Feuchtbereichverfahren in dem gegebenen Fall eine rel. Luftfeuchte an der Grenzfläche Gasbeton-Putz von 80 % bis 50 % einstellt. Bei diesen Feuchtigkeitsverhältnissen kann ein gewisser zusätzlicher Feuchtetransport durch Quellung in Diffusionsrichtung stattfinden. Beim Trockenbereichverfahren stellt sich demgegenüber ein Feuchtegefälle entgegen der Diffusionsrichtung ein. Bei den geringen rel. Feuchtigkeitswerten (50 % bis 17 %) ist jedoch kaum mit einem Feuchtetransport durch Quellung zu rechnen. Bei dichterem Kunstharzputzen nimmt die Quellmöglichkeit beim Feuchtbereichverfahren zu und beim Trockenbereichverfahren noch weiter ab.

Die Zunahme der Luftfeuchte und der Gasbetonfeuchte an der Grenzfläche zwischen Gasbeton und Kunstharzputz beim Feuchtbereichverfahren in Abhängigkeit vom Diffusionswiderstand des Putzes ist in Bild 14 dargestellt. Die rel. Luftfeuchte wurde dabei auf Grund der Diffusionswiderstandsverhältnisse entsprechend Bild 13 ermittelt; die Gasbetonfeuchte ergibt sich aus den Sorptionsisothermen des verwendeten Gasbetons in Bild 15.

Diese Ergebnisse können hinsichtlich der praktischen Konsequenz folgendermaßen interpretiert werden: Der Feuchtegehalt von "normal" trockenem Gasbeton (der häufigste Wert bei statistischen Ermittlungen) liegt nach Messungen an Außenwänden langjährig bewohnter Gebäude bei 2,5 Vol-% [23]. Nach Bild 14 tritt dieser Feuchtegehalt bei einem Diffusionsversuch nach dem Feuchtbereichverfahren bei einer diffusionsequivalenten Luftschichtdicke von $s_d=0,5$ m auf. Aus Bild 12 ist ersichtlich, daß bei $s_d=0,5$ m (Trockenbereichverfahren) der Unterschied zwischen den beiden Meßverfahren (trocken-feucht) nicht groß ist. Erst bei größeren s_d -Werten, die beim Diffusionsversuch nach dem Feuchtbereichverfahren einen höheren Gasbetonfeuchtegehalt als 2,5 Vol-% zur Folge haben, wird der Unterschied in den Ergebnissen der beiden Verfahren deutlich. Da man bei Betrachtungen über die Trocknung von Wänden nach Schlagregenbeanspruchung davon ausgehen kann, daß das Wandmaterial unterhalb des Putzes einen erhöhten Feuchtegehalt aufweist, ist es gerechtfertigt, die Beurteilung des Trocknungsverhaltens von quellfähigen Beschichtungen auf Grund von Diffusionsmessungen nach dem Feuchtbereichverfahren vorzunehmen.

Zusammenfassend ist hinsichtlich der Beurteilung des Trocknungsverhaltens von verputzten Wänden nach Schlagregenbeanspruchung folgendes festzustellen: Ein Feuchtigkeitstransport durch Kapillarleitung tritt nur vorübergehend und bei Putzen mit größerer Kapillarleitfähigkeit auf. Da es bei der vorliegenden Problemstellung im wesentlichen auf die Beurteilung des Hydrophobierungsgrades von Putzen mit Zusatzmitteln ankommt - also im wesentlichen um eine Entschei-

dung zwischen dem Prädikat "wasserabweisend" oder "wasserhemmend" (siehe Abschnitt 5) - kann vereinfachend die Kapillarleitfähigkeit der Putze unberücksichtigt bleiben und das Trocknungsverhalten nur durch die Wasserdampf-Durchlässigkeit der Putzschicht beurteilt werden.

Die Wasserdampf-Durchlässigkeit kann nach DIN 52 615 nach dem Trockenbereichverfahren oder nach dem Feuchtbereichverfahren ermittelt werden. Die Ergebnisse nach den beiden Verfahren unterscheiden sich bei mineralischen Putzen mit hydrophobierenden Zusatzmitteln und bei relativ durchlässigen Kunstharzbeschichtungen auf einem Trägermaterial nicht oder nur geringfügig voneinander. Bei dichteren, quellfähigen Kunstharzputzen auf einem Trägermaterial ergeben Messungen nach dem Feuchtbereichverfahren deutlich niedrigere s_d -Werte als Messungen nach dem Trockenbereichverfahren.

4. Beurteilung des Regenschutzes von Außenputzen mit geringer Wasseraufnahme

Bedingung für einen ausreichenden Regenschutz einer Wand ist allgemein, daß im Mittel die in Regenperioden aufgenommene Wassermenge in den jeweils zur Verfügung stehenden Trocknungsperioden wieder abgegeben wird. Ist dies nicht der Fall, dann ist im Laufe der Zeit mit einer stetigen Feuchtigkeitszunahme der Außenwand zu rechnen, die bis zur Wassersättigung des Wandbaustoffes führen kann. Ist die Wasseraufnahme bei Berechnung kleiner als die mögliche Wasserabgabe in den Trocknungsperioden, dann kann zusätzlich eine vorhandene, erhöhte Anfangsfeuchtigkeit (Baufeuchtigkeit) aus der Wand abgeführt werden, so daß die Wand trotz zeitweiliger Beregnung austrocknen kann. Schematisch sind diese Verhältnisse in Bild 16 veranschaulicht.

Bei den vielfältigen und zeitlich veränderlichen Einflüssen, welche die Feuchtigkeitsverhältnisse in beregneten Außenwänden bestimmen, ist eine exakte rechnerische Erfassung dieser Verhältnisse nicht möglich. Wohl können aber unter vereinfachenden Annahmen gewisse Zusammenhänge ermittelt werden, die zur Beurteilung des Regenschutzes einer Wand geeignet sind. Diese vereinfachenden Annahmen sind einmal, daß die Wasseraufnahme nur durch den Wasseraufnahmekoeffizienten bestimmt wird und daß die Wasserabgabe nur durch Dampfdiffusion erfolgt. Beide Annahmen sind ungünstiger als die tatsächlichen Verhältnisse. So wird z. B. die Wasseraufnahme bei Beregnung nur dann durch den Wasseraufnahmekoeffizienten beschrieben, wenn an der Putzoberfläche ein geschlossener

Wasserfilm vorhanden ist. Dies kann bei mittleren Schlagregenfällen nur bei wenig saugfähigen Außenputzen ($w \leq 1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$) als zutreffend angesehen werden. Bei stärker saugfähigen Oberflächen wird die Wasseraufnahme durch das Wasserangebot - also die Beregnungsintensität - bestimmt. In diesem Fall bildet sich an der Oberfläche kein sichtbarer Wasserfilm: alles auftreffende Regenwasser wird aufgesaugt. Die Wasseraufnahme ist dann geringer als nach dem Wasseraufnahmekoeffizienten berechnet wird.

Die Sicherheit, die man dadurch gewinnt, daß man bei der Beurteilung der Trocknung nur die Dampfdiffusion berücksichtigt, wurde bereits in Abschnitt 3.2 dargelegt.

Unter diesen vereinfachenden Annahmen beträgt die Wasseraufnahme W_R während der Beregnungsdauer t_R nach Gleichung (1):

$$W_R = w \cdot \sqrt{t_R} \quad (5)$$

Für die in der Trocknungsperiode t_T abgegebene Wassermenge I_T gilt nach Gleichung (4)

$$I_T = i \cdot t_T = \frac{\delta_L}{s_d} (p_1 - p_2) t_T \quad (6)$$

Als Bedingung für einen ausreichenden Regenschutz gilt nach den obigen Ausführungen, daß im langfristigen Mittel die Wasseraufnahme kleiner oder gleich der möglichen Wasserabgabe ist:

$$W_R \leq I_T \quad (7)$$

Hieraus folgt bei Einsetzen der Beziehungen (5) und (6):

$$w \cdot \sqrt{t_R} \leq \frac{\delta_L}{s_d} (p_1 - p_2) t_T \quad (8)$$

$$w \cdot s_d \leq \delta_L (p_1 - p_2) \frac{t_T}{\sqrt{t_R}} \quad (8)$$

Mit $K = \delta_L (p_1 - p_2) \frac{t_T}{\sqrt{t_R}} \quad (9)$

gilt $w \cdot s_d \leq K \quad (10)$

Auf der rechten Seite der Gleichung (8) erscheinen neben dem Wasserdampfleitkoeffizienten der Luft (Stoffkennwert) Größen, die von den klimatischen Gegebenheiten in einem bestimmten Gebiet abhängen, nämlich die Regendauer, die Trocknungsdauer und die Dampfdruckdifferenz zwischen dem feuchten Mauerwerk und der Außenluft. Diese "Klimafunktion" K (Gleichung 9) kann im langfristigen Mittel als Konstante für ein bestimmtes Gebiet betrachtet werden, natürlich singuläre Wetterverhältnisse ausgenommen, die immer und überall auftreten können.

Als Bedingung für ausreichenden Regenschutz von Putzen, bei denen ein kapillarer Wassertransport gering ist (sog. wasserabweisende Putze) gilt somit Gleichung (10), die ausdrückt, daß das Produkt aus dem Wasseraufnahmekoeffizienten w und der diffusionsequivalenten Luftschichtdicke s_d kleiner/gleich einer gewissen Konstanten sein soll. Dies ist die Gleichung einer Hyperbel (siehe Bild 17) mit folgender plausibler physikalischer Interpretation.

Ein Außenputz mit einem kleinen Wasseraufnahmekoeffizienten w darf einen größeren Diffusionswiderstand s_d haben, da bei geringer Wasseraufnahme auch die Notwendigkeit der Trocknung geringer ist. Je größer der Wasseraufnahmekoeffizient ist, desto kleiner muß der Diffusionswiderstand sein, um die jeweils aufgenommene Wassermenge wieder austrocknen zu lassen.

Rein mathematisch sind nach Gleichung (10) folgende Grenzfälle möglich:

$$a) \quad w = 0, \quad s_d = \infty$$

$$b) \quad w = \infty, \quad s_d = 0$$

Fall a würde bedeuten, daß der Diffusionswiderstand der äußeren Schicht unendlich groß sein darf. Dies ist aber im allgemeinen wegen der Wasserdampf-Diffusion vom Raum durch die Wand nach außen und möglicher Feuchtigkeitskondensation in der Wand nicht zulässig. Fall b ist deshalb nicht als reale Möglichkeit zu betrachten, da bei den Überlegungen generell von Putzen mit geringer Kapillarleitfähigkeit ausgegangen wurde. Beide Gesichtspunkte führen zu einer Begrenzung der maximal zulässigen w -Werte und s_d -Werte. Bezeichnet man diese zulässigen Werte mit w_z und $s_{d,z}$, dann ergeben sich folgende allgemeine Bedingungen für Außenputze mit geringer Kapillarleitfähigkeit:

$$\begin{array}{lll} \text{Hauptbedingung} & w \cdot s_d \leq K & \\ \text{Nebenbedingung} & w \leq w_z & (11) \\ & s_d \leq s_{d,z} & \end{array}$$

5. Zuordnungen zwischen der Schlagregenbeanspruchung und den Regenschutz-Anforderungen an Außenputzen

Es ist sinnvoll, den in Abschnitt 2.3 erläuterten und in DIN 4108, Teil 3, festgelegten drei Beanspruchungsgruppen hinsichtlich des Schlagregens Putzarten zuzuordnen, mit Eigenschaften, die bei den jeweiligen Beanspruchungsgruppen einen ausreichenden Schlagregenschutz bieten.

Hierbei ist es naheliegend, bei starker Schlagregenbeanspruchung Außenputze mit geringer Kapillarleitung und ausreichender Wiederaustrocknung zu verwenden, also Putze, die dem in Gleichung 11 angegebenen Anforderungsschema genügen mit den in Abschnitt 7 erläuterten quantitativen Anforderungen. Derartige Putze werden als "wasserabweisend" im Sinne der in Abschnitt 4 dargelegten Betrachtungen bezeichnet.

Bei mittlerer Schlagregenbeanspruchung sind keine wasserabweisenden Außenputze erforderlich. Es genügt, wenn der Außenputz die Wasseraufnahme hemmt, also eine "wasserhemmende" Eigenschaft hat. Bei solchen Putzen ist die Kapillarleitfähigkeit nicht zu vernachlässigen. Deshalb ist eine Beurteilung, die auf dem Produkt aus Wasseraufnahmekoeffizient und diffusionsequivalenter Luftschichtdicke basiert, nicht mehr zutreffend. In diesem Fall genügt eine Begrenzung des Wasseraufnahmekoeffizienten.

Bei geringer Schlagregenbeanspruchung sind keine Anforderungen hinsichtlich des Regenschutzes an Putze zu stellen.

Somit ergibt sich folgende Zuordnung zwischen der Schlagregenbeanspruchung und den Eigenschaften der Außenputze hinsichtlich des Schlagregenschutzes:

Beanspruchungsgruppe I: Außenputze ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz
(geringe Schlagregenbeanspruchung)

Beanspruchungsgruppe II: wasserhemmende Außenputze
(mittlere Schlagregenbeanspruchung)

Beanspruchungsgruppe III: wasserabweisende Außenputze
(starke Schlagregenbeanspruchung)

Die Regenschutz-Anforderungen sollen jeweils von der Schicht oder den Schichten erfüllt werden, die für den Regenschutz vorgesehen sind. Dies betrifft insbesondere wasserabweisende Außenputze, bei denen meist nicht die gesamte Putzschicht, sondern häufig nur der Oberputz als regenschützende Schicht wirksam sein soll.*)

*) Dies weicht von der Formulierung in DIN 18 550 ab, nach der eine bestimmte Eigenschaft von der gesamten Putzschicht erfüllt werden soll.

6. Meßtechnische Ermittlung der Beurteilungsgrößen

6.1 Probenvorbehandlung

Frühere Untersuchungen an mineralischen Putzen und Kunstharzputzen [24, 25] haben ergeben, daß insbesondere die kapillare Wasseraufnahme, in geringerem Maße aber auch die Wasserdampf-Durchlässigkeit von mineralischen Putzen und von Kunstharzputzen davon abhängig sind, wie die Proben nach der Herstellung behandelt werden.

Bei mineralischen Putzen wurde festgestellt, daß die Art und Dauer der Feuchthaltung nach der Herstellung und auch die Saugfähigkeit des Putzgrundes, die letztlich für die Feuchthaltung mitbestimmend ist, einen Einfluß auf die Saugfähigkeit des Putzes haben, der auch nach einjähriger Bewitterung noch erkennbar ist [24].

Bei Dispersionsbeschichtungen und Kunstharzputzen, die durch Abgabe des Dispergierungsmittels erhärten, können durch spätere Einflüsse in der Praxis Veränderungen eintreten, die die feuchtigkeitstechnischen Eigenschaften beeinflussen. Solche Einflüsse sind z. B.: Auswaschen von Stabilisatoren und Füllstoffen zur Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens durch Beregung, Entweichen von Weichmachern oder zunehmende Vernetzung des Gefüges bei Erwärmung. Das Ausmaß der durch unterschiedliche Behandlung vor der Messung möglichen Änderungen sind in Bild 18 am Beispiel eines Kalkzementputzes und in Bild 19 am Beispiel einer Dispersions-Silicatfarbe dargestellt.

Bei mineralischen Außenputzen ist eine Probenvorbehandlung generell erforderlich. Dabei muß man sich im klaren sein,

daß man durch jede Art der Vorbehandlung die "endgültige" Eigenschaft eines Putzes (falls es überhaupt eine solche gibt) nie erreichen kann. Im Falle der Dispersions-Beschichtungen und Kunstharzputze zeigt Bild 19 ein extremes Beispiel. Es gibt Kunstharzputze mit sehr geringen Änderungen durch irgendwelche Vorbehandlungen. Unabhängig davon erscheint es aber generell richtig und notwendig, eine Probenvorbehandlung vor der Messung vorzunehmen, die für mineralische Putze und Kunstharzputze naturgemäß unterschiedlich sein wird. Auf Grund von weiteren Untersuchungen und Überlegungen hinsichtlich der Praktikabilität der Ausführung wurden in DIN 52 617 (Entwurf Vornorm) [26] folgende Vorbehandlungen für mineralische Putze und Kunstharzputze festgelegt:

Baustoffe mit mineralischen Bindemitteln

(nach DIN 18 555, Teil 3):

- 7 Stunden Lagerung im Klima 20/95^{*)}
- 21 Stunden Lagerung im Normalklima 20/65, DIN 50 014

Baustoffe mit organischen Bindemitteln

Bis zur Trocknung der Proben Lagerung im Normalklima 23/50, DIN 50 014.

1. Zyklus: 6 Stunden Wässern der zu prüfenden Fläche durch Eintauchen in langsam fließendes Wasser,

^{*)} Lagertemperatur: $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, relative Luftfeuchte mindestens 95 %

- 18 Stunden Lagerung im Normalklima 23/50,
6 Stunden Lagerung bei 50^oC im Wärmeschrank,
18 Stunden Lagerung im Normalklima 23/50;
2. Zyklus: 6 Stunden Wässern der zu prüfenden Fläche
durch Eintauchen in langsam fließendes Wasser,
18 Stunden Lagerung im Normalklima 23/50,
6 Stunden Lagerung bei 50^oC im Wärmeschrank,
18 Stunden Lagerung im Normalklima 23/50;
3. Zyklus: 6 Stunden Wässern der zu prüfenden Fläche
durch Eintauchen in langsam fließendes Wasser,

anschließend Lagerung im Normalklima 23/50 bis zur Massenkonzanz.

6.2 Wasseraufnahmekoeffizient

Bei der Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten ist zu unterscheiden zwischen mineralischen Außenputzen, die in der Regel 20 mm dick und kapillar saugend sind, und dünnen Schichten, wie Kunstharzputzen, die zur Prüfung auf einem Trägermaterial aufzubringen sind und praktisch keine kapillare Saugfähigkeit aufweisen.

Im erstgenannten Fall ist ein Trägermaterial nicht erforderlich. Der Wasseraufnahmekoeffizient kann durch einen Saugversuch an der Putzprobe allein ermittelt werden. Ein stark saugender Putzgrund würde die Saugfähigkeit des Putzes nicht beeinflussen. Dies geht aus Messungen der

Wasseraufnahme von Putzen auf Gips als Putzgrund hervor; aus den Ergebnissen in Bild 20 ist bei den Putzen 1 und 2 ein deutlicher Knick im Verlauf der Wasseraufnahme zu erkennen. Dieser Knick ist durch den Übergang des Wasserspiegels vom Putz in die Gipsschicht bedingt. Aus der Lage der Kurvenknicke bei etwa 3 kg/m^2 ist eine Feuchtigkeitsaufnahme der 20 mm dicken Weißkalkputze von 15 Vol-% zu errechnen. Bemerkenswert ist, daß nach der Durchfeuchtung des Putzes die Wasseraufnahme trotz des stark saugenden Putzgrundes Gips abnimmt. Der Gips, der bei unmittelbarer Benetzung einen Wasseraufnahmekoeffizienten von etwa $w = 60 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$ hat, kann nur die Feuchtigkeit aufnehmen, die durch die Putzschicht "hindurchgeleitet" wird. Deshalb ist der anfängliche Anstieg der Wasseraufnahme in Bild 20 kennzeichnend für die Eigenschaften der Putze. Der gleiche Anstieg ergäbe sich auch, wenn der Putz nicht auf einem saugenden Untergrund aufgebracht wäre. Der Putz 3 in Bild 20 wurde während der sechsstündigen Saugzeit nicht voll durchfeuchtet. Dies ist aus der Wasseraufnahme abzuschätzen (bezogen auf 20 mm ergäben sich nur 7,5 Vol-%) und aus dem Fehlen eines Knicks im Kurvenverlauf zu erkennen.

Bei Kunstharzputzen von mehreren Millimetern Dicke, die selbst nur eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit haben, ist die Wasseraufnahme bei Aufbringen auf ein Trägermaterial im allgemeinen nicht unabhängig von den Kapillareigenschaften des Trägermaterials. In diesem Fall wird eigentlich die Wasseraufnahme des Trägermaterials durch den Kunstharzputz hindurch ermittelt d. h. durch dessen Poren, die durch Verdunstung des Dispergierungsmittels entstehen oder durch Fehlstellen bei strukturierten Putzen.

Der Einfluß des Trägermaterials auf die Wasseraufnahme ist abhängig von der Durchlässigkeit des Kunstharzputzes oder allgemein der Beschichtung und liegt zwischen den beiden Grenzfällen der unendlich durchlässigen und der unendlich dichten Beschichtung. Im erstgenannten Fall werden bei einem Saugversuch nur die Kapillareigenschaften des Trägermaterials erfaßt, im zweiten Fall erhält man unabhängig von den Eigenschaften des Trägermaterials die Wasseraufnahme Null. Die Wirklichkeit wird zwischen diesen beiden Extremfällen liegen, d. h. es ist ein gewisser Einfluß des Trägermaterials auf die Wasseraufnahme zu erwarten. Um die Größe dieses Einflusses zu erfassen, wurden Untersuchungen über die Wasseraufnahme von Kunstharzputzen mit verschiedenen Bindemittelgehalt (4, 8, 13 und 16 % Mowilith) auf verschiedenen Untergründen (Gasbeton, Ziegel, Gips) durchgeführt [27]. Die Ergebnisse sind in Bild 21 dargestellt. Nur bei sehr geringem Bindemittelgehalt ist ein deutlicher Einfluß des Trägermaterials auf die Wasseraufnahme festzustellen; bei höheren Bindemittelgehalten, die Wasseraufnahmekoeffizienten der beschichteten Proben kleiner als $0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$ ergeben, wirkt sich die Wasseraufnahme des Trägermaterials praktisch nicht aus. Da es sich bei der Prüfung der Wasseraufnahme von Kunstharzputzen nach DIN 18 558 nur auf die Bestätigung der "wasserabweisenden Eigenschaft" ankommt, ist eine Festlegung des Trägermaterials nicht unbedingt erforderlich. Trotzdem wurde zur Vereinheitlichung in DIN 52 617 Gasbeton als Trägermaterial festgelegt (siehe auch Abschnitt 6.3).

Hinsichtlich der Bewertung von Meßergebnissen der Wasseraufnahme in Abhängigkeit von \sqrt{t} werden in den Bildern 22 bis 24 noch einige Erläuterungen gegeben.

6.3 Diffusionsequivalente Luftschichtdicke

Bei mineralischen Putzen wird aus praktischen Erwägungen die diffusionsequivalente Luftschichtdicke des gesamten Putzsystems (Unter- und Oberputz) für die Beurteilung des Regenschutzes herangezogen, auch wenn nur eine Schicht, z. B. der Oberputz, für den Regenschutz maßgebend ist. Da bei mineralischen Putzen der Unterschied der Meßergebnisse nach dem Trockenbereichverfahren und nach dem Feuchtbereichverfahren gering ist, wird in diesem Fall das Trockenbereichverfahren nach DIN 52 615 vorgeschlagen., das eine kürzere Meßdauer ermöglicht.

Die Beurteilung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Kunstharzputzen erfolgt nach dem Feuchtbereichverfahren, DIN 52 615. In diesem Fall ist die Wasserdampf-Durchlässigkeit des Trägermaterials für den Kunstharzputz von Einfluß auf das Ergebnis (siehe Abschnitt 3.2). Da die Eigenschaften des Unterputzes sehr von den Ausgangsstoffen (insbesondere von der Körnung des Sandes) und von der Herstellung beeinflußt werden, wird einheitlich Gasbeton als Putzträger für Kunstharzputze verwendet. Der Diffusionswiderstand des Kunstharzputzes ergibt sich als Differenz der Diffusionswiderstände (s_d -Werte) von Gasbeton mit Putz und Gasbeton allein.

7. Zahlenmäßige Festlegung der Regenschutz-Anforderungen

7.1 Wasserabweisende Außenputze

In Abschnitt 4 wurde dargelegt, daß der Wasseraufnahmekoeffizient w und die diffusionsequivalente Luftschichtdicke s_d eines Außenputzes als kennzeichnende Größen für den Regenschutz - speziell hinsichtlich des Prädikats "wasserabweisend" - zu betrachten sind. Die Größe der "Klimafunktion" K in Gleichung (10) ist zu komplex, um sie rechnerisch ermitteln zu können; sie kann daher nur empirisch, auf Grund von experimentellen Untersuchungen und plausiblen Annahmen festgelegt werden.

Die ersten Untersuchungen in dieser Richtung wurden in der Außenstelle Holzkirchen (1965) an Gasbetonproben mit Kunstharzbeschichtungen in folgender Weise durchgeführt: Einmal wurden beschichtete Gasbetonproben der Größe 50 cm x 50 cm in einem Versuchstand der natürlichen Schlagregenbeanspruchung über ein Jahr ausgesetzt und deren Feuchtigkeitsänderungen durch Wägen fortlaufend ermittelt; zum anderen wurden von den gleichen Beschichtungen, aufgebracht auf Gasbeton, Messungen der kapillaren Wasseraufnahme und der Wasserdampf-Durchlässigkeit im Laboratorium durchgeführt [28]. Aus einem Vergleich der langfristigen Ergebnisse bei natürlicher Schlagregenbeanspruchung und den Ergebnissen der Laboruntersuchungen konnten Anforderungen festgelegt werden, die von den Beschichtungen zu erfüllen sind, um einen ausreichenden Schlagregenschutz zu gewähren. Dies war deshalb möglich, weil bei einem Teil der Beschichtungen die Wandfeuchte infolge der Beregnung stark zunahm, während bei anderen Beschichtungen trotz der Beregnung eine Trocknung erfolgte.

Bei den damaligen Untersuchungen wurde zur Kennzeichnung der kapillaren Wasseraufnahme noch nicht der Wasseraufnahmekoeffizient verwendet, sondern die Wasseraufnahme in kg/m^2 bei einem Saugversuch von 6 Stunden Dauer.

Bei späteren Überlegungen (1968) unter Einbeziehung von Meßergebnissen mit mineralischen Außenputzen und Kennzeichnung der Wasseraufnahme durch den Wasseraufnahmekoeffizienten, wurden folgende Anforderungen für wasserabweisende Putze und Beschichtungen festgelegt (siehe Gleichung 11) [29]:

$$\begin{aligned} w \cdot s_d &\leq 0,1 \text{ kg}/(\text{mh}^{0,5}) \\ w &\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5}) \\ s_d &\leq 2 \text{ m} \end{aligned} \quad (12)$$

Da auf Grund von Vergleichen meteorologischer Daten [31] und jahrzehntelanger Erfahrungen in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen die dortige Schlagregenbeanspruchung als "stark" im Sinne der in DIN 4108, Teil 3, festgelegten Beanspruchungsgruppen eingestuft werden kann, können die in der Freilandversuchsstelle gewonnenen Ergebnisse generell als zutreffend für die Beanspruchungsgruppe III betrachtet werden.

Bei einer aktuellen Festlegung der Regenschutz-Anforderungen für wasserabweisende Außenputze nach dem heutigen Stand ist allerdings die in den letzten eineinhalb Jahrzehnten zu beobachtende Entwicklung von dünneren Dispersionsanstrichen und -beschichtungen zu dickeren und

dichteren Kunstharzputzen zu berücksichtigen, deren Bewährung schließlich zu einer normenmäßigen Behandlung der Kunstharzputze führte (DIN 18 558 [30]). Meßergebnisse von handelsüblichen Kunstharzbeschichtungen und -putzen in der Außenstelle Holzkirchen im Zeitraum zwischen 1961 bis 1980, die in den Bildern 25 bis 28 dargestellt sind, belegen diese Entwicklung. Die Häufigkeitsverteilungen zeigen, daß sich der Wasseraufnahmekoeffizient von höheren und breiter streuenden Werten im Laufe des betrachteten Zeitraums auf niedrigere Werte konzentriert hat (Bild 25).

Bei den Meßwerten der diffusionsequivalenten Luftschichtdicke ist das Umgekehrte festzustellen: von anfangs niedrigen und geringer schwankenden Werten wurden diese größer mit gleichzeitig größeren Schwankungen bis maximal $s_d = 8 \text{ m}$ (Bild 26). Diese Tendenzen werden besonders in den zeitlichen Verläufen der 50-%-Fraktilen (häufigste Werte) und der 90-%-Fraktilen der beiden Werte in den Bildern 27 und 28 deutlich. Im Laufe dieser Entwicklung wurde die Schadensquote bei Kunstharzbeschichtungen geringer^{*)}. Dies ist auf die neuerdings verwendete Bindemittelbasis mit geringer Verseifbarkeit zurückzuführen und auf die Erfahrungen der Industrie, die zu einer Optimierung der Formulierungen der Kunstharzputze und zu einer Verbesserung der Verarbeitbarkeit geführt haben. Es ist daher ange-

^{*)} Nach einer schriftlichen Mitteilung vom 9.9.1980 von Dr. Haagen vom Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke e.V. an den Normenausschuß Bauwesen sind von 580 Schadensfällen im Zusammenhang mit Putzen und Anstrichen im Zeitraum 1973 bis 1980 nur 4 Schadensfälle bei Kunstharzputzen aufgetreten.

messen und richtig, dieser Entwicklung durch eine entsprechende Änderung der Anforderungen für wasserabweisende Außenputze Rechnung zu tragen. Diese Änderung betrifft allein eine Berücksichtigung der größeren Diffusionswiderstände der Kunstharzputze, während hinsichtlich der kapillaren Wasseraufnahme keine Korrektur erforderlich ist.

Da sich die häufigsten Werte der diffusionsequivalenten Luftschichtdicke von Kunstharzbeschichtungen im Laufe des betrachteten Zeitraumes nach Bild 28 rund um den Faktor 3 erhöht hat, wurde bei den Beratungen für die Neufassung der DIN 18 550 [32] die Klimafunktion K (Gleichung 12) ebenfalls um den Faktor 3 von $0,1 \text{ kg}/(\text{mh}^{0,5})$ auf $0,3 \text{ kg}/(\text{mh}^{0,5})$ erhöht. Die zusätzliche Randbedingung für die diffusionsequivalente Luftschichtdicke wurde von $s_d = 2 \text{ m}$ auf $s_d = 4 \text{ m}$ geändert in Übereinstimmung mit dem zulässigen Höchstwert des Diffusionswiderstandes von Außenschichten auf außenseitig gedämmtem Mauerwerk zur Vermeidung nachteiliger Feuchtigkeitserhöhung infolge innerer Kondensation nach DIN 4108, Teil 3.

Somit lauten die Anforderungen an wasserabweisende Außenputze unter Berücksichtigung der Entwicklung bei den Kunststoffputzen:

$$\begin{aligned} w \cdot s_d &\leq 0,3 \text{ kg}/(\text{mh}^{0,5}) \\ w &\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5}) \\ s_d &\leq 4 \text{ m} \end{aligned} \quad (13)$$

7.2 Wasserhemmende Außenputze

Außenputze der Mörtelgruppen I und II der DIN 18 550 haben eine geringere kapillare Wasseraufnahme als die überwiegende Mehrzahl der üblichen Mauerwerksarten [24, 33].

Diese Außenputze hemmen somit die Wasseraufnahme unverputzten Mauerwerks bei Beregung und sind daher dem Wortsinne entsprechend als "wasserhemmend" zu bezeichnen. Sie haben sich erfahrungsgemäß in Gebieten mit mittlerer Schlagregenbeanspruchung bewährt und können daher als ausreichend bei Beanspruchungsgruppe II bewertet werden (siehe Abschnitt 5).

Bei wasserhemmenden Außenputzen, die diese Eigenschaft allein auf Grund der Bindemittel und des Mischungsverhältnisses ohne Zusatzmittel erreichen, ist deren Kapillarleitfähigkeit nicht zu vernachlässigen. Daher ist eine allgemeine Beurteilung entsprechend den Überlegungen in Abschnitt 4, die sich im wesentlichen auf das Produkt zwischen dem Wasseraufnahmekoeffizienten und der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke gründet, nicht zutreffend. Im wesentlichen genügt für eine allgemeine Anforderung der Eigenschaft von wasserhemmenden Putzen eine Begrenzung des Wasseraufnahmekoeffizienten, die auf den Wert

$$w \leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$$

festgelegt worden ist. Mehr formal - angleichend an die Anforderungen für wasserabweisende Putze - soll auch in diesem Fall die diffusionsequivalente Luftschichtdicke von $s_d = 4 \text{ m}$ nicht überschritten werden. Bei Außenputzen der Mörtelgruppen nach DIN 18 550, die ohne Nachweis die Eigenschaft "wasserhemmend" haben, wird dieser s_d -Wert niemals überschritten.

Außenputze mit größerem Wasseraufnahmekoeffizienten als $w = 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$ sind solche, die keine besonderen Anforderungen hinsichtlich des Regenschutzes erfüllen und sind bei Regenbeanspruchungsgruppe I anwendbar.

7.3 Zusammenfassung

Die Anforderungen an Außenputze hinsichtlich des Regenschutzes und die Zuordnung zu den Beanspruchungsgruppen sind in Bild 29 grafisch dargestellt und im folgenden numerisch zusammengefaßt:

Beanspruchungsgruppe I

keine Anforderungen hinsichtlich des Regenschutzes

Beanspruchungsgruppe II

wasserhemmende Außenputze

$$\begin{aligned}w &\leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5}) \\s_d &\leq 4 \text{ m}\end{aligned}$$

Beanspruchungsgruppe III

wasserabweisende Außenputze

$$\begin{aligned}w \cdot s_d &\leq 0,3 \text{ kg}/(\text{mh}^{0,5}) \\w &\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5}) \\s_d &\leq 4 \text{ m}\end{aligned}$$

8. Literaturhinweise

- [1] Lacy, R. E.: Driving Rain Maps and the Onslaught of Rain on Buildings. CIB-Symposium Helsinki 1965.
- [2] Künzel, H.: Beurteilung der Schlagregenbeanspruchung und des Regenschutzes von Gebäuden. Bericht B. Ho 5/76 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (nicht veröffentlicht).
- [3] Schwarz, B.: Die Schlagregenbeanspruchung von Gebäuden, Meßmethoden-Meßgeräte. Berichte aus der Bauforschung, Heft 86, Verlag Ernst u. Sohn, Berlin.
- [4] Frimberger, R.: Aerodynamik bei hohen Bauwerken und leichten Flächentragwerken. VDI Berichte 142/1970.
- [5] Schwarz, B.: Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden. Heizung, Lüftung, Haustechnik 24 (1973), Nr. 12, S. 376-384.
- [6] Künzel, H. und Schwarz, B.: Die Feuchtigkeitsaufnahme von Baustoffen bei Beregnung. Berichte aus der Bauforschung, Heft 51, Berlin 1968.
- [7] Frank, W.: Einwirkung von Regen und Wind auf Gebäudefassaden. Berichte aus der Bauforschung, Heft 86 (1973), Verlag W. Ernst u. Sohn.
- [8] Lacy, R. E. und Sheldand, H. C.: An Index of driving rain. The Meteorologist. Mag 91 (1962, S. 117-184.
- [9] Künzel, H.: Zur Frage der Beurteilung der Schlagregenbeanspruchung in einzelnen Gebieten und Ländern. Bericht an das Wohnungsbauministerium 1966.
- [10] Schirmer, H.: Karten mittlerer Niederschlagssummen 1891 - 1930, Deutscher Wetterdienst.
- [11] Eichler, F.: Schlagregen und seine Auswirkungen. Stadt- und Gebäudetechnik 1970, Nr. 6, S. 145-147.
- [12] DIN 4108, Teil 3 (Neufassung).
- [13] Bröcker, O.: Die Widerstandsfähigkeit von Außenwänden bei Beanspruchung durch Schlagregen. Dissertation Braunschweig 1954.
- [14] Webster: Development of Driving Rain Test Equipment. Internal Note 50 (1964) Building Research Station, Garston.

- [15] Schellbach, G. u. Irle, W.: Erkenntnisse aus Schlagregenversuchen an Ziegelsicht- und Verbandmauerwerk. Die Ziegelindustrie 1966, Nr. 21, S. 941-945.
- [16] Albrecht, W. und Steinbach, W.: Die Wirkung von Dichtungsmitteln in Außenputzmörteln. Das Stuckgerwerbe 1960, Nr. 1, S. 10.
- [17] Wesche, K.: Die Prüfung von Dichtungsmitteln für Putzmörtel. Die Bauwirtschaft 7 (1953), S. 1013.
- [18] Granholm, H.: Puts och Lättbetong, Chalmers Tekniska Högskolas, Handlingar Nr. 177
- [19] Vos, B. und Tammes, E.: Flow of water in the Liquid Phase. Report Nr. BI - 68 - 38. TNO-Institut für Baumaterialien und Baukonstruktionen Delft.
- [20] Krischer, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer-Verlag 1963.
- [21] Künzel, H.: Kapillare Wasseraufnahme und Austrocknungsverhältnisse von Außenputzen. Gesundheits-Ingenieur 82 (1961), H. 1, S. 8-12.
- [22] DIN 52 615: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen (Juni 1973).
- [23] Künzel, H.: Gasbeton, Wärme- und Feuchtigkeitsverhalten. Bauverlag Wiesbaden 1971.
- [24] Künzel, H.: Einfluß des Putzgrundes und der Herstellungsbedingungen auf die Saugfähigkeit von Außenputzen. Berichte aus der Bauforschung, Heft 79, Verlag Ernst u. Sohn, Berlin.
- [25] Künzel, H. und Bernhardt, P.: Einfluß der Probenachbehandlung auf die Wasseraufnahme von Kunstharzputzen. Bericht B. Ho 10/79 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (nicht veröffentlicht).
- [26] DIN 52 617-Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen.
- [27] Künzel, H. und Bernhardt, P.: Wasseraufnahme beschichteter Baustoffe. Bericht B. Ho 12/76 des Fraunhofer-Instituts für Bauforschung (nicht veröffentlicht).
- [28] Künzel, H.: Untersuchungen über das feuchtigkeits-technische Verhalten von Außenanstrichen und -beschichtungen auf Gasbeton bei natürlicher Bewitterung. Betonsteinzeitung 1966, Heft 1.

- [29] Künzel, H.: Anforderungen an Außenanstriche und Beschichtungen aus Kunstharzdispersionen. Kunststoffe im Bau, Themenheft 12 (1968/69), S. 26-32.
- [30] DIN 18 558 (E): Kunstharzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung.
- [31] Reiher, H. und Künzel, H. e.a: Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten. W. Ernst u. Sohn, Berlin 1958.
- [32] DIN 18 550 (E): Putz; Begriffe und Anforderungen.
- [33] Schwarz, B.: Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen. Ges. Ing. 93 (1972) Heft 7, S. 206-211.

Nicht veröffentlichte Berichte des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik sind über das Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft zu beziehen; Anschrift: Nobelstraße 12, 7000 Stuttgart 80.

Tabelle 1: Kapillare Wasseraufnahme von Vollziegel
und Gasbeton bei verschiedenen Methoden [5]

Meßmethode	Wasseraufnahmekoeffizient w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$]	
	Vollziegel	Gasbeton
normaler Saugversuch durch 2-3 mm tiefes Eintauchen der Proben- oberfläche (Wasserauf- nahme entgegen der Schwerkraft)	21,2	4,2
Berieseln der verti- kal orientierten Saugflächen der Pro- ben (ohne Überdruck, aber mit Wirkung der Schwerkraft)	21,5	4,1
Wasseraufnahme bei 100 mm WS Überdruck unter Mitwirkung der Schwerkraft	20,8	4,4

Tabelle 2: Kapillare Wasseraufnahme von Außenputzen ohne und mit Hydrophobierung bei verschiedenem Überdruck.

Putzart	Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/(m ² h ^{0,5})]			
	Normaler Saug- versuch, Ein- tauchtiefe 2-3 mm	Überdruck in mm WS		
		20	40	60
Putz nach DIN 18550 Mg. II	3,8	3,7	3,1	2,7
Kratzputz I mit Zusatz	0,57	0,52	0,44	0,41
Kratzputz II mit Zusatz	0,16	0,15	0,15	0,15
Kratzputz III mit Zusatz	0,08	0,07	0,07	0,07

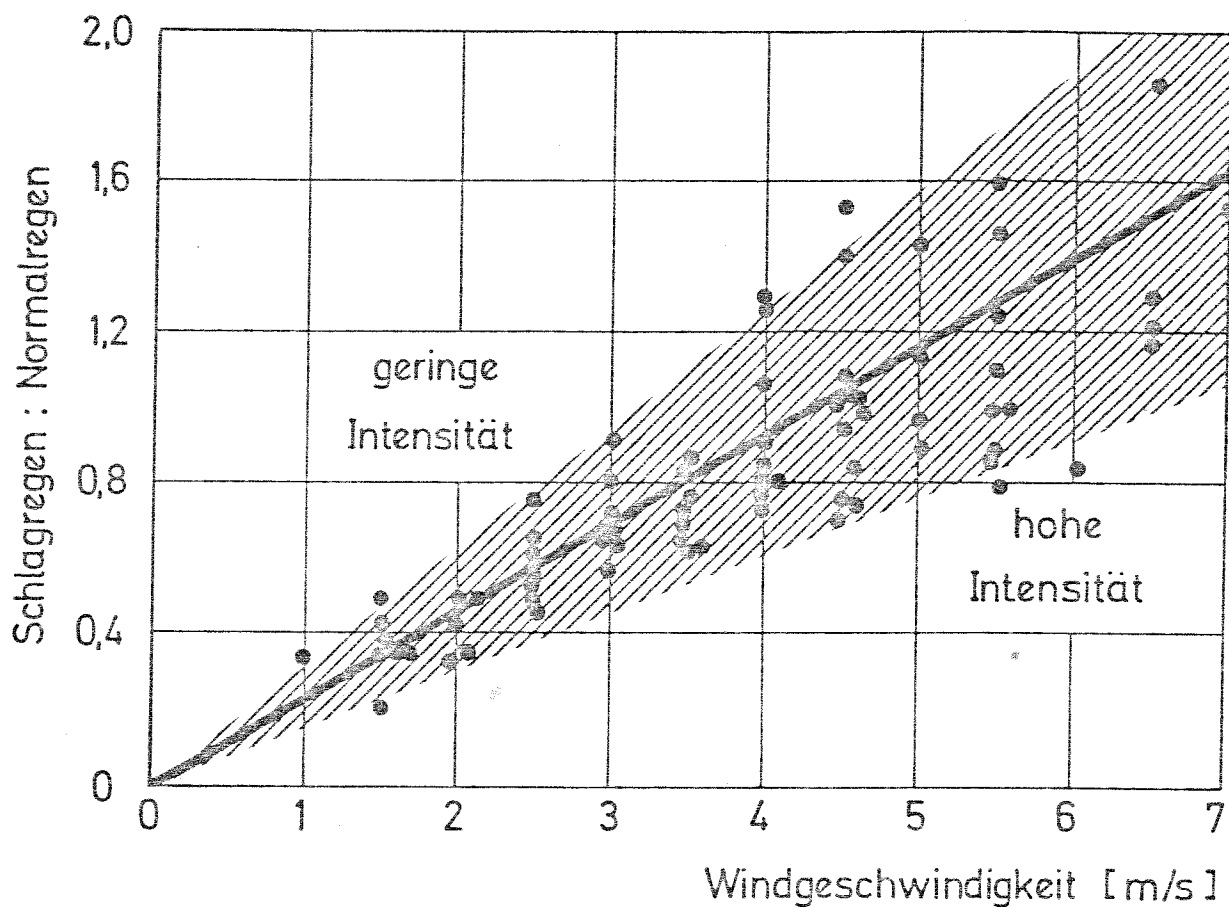


Bild 1: Verhältnis Schlagregen : Normalregen (R_S/R_N) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit u , gemessen in Höhe der freistehenden Regenauffanggefäße (3 m über Gelände).

Steigung der Geraden $a = \frac{R_S/R_N}{u} = 0,23 \text{ s/m}$.

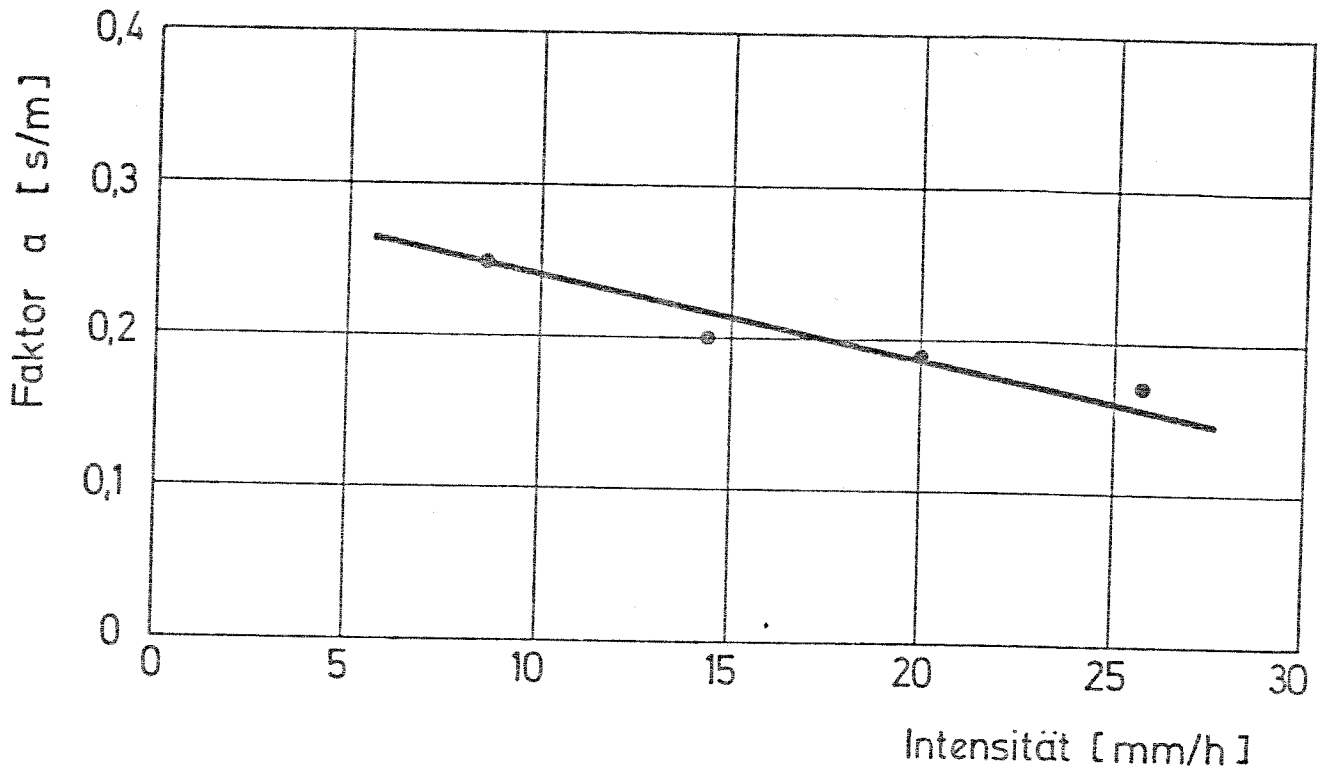


Bild 2: Faktor a der Gleichung $R_S = a \cdot u \cdot R_N$ in Abhängigkeit von der Intensität des Normalregens nach [2].

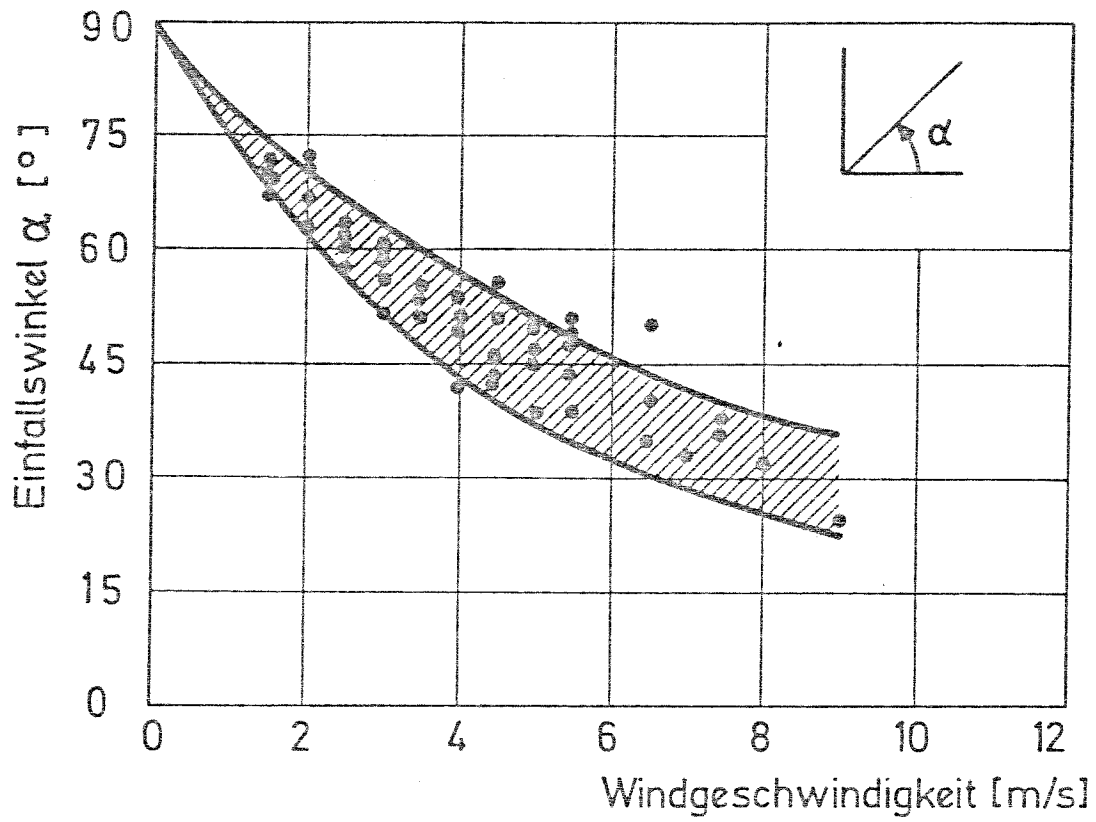


Bild 3: Einfallswinkel des Schlagregens auf die vertikale Auffangfläche in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

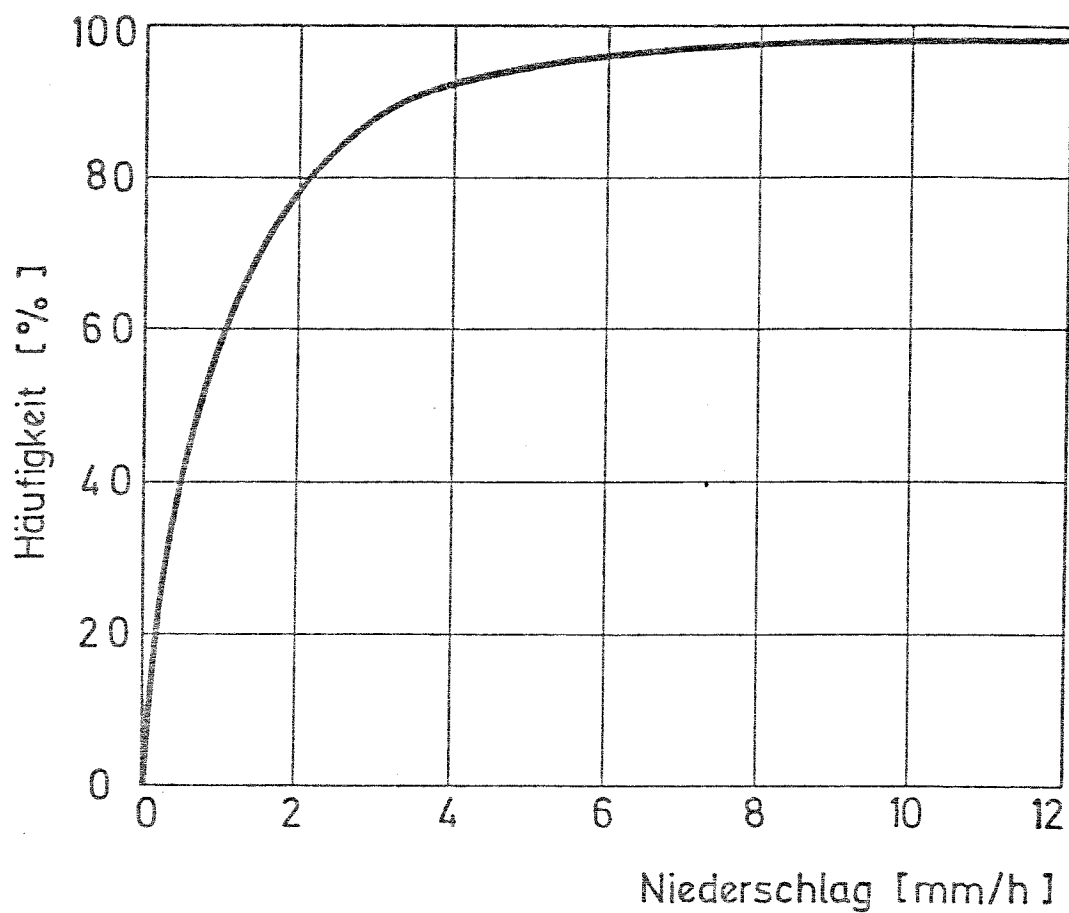


Bild 4: Häufigkeitsverteilung der Schlagregensintensität nach Messungen mit einem freistehenden Regenschirm in der Versuchsstelle Holzkirchen im Verlauf eines Jahres (Juni 1973 - Mai 1974) nach [2]

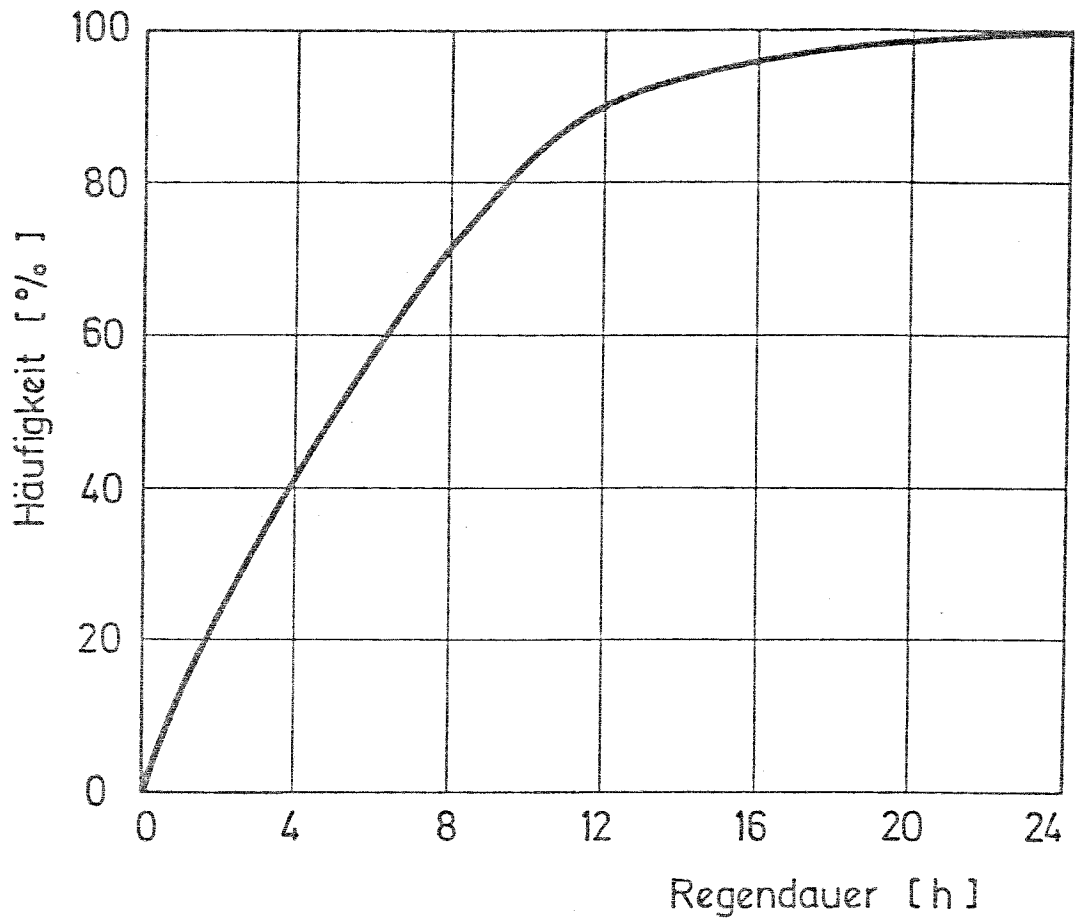


Bild 5: Häufigkeitsverteilung der Schlagregendauer nach Messungen mit einem freistehenden Regenmesser in der Versuchsstelle Holzkirchen im Verlauf eines Jahres (Juni 1973 - Mai 1974) nach [2]

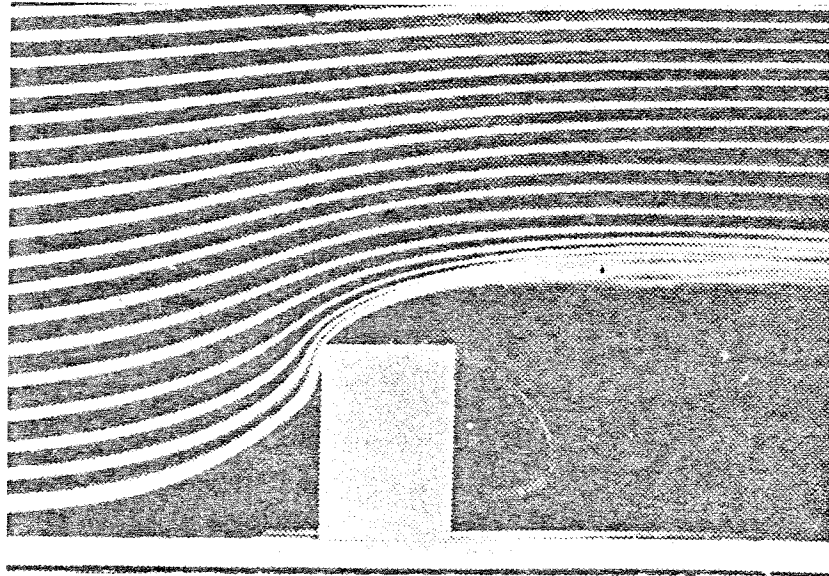


Bild 6: Störung der Luftströmung durch ein Gebäude, das senkrecht zur Fassadenfläche angeblasen wird nach Ermittlungen im Windkanal [4]

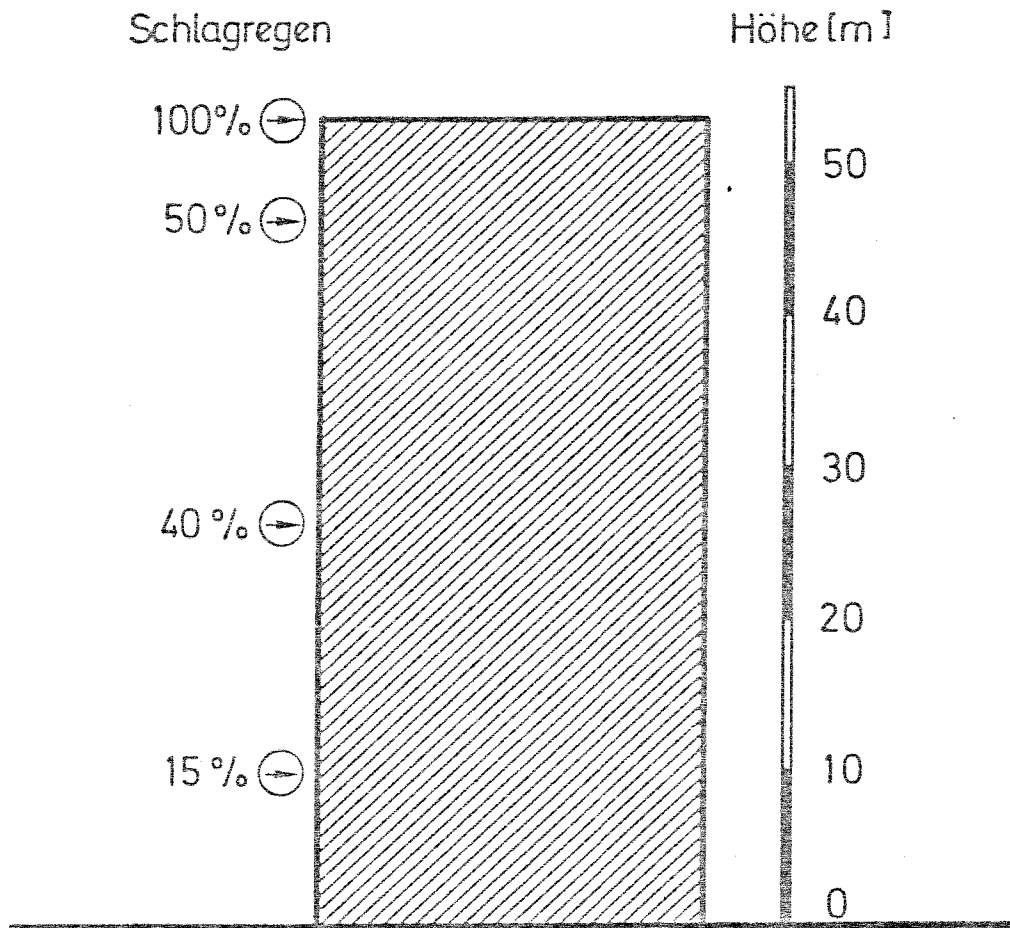


Bild 7: Verteilung der Schlagregenmenge an der dem Wetter ausgesetzten Fassadenfläche eines Gebäudes mit 53 m Höhe. Die am höchsten Punkt der Fassade gemessene Schlagregenmenge wurde = 100 % gesetzt [5]

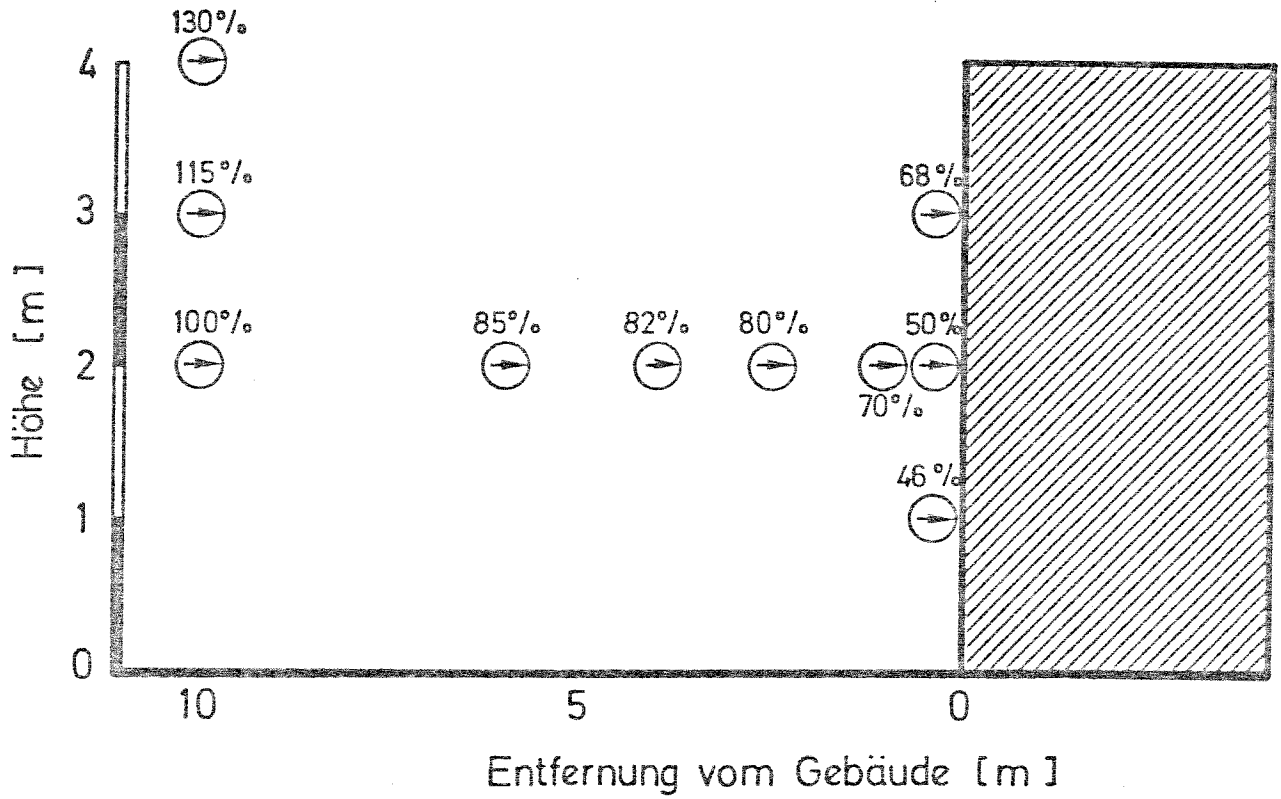





Bild 8: Verteilung der Schlagregenmengen an der Oberfläche eines 4 m hohen Testhauses und Schlagregenmengen in verschiedenen Abständen und Höhen vor dem Haus. Die in 10 m Abstand und 2 m Höhe vor dem Testhaus gemessene Schlagregenmenge wurde = 100 % gesetzt [6].

REGENGEBIETE

-  I (gering)
-  II (mittel)
-  III (stark)

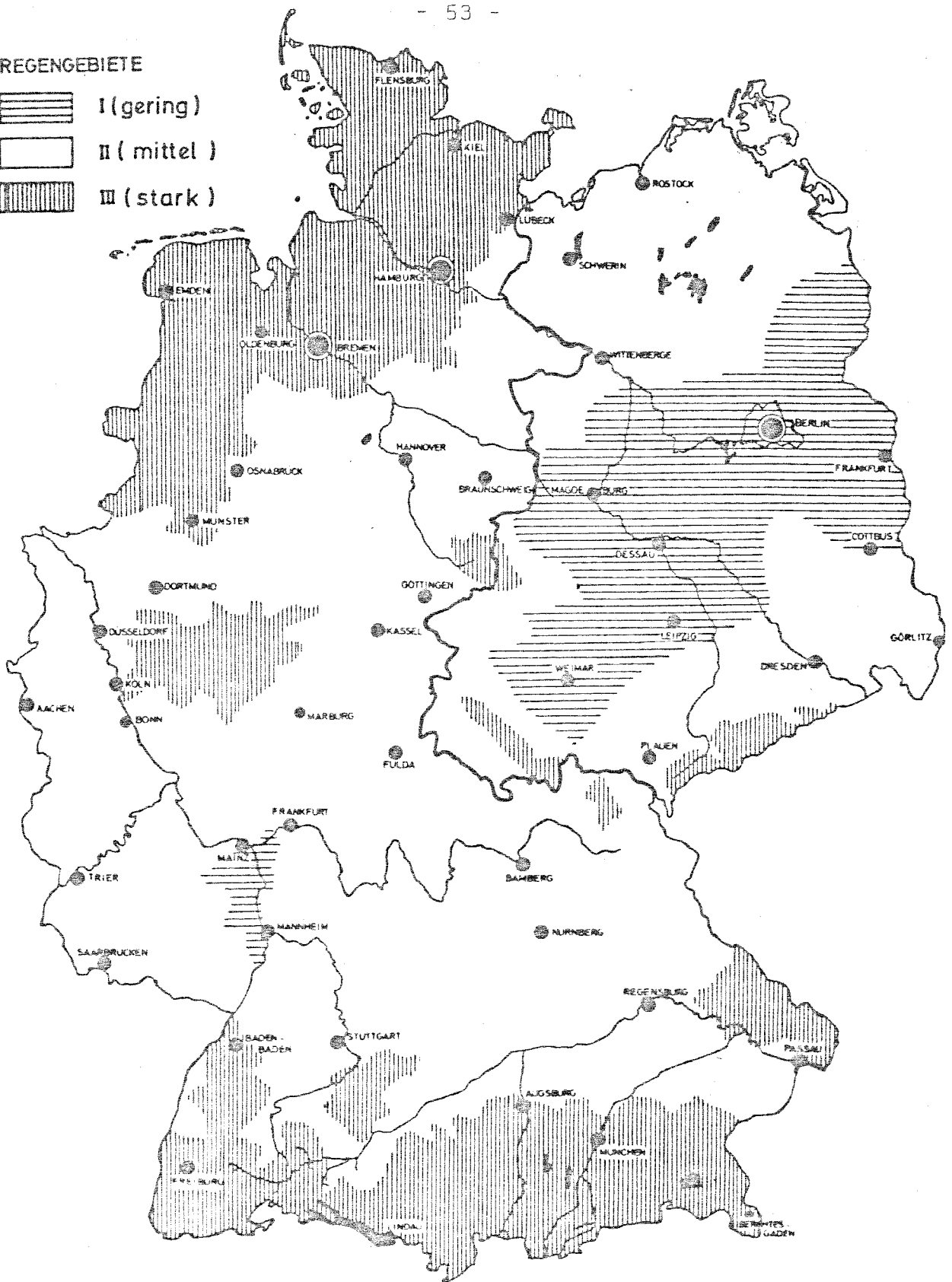


Bild 9: Schlagregenkarte von Deutschland, ermittelt auf Grund des mittleren Jahresniederschlags (mm) [10] als Hinweis für die Festlegung der Beanspruchungsgruppen

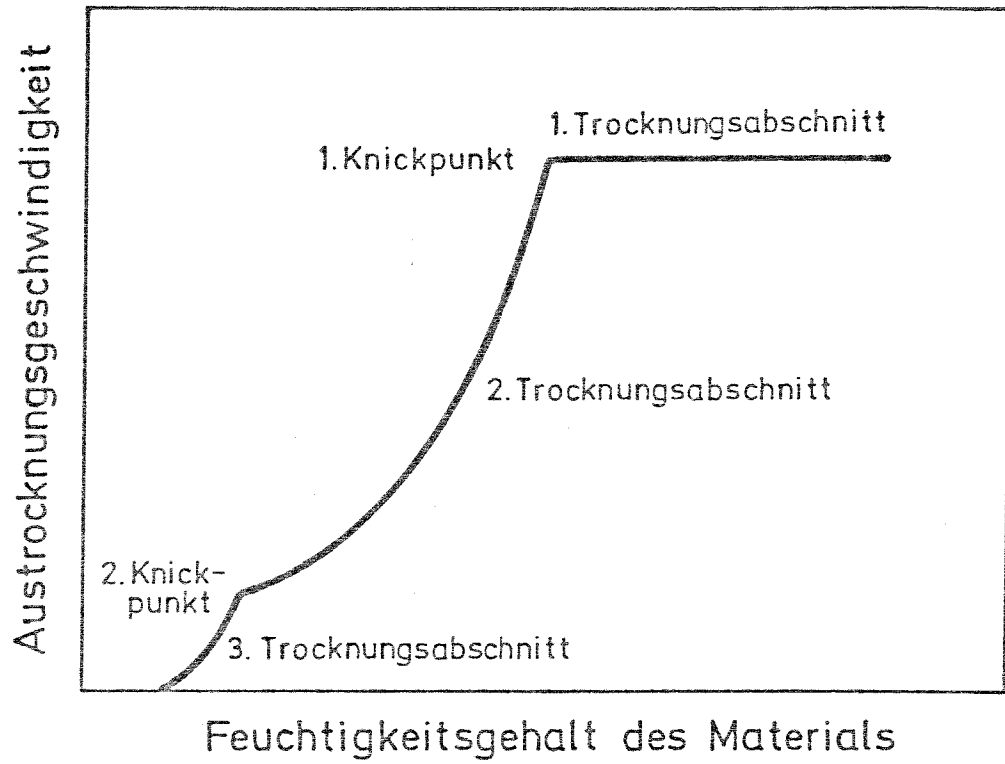


Bild 10: Schematischer Verlauf der Trocknung von porösen, hygroskopischen Stoffen nach Krischer [20]

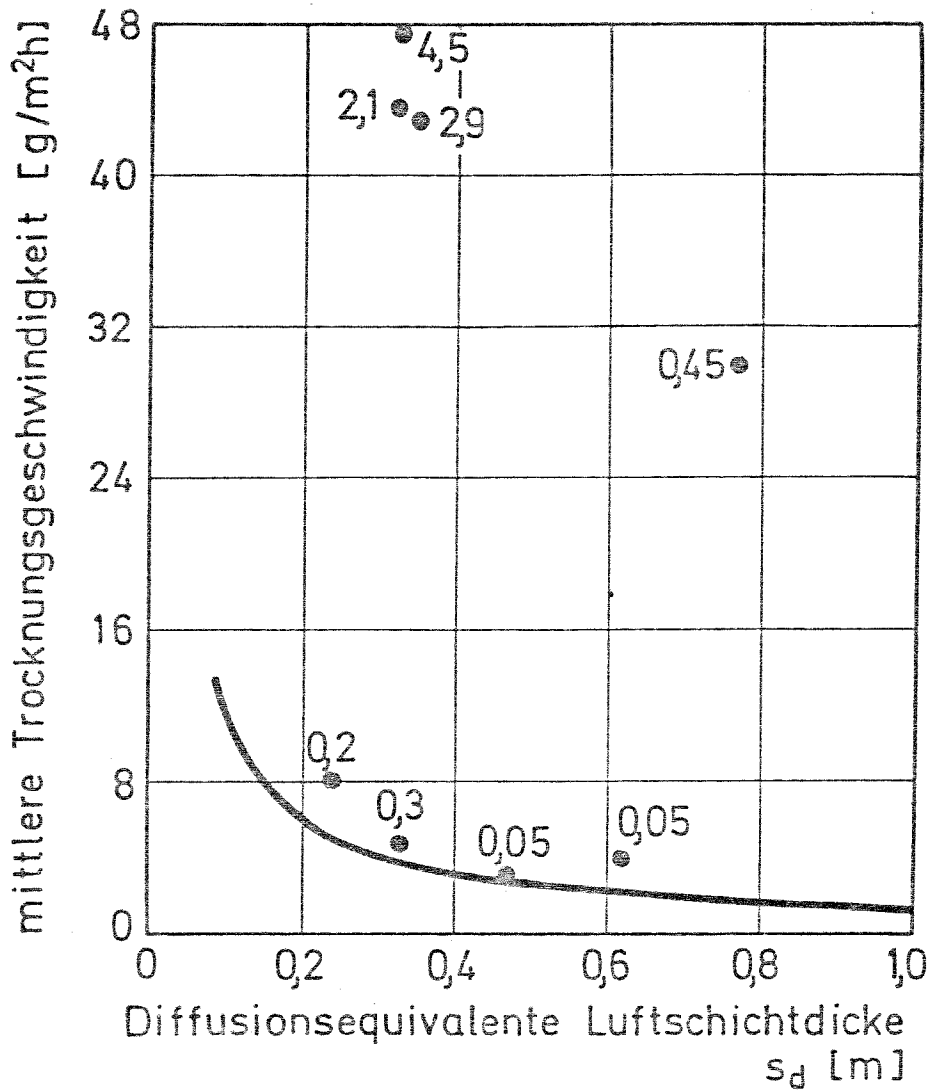


Bild 11: Mittlere gemessene Trocknungsgeschwindigkeit der Proben, bestehend aus Putzen und feuchtem Gips anstelle des Mauerwerks mit der Putzfläche als Verdunstungsfläche in Abhängigkeit von Diffusionswiderstand s_d der Putze.

Die eingetragene Kurve gibt den rechnerischen Zusammenhang für den Fall, daß die Trocknung nur durch Wasserdampf-Diffusion durch den Putz hindurch erfolgt.

Die Zahlenwerte bei den Meßpunkten geben den Wasseraufnahmekoeffizienten der Putze in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ an. Die Putze mit Wasseraufnahmekoeffizienten zwischen 0,05 und 0,3 $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ sind mit hydrophobierenden Zusatzmitteln hergestellt worden. Die übrigen Putze sind Kalkzementputze ($w = 0,45$) und Weißkalkputze ($w = 2,1$ bis $4,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$)

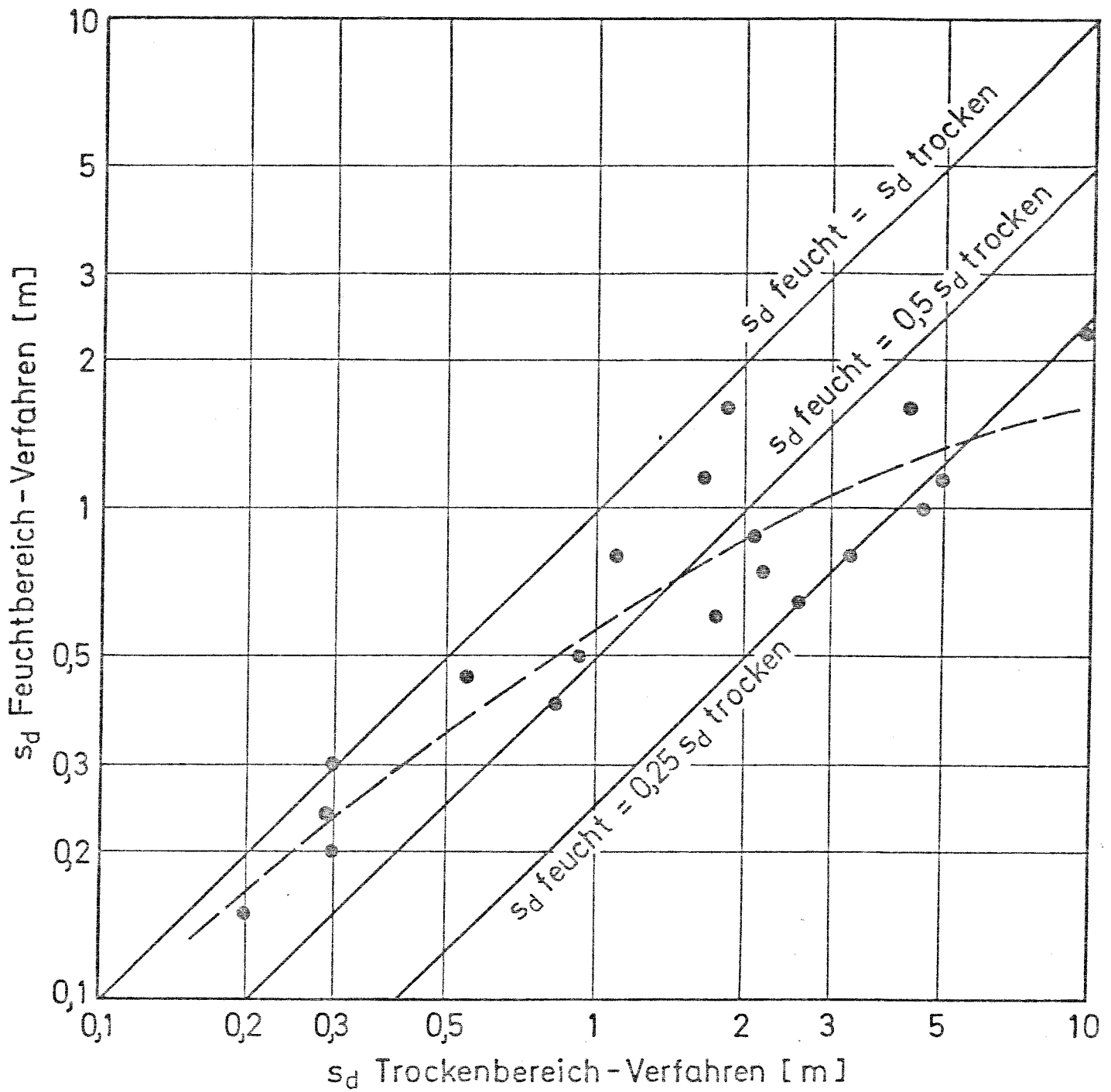


Bild 12: Meßwerte der diffusionsequivalenten Luftschichtdicke s_d von Kunstharzbeschichtungen, ermittelt an Kunstharzbeschichtungen (Anstriche und Putze) auf 2,5 cm dickem Gasbeton nach dem Trockenbereichverfahren und nach dem Feuchtbereichverfahren. Die gestrichelte Linie gibt den mittleren Zusammenhang wieder (Angaben in doppelt-logarithmischem Maßstab).

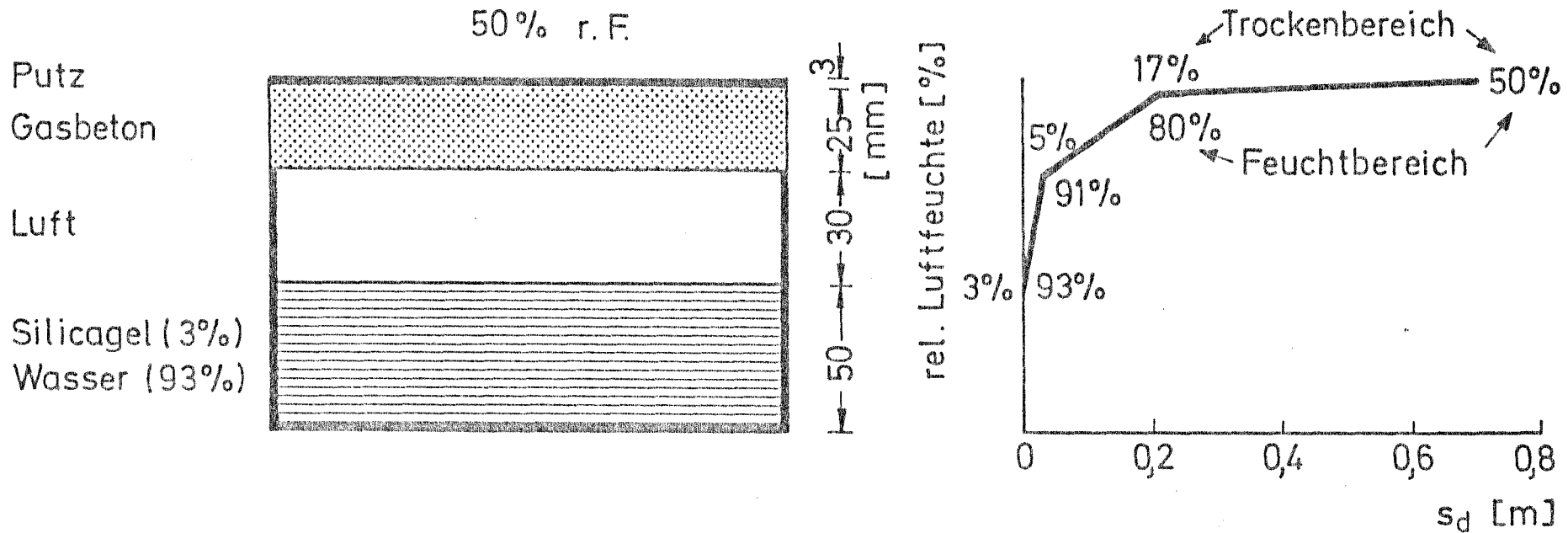


Bild 13: Schematische Darstellung eines "Diffusionsgefäßes" und Angabe der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_D der einzelnen Schichten (Gasbeton mit Kunstharzputz) sowie der sich einstellenden Luftfeuchte an den jeweiligen Grenzflächen beim Trockenbereichverfahren und beim Feuchtbereichverfahren (Gasbeton $\mu = 7$, Kunstharzputz $s_D = 0,5$ m nach dem Trockenbereichverfahren).

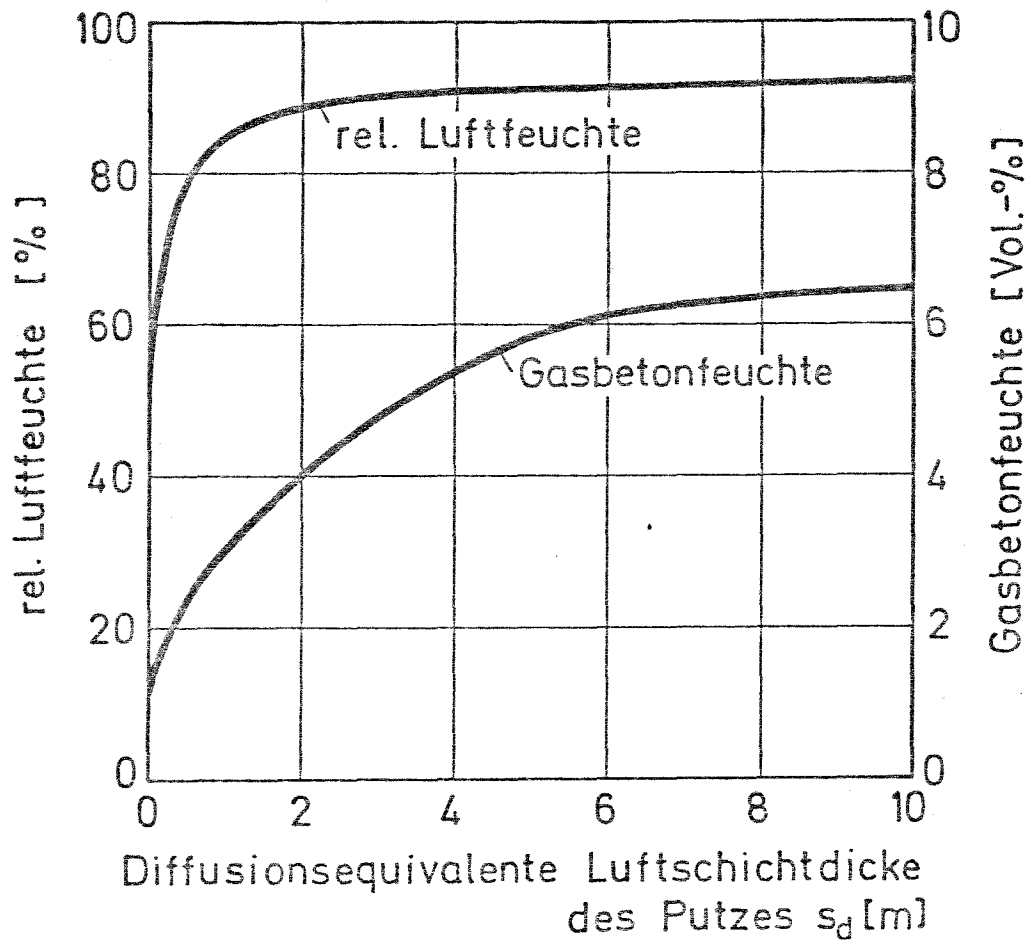


Bild 14: Rel. Luftfeuchte an der Grenzfläche zwischen Gasbeton und Kunstharzputz in Abhängigkeit von der diffusionsequivalenten Luftschichtdicke des Kunstharzputzes, rechnerisch ermittelt auf Grund der Diffusionswiderstandsverhältnisse entsprechend Bild 13, sowie Gasbetonfeuchte an der gleichen Grenzfläche, ermittelt nach dem gemessenen Zusammenhang in Bild 13.

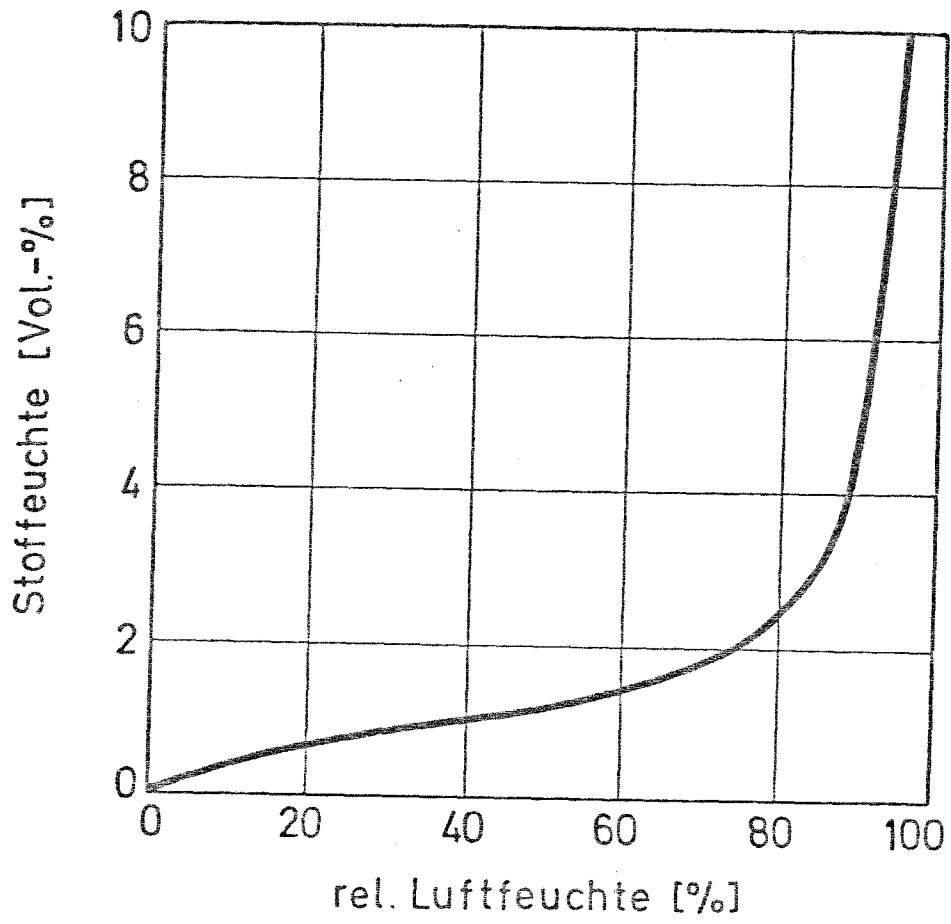


Bild 15: Sorptionsisotherme des Gasbetons bei 20°C.

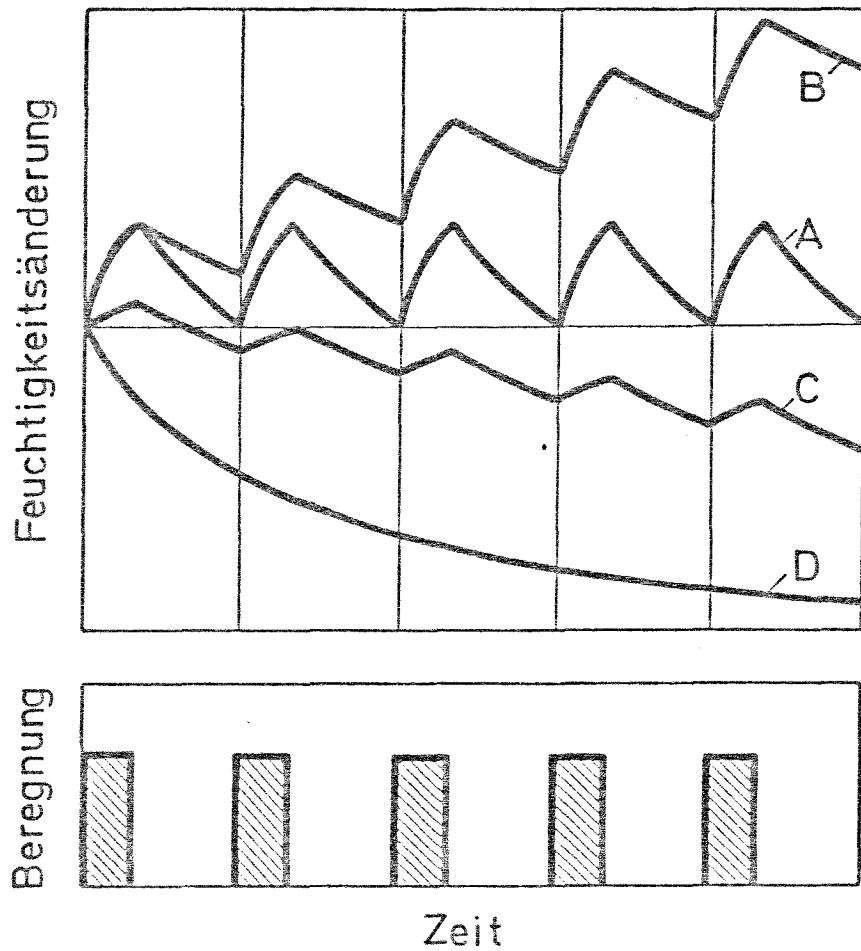


Bild 16: Darstellung der bei unterschiedlichen Werten der Wasseraufnahme bei Beregnung und der Wasserabgabe in Trocknungsperioden in einer Außenwand sich einstellenden Feuchtigkeitsverhältnisse bei periodischer Beregnung und Trocknung (schematisiert).

- A: Wasseraufnahme = Wasserabgabe: im Mittel gleichbleibender Feuchtigkeitsgehalt
- B: Wasseraufnahme > Wasserabgabe: im Mittel zunehmender Feuchtigkeitsgehalt
- C: Wasseraufnahme < Wasserabgabe: im Mittel abnehmender Feuchtigkeitsgehalt
- D: Wasseraufnahme = 0: optimale Verhältnisse; Feuchtigkeitsabgabe entsprechend den gegebenen Trocknungsbedingungen

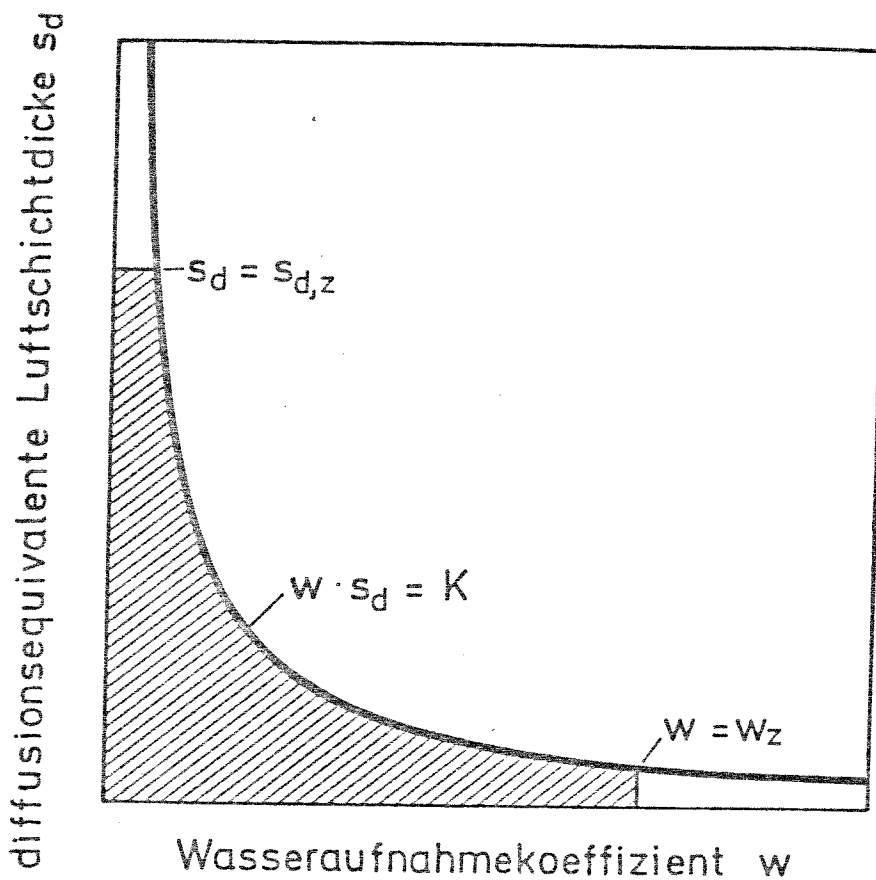


Bild 17: Schematische Darstellung des Anforderungsschemas für wasserabweisende Außenputze. Putze, die auf Grund ihres w -Wertes und s_d -Wertes in dem schraffierten Bereich des Diagramms liegen, werden als wasserabweisend bezeichnet.

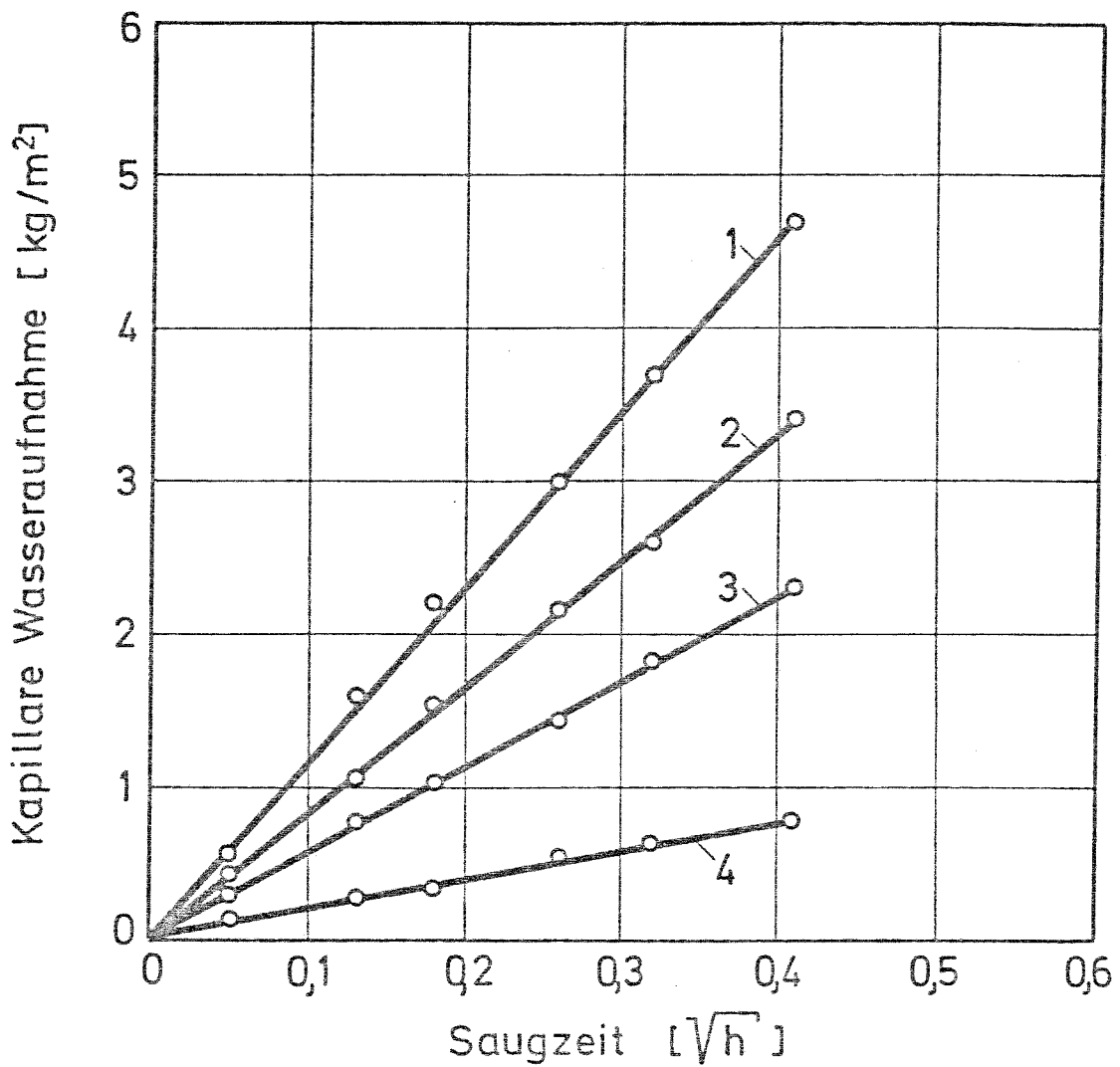


Bild 18: Kapillare Wasseraufnahme von Kalkzementputzproben
DIN 18 550, MG II die nach der Herstellung bis zur Messung in vier verschiedenen Arten behandelt worden sind.

1: 28 Tage in Normalklima 23/50, DIN 50 014

2: a) 24 Stunden im Klima 20/95
b) in Normalklima 23/50 bis Gewichtskonstanz
c) 1 Stunde wässern, lagern in Normalklima 23/50 bis Gewichtskonstanz
Behandlung c) wurde zweimal wiederholt
Behandlungsdauer insgesamt 8 Wochen

3: a) sieben Tage im Klima 20/95
b) 21 Tage in Normalklima 23/50

4: a) 28 Tage im Klima 20/95
b) in Normalklima 23/50 bis Gewichtskonstanz

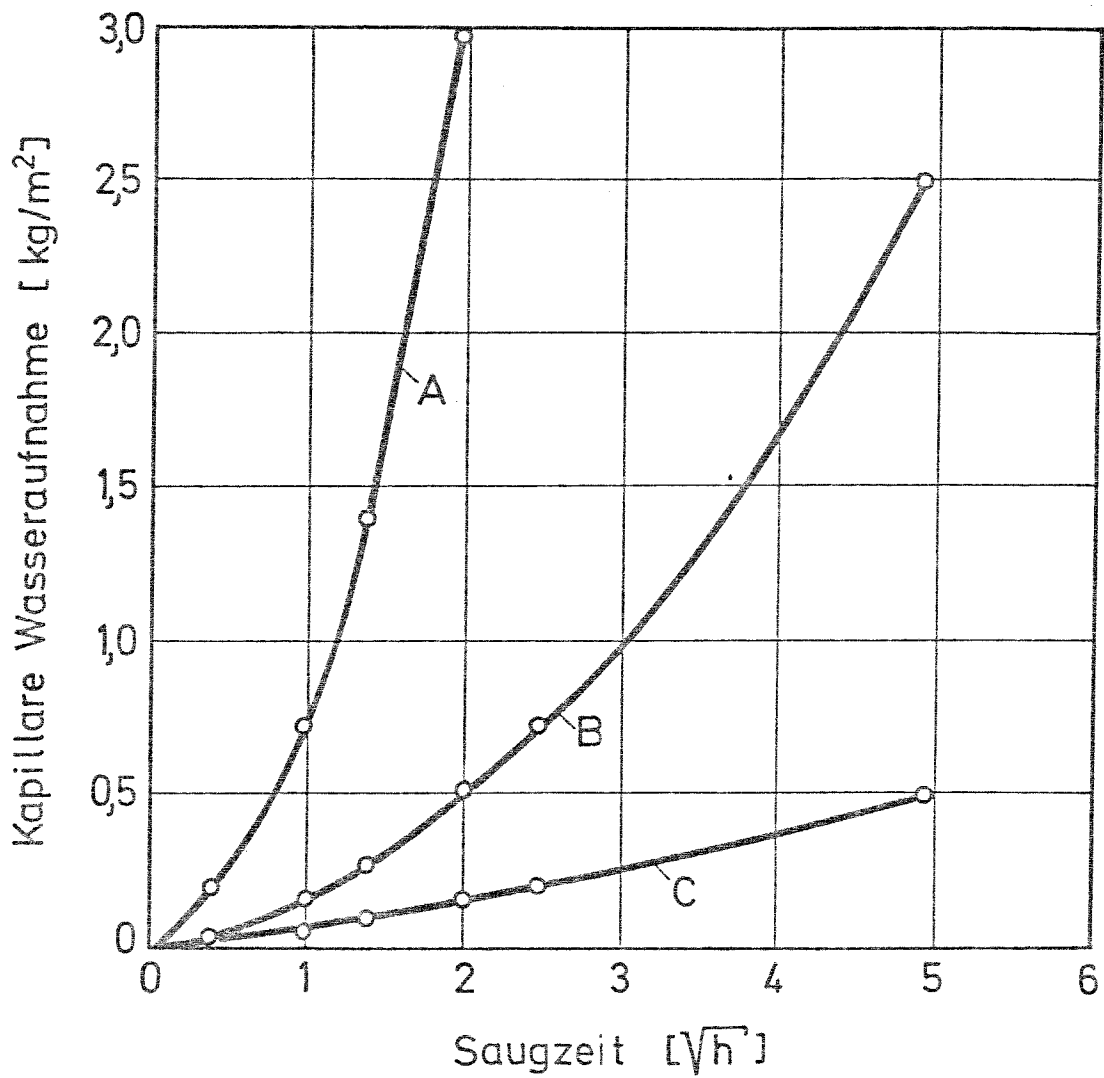


Bild 19: Kapillare Wasseraufnahme von Gasbetonproben mit Dispersions-Silicatfarben, die nach der Herstellung bis zur Messung in drei verschiedenen Arten behandelt worden sind.

A: keine Probenbehandlung

B: Wiederholung des Saugversuchs nach Trocknen der Probe bei 50°C

C: dreimaliges Wässern und Trocknen bei 50°C.

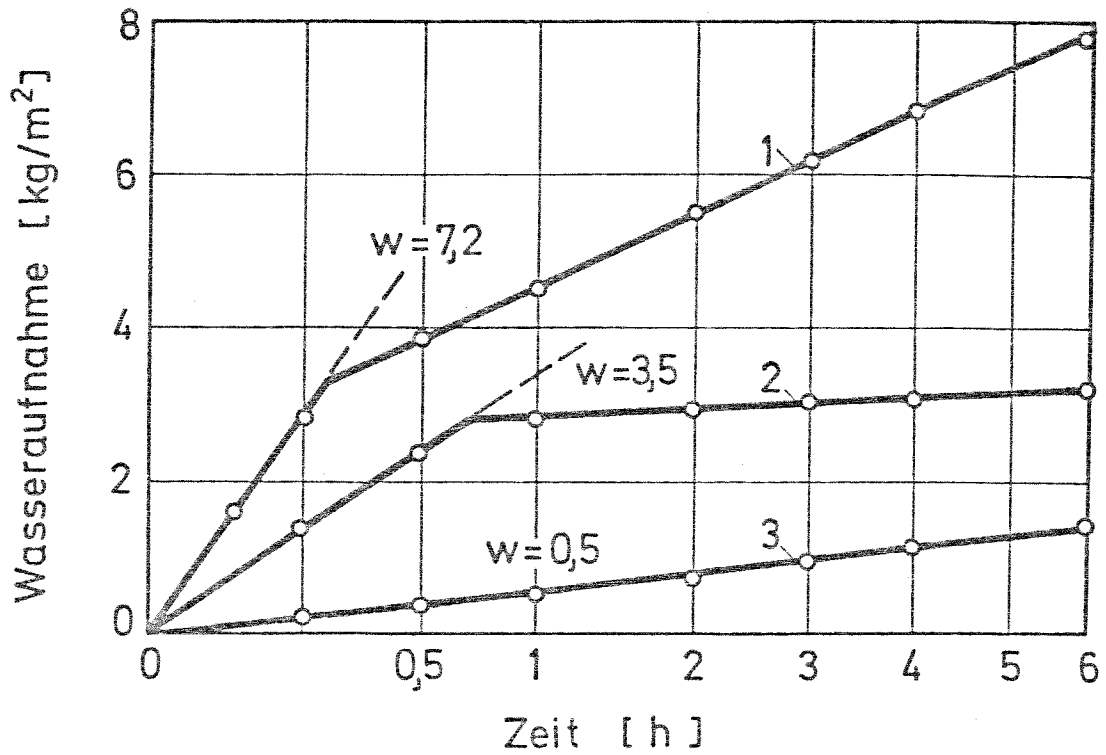


Bild 20: Kapillare Wasseraufnahme verschiedener Putze in Abhängigkeit von der Quadratwurzel der Zeit.

1 und 2: Weißkalkputze, die keine besonderen Anforderungen hinsichtlich des Regenschutzes erfüllen

3 : Kalkzementputz mit hydrophobierenden Zusatzmitteln

Alle Putze waren auf einer Gipsschicht aufgebracht, die als saugfähiger Putzgrund diente

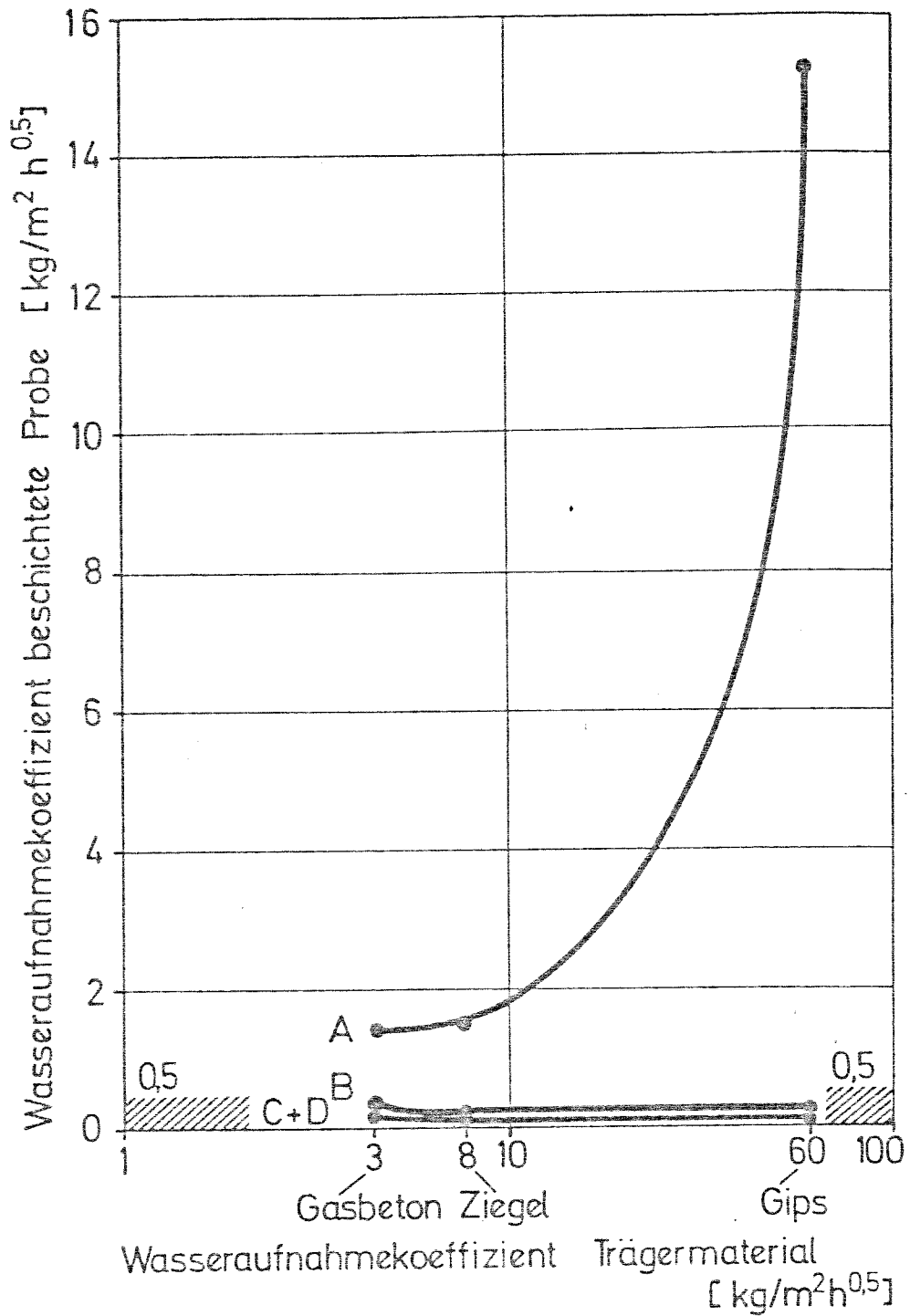


Bild 21: Wasseraufnahmekoeffizienten der beschichteten Proben in Abhängigkeit von den Wasseraufnahmekoeffizienten des Trägermaterials (Mittelwerte).

Der Wertebereich von wasserabweisenden Beschichtungen (w -Werte kleiner als $0,5 kg/(m^2h^{0,5})$) ist durch Schraffur angegeben. Bindemittelgehalte (Mowilith) der Kunstharzputze: A: 4 %; B, C, D: 8, 13, 16 %

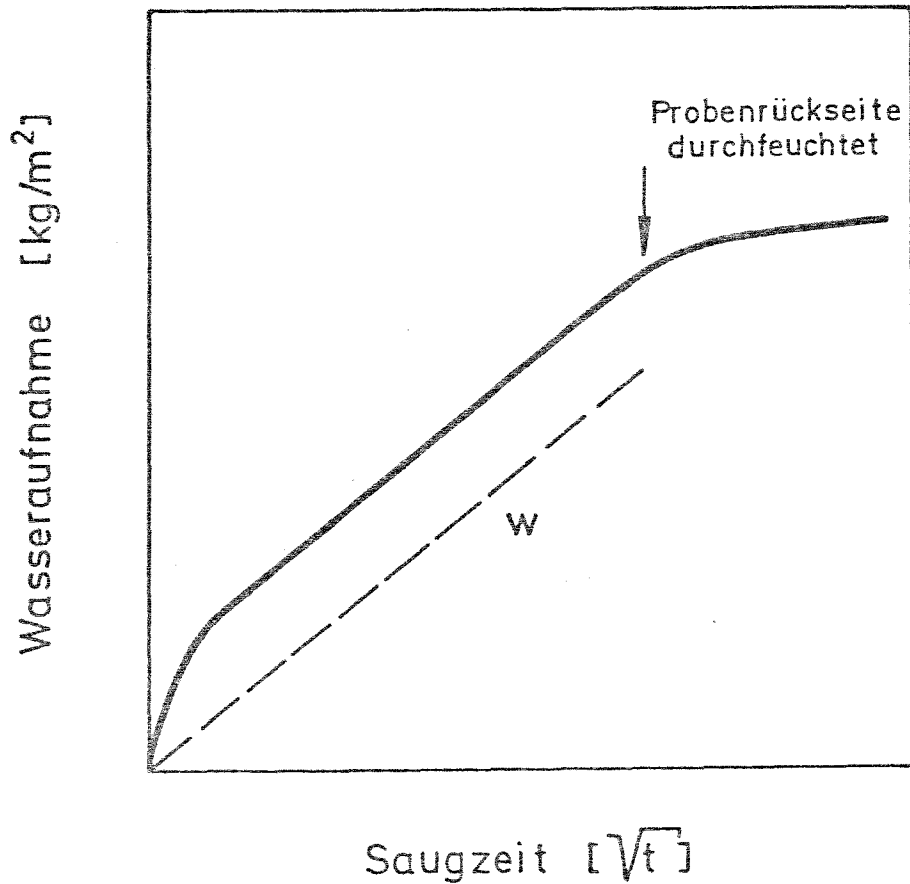


Bild 22: Schematische Darstellung der Wasseraufnahme eines mineralischen Putzes mit rauher Oberflächenstruktur (Kratzputz). Der anfänglich stärkere Anstieg ist durch die Wasseraufnahme der eingetauchten und benetzten Putzoberfläche bedingt. Der w -Wert ist aus der Steigung der anschließenden Geraden zu ermitteln (gestrichelte Gerade).

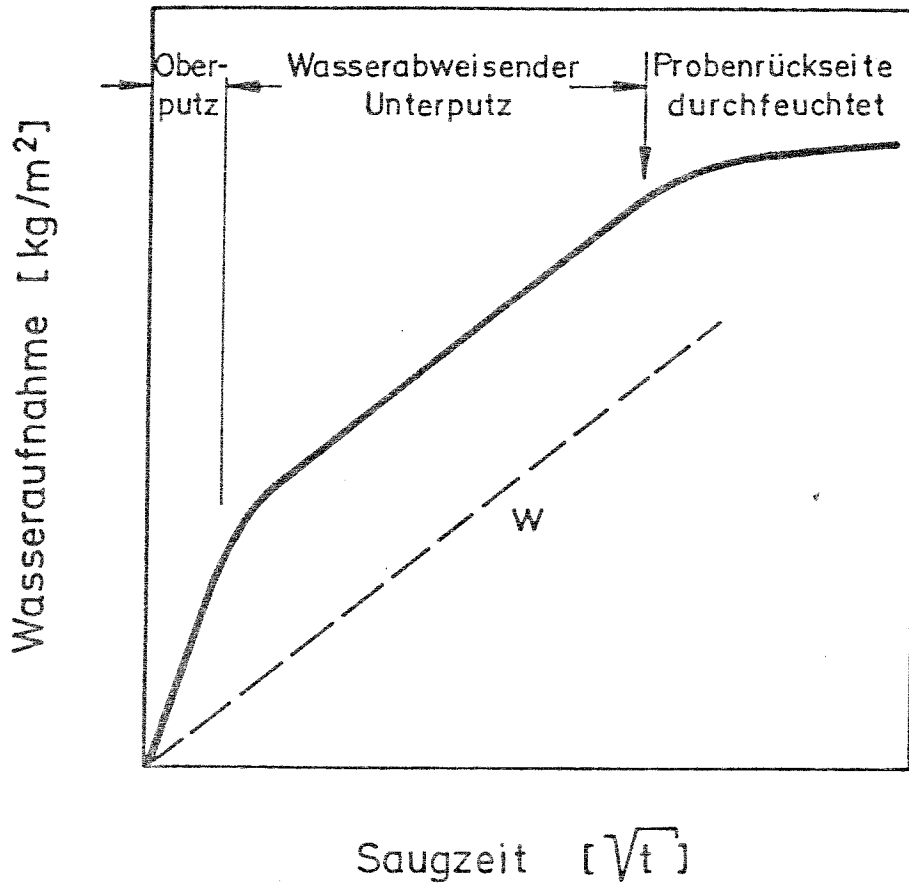


Bild 23: Schematische Darstellung der Wasseraufnahme eines mineralischen Putzes mit wasserabweisendem Unterputz und einem rein dekorativen Oberputz. Die Beurteilung des Regenschutzes erfolgt nur auf Grund der Eigenschaft des Unterputzes (gestrichelte Gerade).

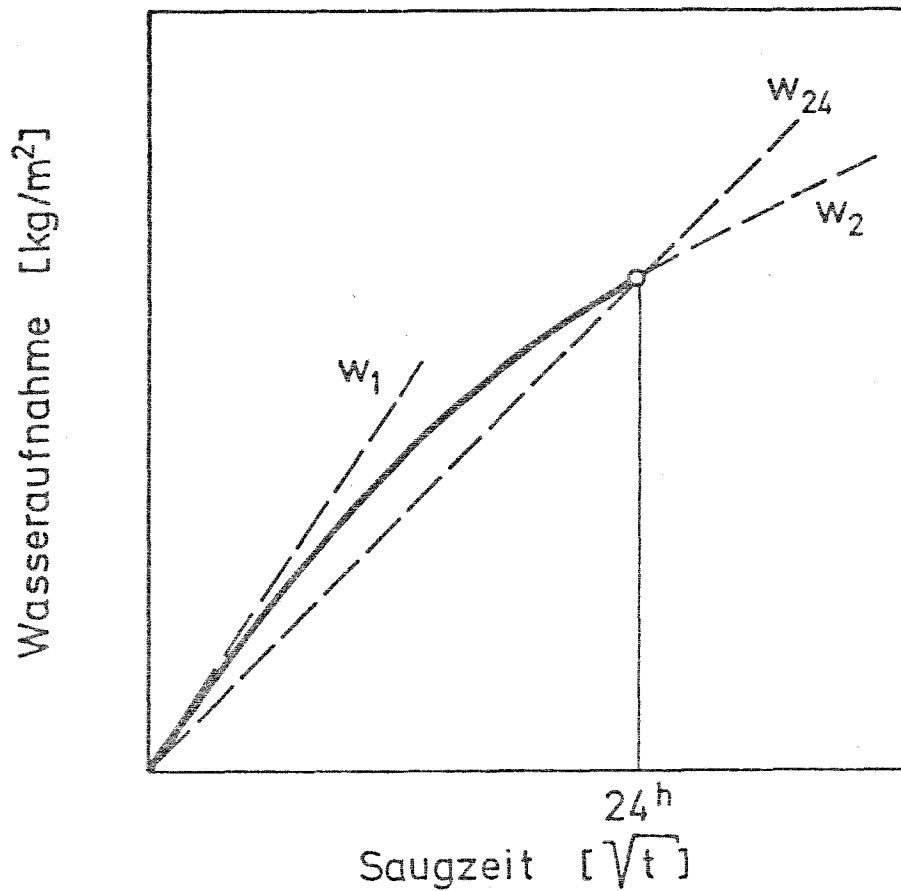


Bild 24: Schematische Darstellung der Wasseraufnahme eines Kunstharzputzes auf Gasbeton. Die Wasseraufnahme nimmt in Abhängigkeit von \sqrt{t} ab. Bei Beurteilung nach der Anfangssteigung wird der Putz zu schlecht bewertet (w_1), nach der Endsteigung (w_2) zu gut. Unter Zugrundelegung einer Regendauer von 24 Stunden (siehe Bild 5) ergibt sich der Wert w_{24} , der in diesem Fall nach DIN 52 617 für die Beurteilung des Regenschutzes verwendet wird.

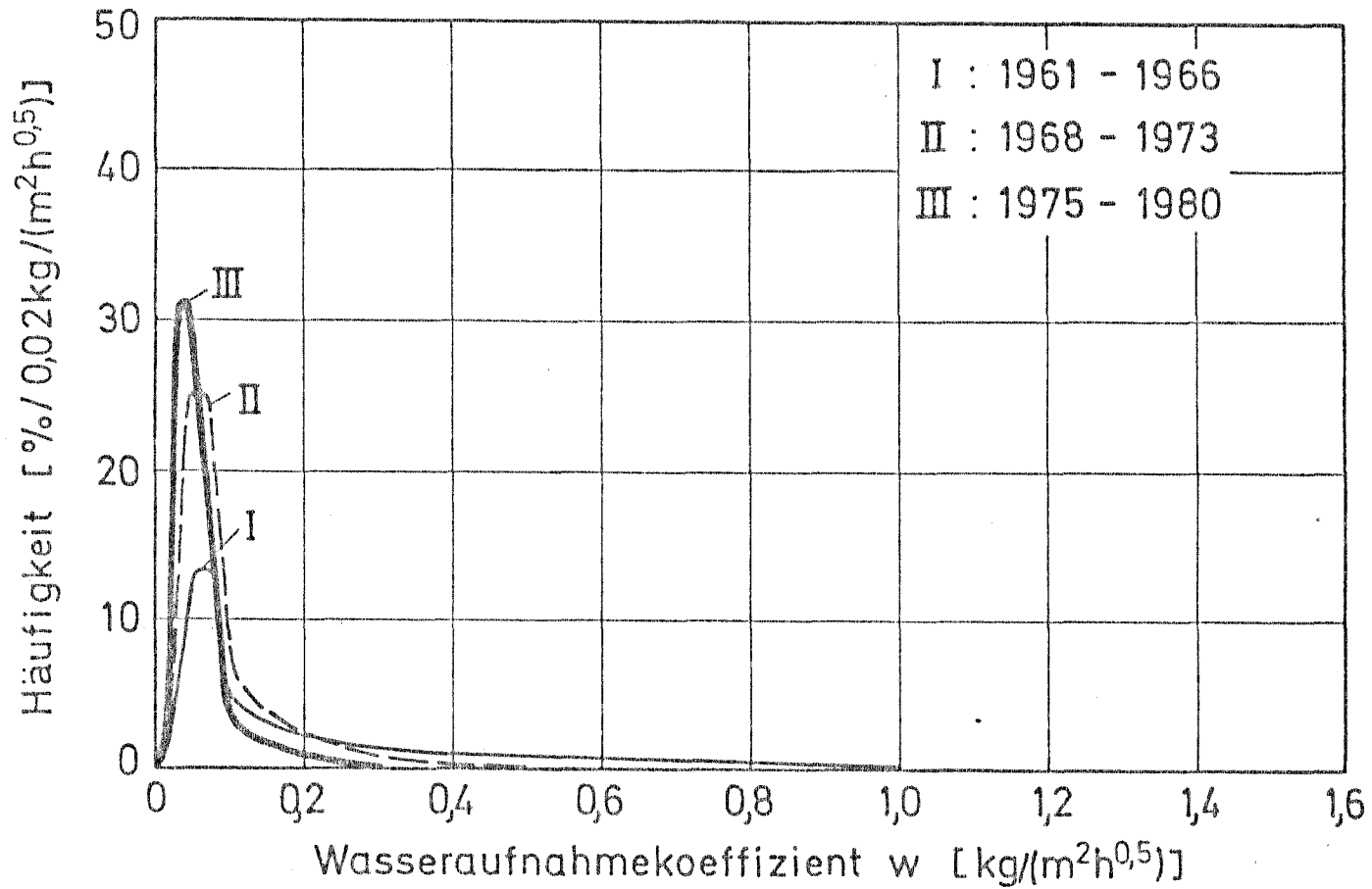


Bild 25: Häufigkeitsverteilungen der Wasseraufnahmekoeffizienten von handelsüblichen Kunstharzbeschichtungen in drei Zeiträumen zwischen 1961 und 1980 (jeweils 25 bis 60 Einzelmessungen).

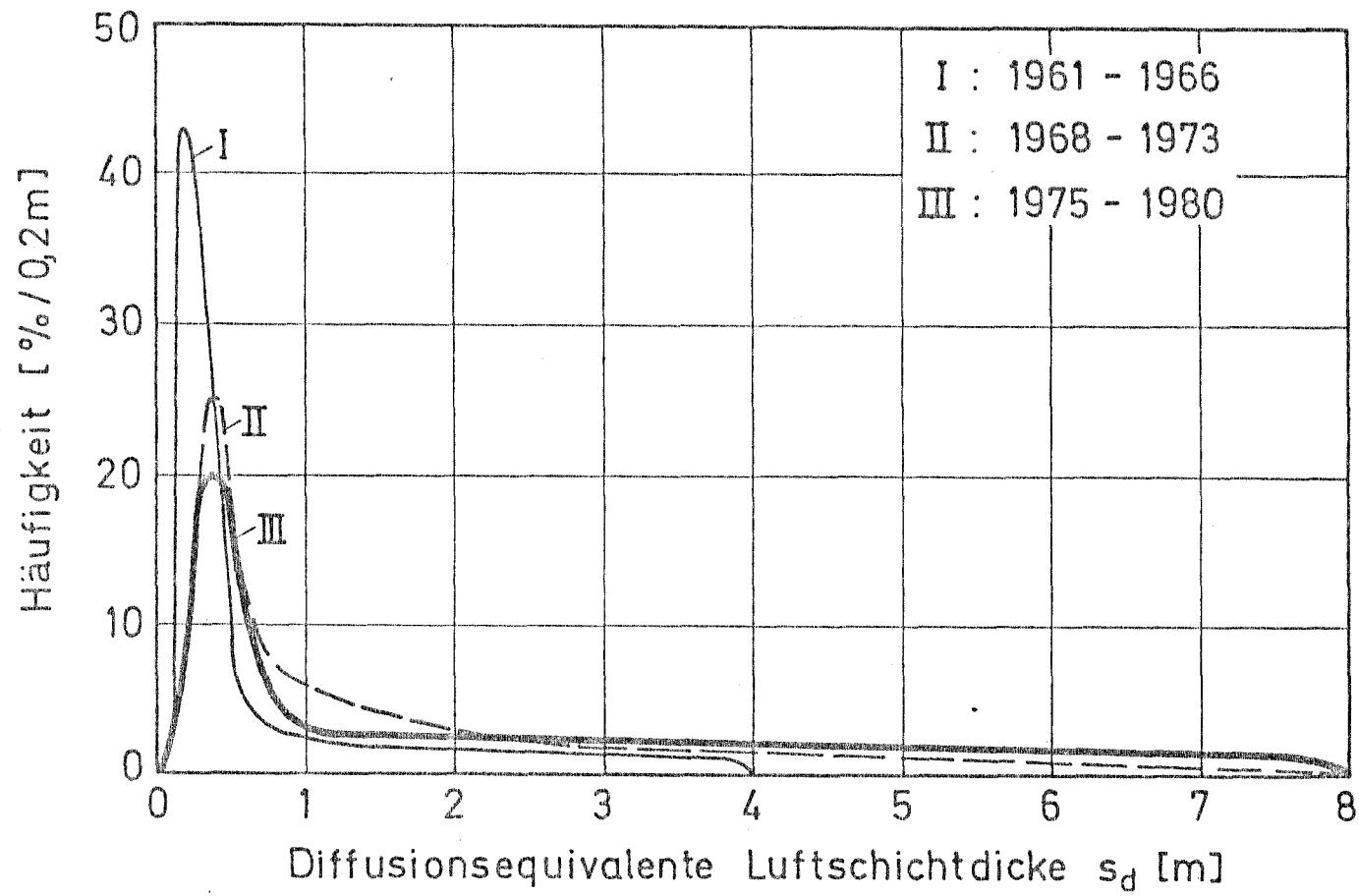


Bild 26: Häufigkeitsverteilungen der diffusionsequivalenten Luftschichtdicken von handelsüblichen Kunstharzbeschichtungen in drei Zeiträumen zwischen 1961 und 1980 (jeweils 25 bis 60 Einzelmessungen).

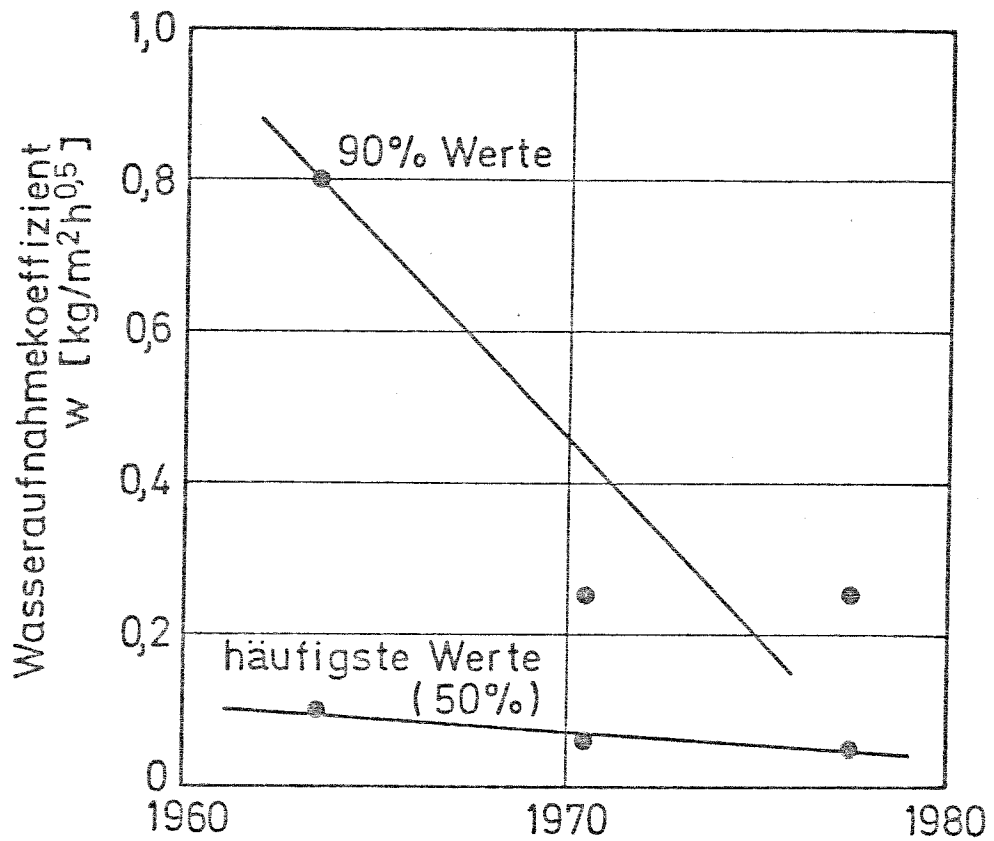


Bild 27: Änderung der Wasseraufnahmekoeffizienten von handelsüblichen Kunstharzbeschichtungen im Zeitraum von 1961 bis 1980 nach statistischer Ermittlung (50 %-Fraktile mit 90 %-Fraktile).

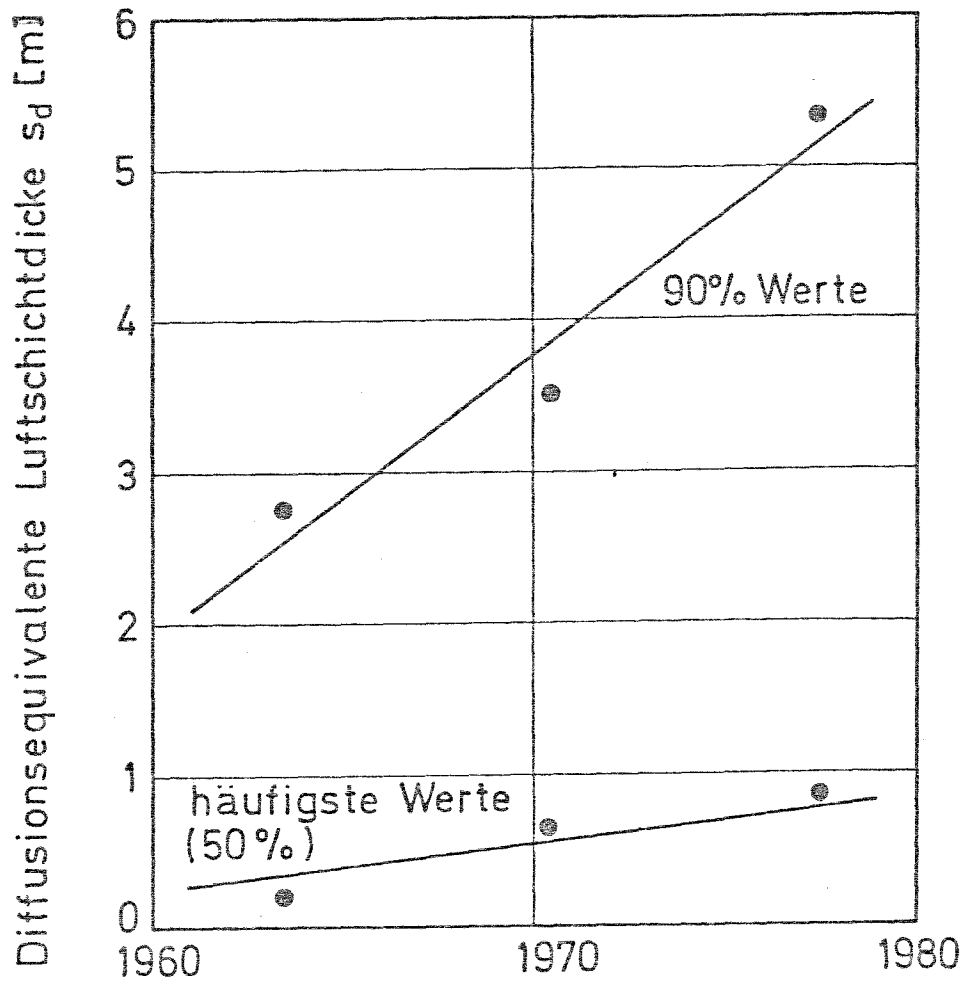


Bild 28: Änderung der diffusionsequivalenten Luftschichtdicken von handelsüblichen Kunstharzbeschichtungen im Zeitraum von 1961 bis 1980 nach statistischer Ermittlung (50 %-Fraktile und 90 %-Fraktile).

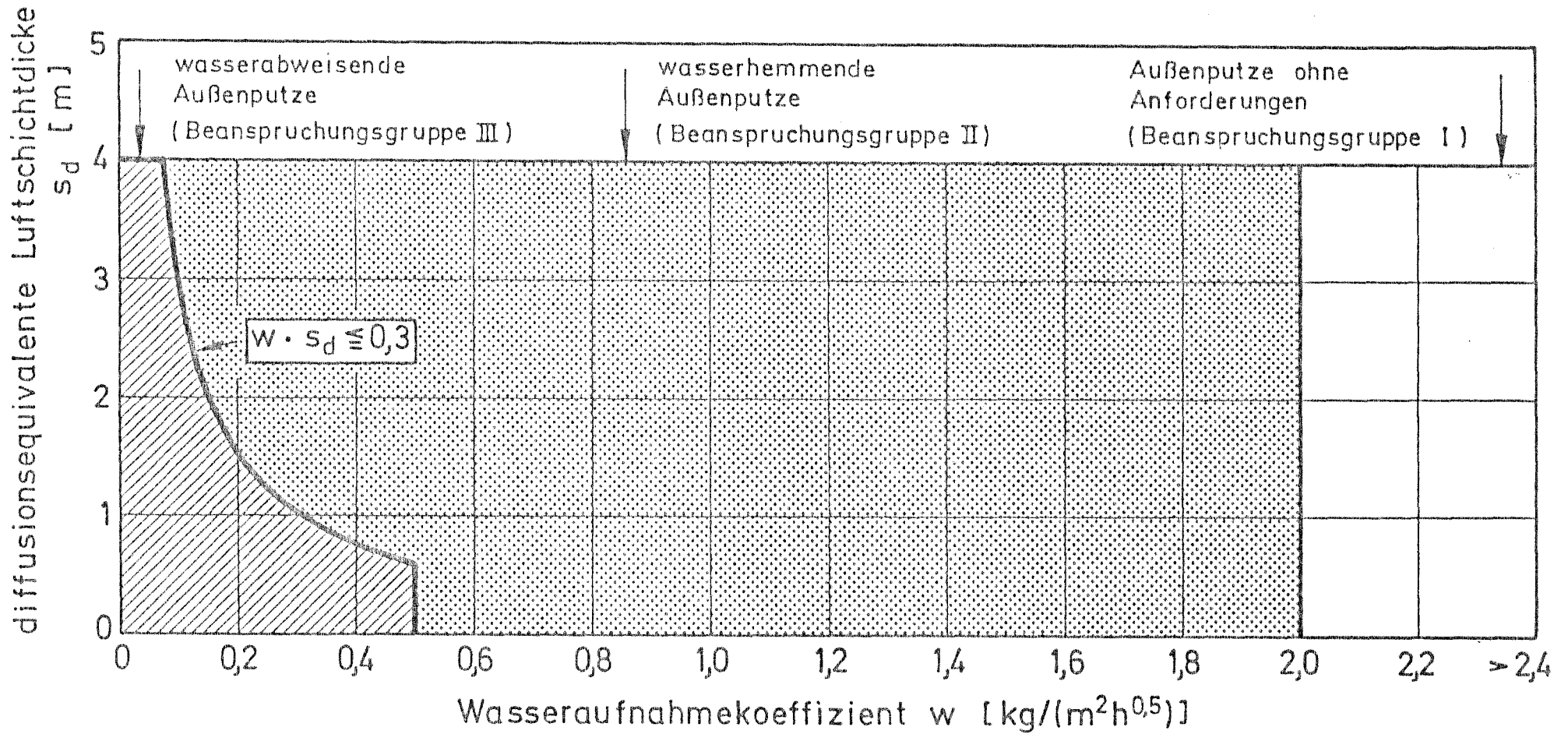


Bild 29: Beurteilung des Schlagregenschutzes von Außenputzen auf Grund des Wasseraufnahmekoeffizienten und der diffusionäquivalenten Luftschichtdicke und Zuordnung zu den Beanspruchungsgruppen nach DIN 4108, Teil 3.