



Abschlussbericht zum F + E Projekt 127 378
Hinterlüftete Fassaden

von

Christoph Tanner

EMPA, Arch. HTL Abt. Bauphysik

Unterstützung und Mitarbeit:

R. Sagelsdorff

Th. Frank

P.-A. Dupuis

E. Krebs

K. Mathis

J. Heierli

und weitere Fachleute der EMPA

Projektleiter

EMPA, Abteilungsvorsteher Bauphysik

EMPA, Laborleiter Bauphysik

EMPA, Techn. Mitarbeiter Bauphysik

EMPA, Wiss. Mitarbeiterin Bauphysik

EMPA, Wiss. Mitarbeiter Bauphysik

(Abt. 112, 116, 136)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Zusammenfassung	4
2. Allgemeines	
2.1. Hinterlüftete Fassaden	5
2.2. Zielsetzungen	5
2.3. Grundlagen	6
2.4. Nicht behandelte Themen	7
3. Laborprüfungen + Berechnungen	
3.1. Berieselung von Mineralfaserplatten im Schlagregenprüfstand	9
3.2. Berieselung von Mineralfaserplatten im Bewitterungsprüfstand	13
3.3. Wassertransport im Fassadensystem mit offenen Fugen	16
3.4. Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern / k-Wert Messungen	22
3.5. Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern / Berechnungen	29
4. Konstruktions - Kriterien	
4.1. Bekleidung	34
4.2. Fugen	35
4.3. Hinterlüftungsspalt	39
4.4. Befestigungen / Anker	42
4.5. Wärmedämmung und k-Wert	46
4.6. Untergrund / Details	49
4.7. Unterhalt / Diverses	51
5. Spezielle Untersuchungen	
5.1. Schlagregeneinfluss Sommer - Winter	52
5.2. Schlagregen in Funktion seiner Dauer	57
5.3. Feuchtemessungen an Gebäuden	58
5.4. Baustellen - Reportage	63
6. Literatur	80
7. Beilagen	85

1. Zusammenfassung

1. ZUSAMMENFASSUNG

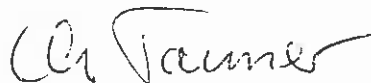
Hinterlüftete Fassaden gelten allgemein als problemlose, bauphysikalisch sichere Konstruktion. Ist dies tatsächlich so ?

Eine Literaturstudie und verschiedene Laborprüfungen an Mineralfaser-Dämmstoffen zeigten nun, dass in der Praxis bei hinterlüfteten Fassaden (speziell mit Natursteinbekleidungen) noch viele Fragen zur Qualität und Verwendungsart der marktüblichen Produkte bestehen.

Es wurden deshalb weitere umfangreiche Laborprüfungen, Computerberechnungen und Bauplatz-Besichtigungen gemacht, welche u.a. folgende bauphysikalisch interessante Erkenntnisse und Resultate ergaben:

- Bei der Anwendung von Mineralfaserstoffen als hinterlüftete Aussenwärmedämmung ist nicht in erster Linie die Wasseraufnahme und -abgabe, sondern die Formstabilität unter Wassereinwirkung von Bedeutung.
- Bei offenen Fugen in der Fassadenbekleidung sind andere Konstruktionskriterien zu beachten als bei geschlossenen Fugen.
- Die Fassadenanker verursachen punktförmige Wärmebrücken. Je nach Ankertyp und Montageart sind diese zusätzlichen Wärmeflüsse sehr erheblich. Messwerte für Konsolanker zeigten k-Wert Zuschläge von 30%. Berechnungen ergaben für Alu-Anker bis zu 60 % k-Wertzunahme. Eine wirksame Reduktion konnte durch Kunststoff-Unterlagen und eine saubere Dämmstoffanpassung um die Ankerstellen erzielt werden. Zudem wurde festgestellt, dass auf der Baustelle u.E. unakzeptable Schweissarbeiten an Ankern ausgeführt werden.
- Für die ganze Konstruktion sind nicht feuchte Dämmstoffe oder geometrische Wärmebrücken energetisch relevant, sondern Montagearbeiten und punktförmige (Anker) Wärmebrücken.
- In verschiedenen Arbeitsbereichen muss qualitativ besser und sorgfältiger gearbeitet werden. Dies gilt nicht nur für die ausführenden Handwerker sondern auch für Planung und Bauleitung (Kontrollen).

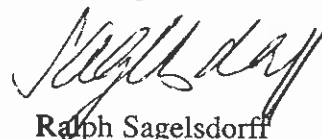
EMPA Dübendorf
Abteilung Bauphysik
Der Sachbearbeiter:



Christoph Tanner

Dübendorf, 25. Sept. 1992

Der Projektleiter:



Ralph Sagelsdorff

2. Allgemeines

2. ALLGEMEINES

In der 2. Auflage sind einzelne Hinweise im Bereich Statik und Werkstofftechnologie in Zusammenarbeit mit den Abteilungen Massivbau und Korrosion überarbeitet worden. Ferner sind einige zusätzliche Wärmebrücken-Berechnungsergebnisse sowie der neuste Stand der EMPA k-Wert Kammer aufgeführt.

2.1. Hinterlüftete Fassaden

Hinterlüftete Fassaden gelten als bauphysikalisch sichere Bauweise, da die vorgesezte Bekleidung bei richtiger Materialwahl und entsprechenden konstruktiven Details, die an sie gestellten Anforderungen bezüglich Wetterschutz und Aesthetik mit langer Lebensdauer erfüllen kann. Es ist somit auch eine mögliche Bauweise für Hochhäuser und stark exponierte Lagen. Für die Auswahl der Bekleidung steht dem Architekten eine grosse Palette von Möglichkeiten zur Verfügung, wie z.B. Holz, Metall, Naturstein, Beton, Faserzement, Keramik, Ziegel, Glas und weitere Produkte.

Mit neuen Materialien und dem Fortschritt der Bautechnik ergeben sich für das System der hinterlüfteten Fassade immer wieder neue ästhetische und konstruktive Möglichkeiten.

Eine hinterlüftete Fassade funktioniert aber nur dann einwandfrei und langfristig ohne Schaden, wenn sie durch qualifizierte Fachleute geplant, konstruiert, erstellt und kontrolliert wird.

In der Planungsphase speziell zu berücksichtigen sind die Grundsätze der SIA-Norm 160 "Einwirkungen auf Tragwerke", 1989, wo klare Weisungen bezüglich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit gegeben sind, denn unter den heutigen Umwelteinflüssen muss das Langzeitverhalten von neuartigen, der Bewitterung ausgesetzten Konstruktionen besonders sorgfältig beurteilt und überwacht werden.

2.2. Zielsetzungen

Angeregt durch eine Untersuchung für das Hochbauamt des Kt. Zürich, durch Fragen und Diskussionen mit Fachleuten und aufgrund einer Literaturstudie (siehe Kap. 6) kamen wir zur Einsicht, dass in Theorie und Praxis noch viele offene Detailfragen zu Konstruktionen mit Hinterlüftung bestehen (offene Fugen in der Bekleidung, Wärmebrückenwirkung der Fassaden-Anker, Art der zu verwendenden Wärmedämmstoffe,

2. Allgemeines

Verarbeitungsqualität, etc.). Dabei sind beim Anwender vielfach Unsicherheiten bezüglich den auf dem Markt angebotenen Produkten und deren Verwendung vorhanden.

Die vorliegende Arbeit soll Lösungen aufzeigen und Stellung nehmen zu einigen wesentlichen bauphysikalischen Problemen im System der hinterlüfteten Fassade, wobei das Schwergewicht im Bereich Natursteinbekleidungen liegt.

2.3. Grundlagen

Die Bauphysik-Abteilung der EMPA kann Probleme des Wärme-, Feuchte- und Brandschutzes rund um den Hochbau interdisziplinär lösen, wozu eine moderne Ausrüstung und verschiedene Rechen- und Simulationsprogramme zur Verfügung stehen.

Die Resultate dieser Studie basieren u.a. auf:

- Laborversuchen
- Computerberechnungen
- Erfahrungswerten aus früheren EMPA-Untersuchungen
- Baustellenbesuchen und Diskussionen mit Baufachleuten
- Literaturangaben (Kap. 6)

Teilweise sind die Resultate auch schon in den folgenden Schriftstücken abgehandelt worden:

- Bericht für das Hochbauamt des Kt. Zürich, betreffend 3. Bauetappe der Uni Irchel "Aussenwärmedämmung mit hinterlüfteter Verkleidung aus Natursteinplatten" (Bericht EMPA-Nr. 120 288 / Juli 1990)
- Bericht für das Hochbauamt des Kt. Zürich betreffend 3. Bauetappe der Uni Irchel "Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern" (Bericht EMPA-Nr. 120 288/1 November 1990)
- Vorlesung Spezialfragen der Bauphysik WS 1990/91 von R. Sagelsdorff, Kap. 5 "Belüftete Wandkonstruktionen"
- diverse nichtöffentliche Untersuchungsberichte der EMPA

Der vorliegende F + E Bericht enthält alle massgebenden Feststellungen und Resultate von den durchgeführten Prüfungen. Auf die Wiedergabe von einzelnen Mess- und Rechenwerten wurde z.T. verzichtet, da sie oft nur im Zusammenhang mit visuellen Beobachtungen sinnvoll interpretierbar sind. Einzelwerte können jedoch auf Wunsch in den Akten der EMPA eingesehen werden.

2. Allgemeines

2.4. Nichtbehandelte Themen

Nicht, bzw. nur am Rand dieses Berichtes behandelte Problem-Bereiche:

- Werkstofftechnologie *
- Statik, Bemessung *
- Oekologie
- Oekonomie
- Schallschutz
- Brandschutz **

- * Die behandelten bauphysikalischen Themen haben z.T. fließende Uebergänge zu wichtigen angrenzenden Fachgebieten.

Da sich im Verlauf der Untersuchungen zeigte, dass in der Praxis oft riskante bzw. nicht kontrollierbare und überwachbare Ankerkonstruktionen zu finden sind, wurden im Bericht auch für die Problemkreise Statik, Bemessung und Werkstofftechnologie einige Empfehlungen abgegeben. Dies jedoch ohne den Anspruch zu erheben, diese Gebiete bezüglich Thematik und Prioritäten vollständig abzudecken.

- ** Alle Prüfungen und Untersuchungen wurden mit nichtbrennbaren Mineralfaserdämmstoffen gemacht, da die meisten kantonalen feuerpolizeilichen Vorschriften und die Richtlinien der VKF für hinterlüftete Fassaden bei Gebäuden über 2 Geschossen eine minimale Brandkennziffer von 5 (200°C).1 vorschreiben. [Lit. 1.05 / 3.01 / 3.02].

Das ausführliche Literaturverzeichnis in Kap. 6 bietet weitere Informationen zu den erwähnten Fachgebieten.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3. LABORPRÜFUNGEN+BERECHNUNGEN

Dieses Kapitel informiert über alle im Rahmen dieses Berichtes an der EMPA durchgeführten Laborprüfungen und Computerberechnungen. Es wird verschiedentlich auf Literatur [Lit. ...] verwiesen, (Zusammenstellung in Kap. 6) wo ähnliche Probleme untersucht und beschrieben werden.

Die Untersuchungen umfassen z.T. Normprüfungen (k-Wert, gravimetrische Feuchtebestimmung etc.), sind aber auch durch produktespezifische Spezialprüfungen ergänzt worden. (Flächige Feuchteverteilung, Berieselung der Dämmstoffe etc).

Die Unterkapitel sind folgendermassen aufgebaut:

- .1 Ziel der Prüfung
- .2 Aufbau der Prüfkörper
- .3 Prüfbedingungen
- .4 Feststellungen und Resultate
- .5 Ergänzungen / Fotos

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.1. Berieselung von Mineralfaserplatten im Schlagregenprüfstand

3.1.1. ZIEL DER PRÜFUNG

Aufzeigen der Empfindlichkeit von Mineralfaserplatten gegenüber Schlagregen speziell: Wasseraufnahme /-abgabe, Eindringtiefe, Faserverlust.

Anmerkung: Erst im Frühjahr 1992 wurde festgestellt, dass verschiedene Faserprodukte ungeeignet sind für den Einsatz in hinterlüfteten Fassaden (siehe Kap. 3.1.5).

3.1.2. AUFBAU DER PRÜFKÖRPER (PK)

Die Mineralfaserplatten wurden in einen Holzrahmen von 1.5 x 1.5 m (Innenmasse) eingesetzt.

Geprüfte Typen:

Steinfasern: Rohdichte ca. 60 und 85 kg/m³ (d = 100 mm)

Glasfasern: Rohdichte ca. 35 und 50 kg/m³ (d = 100 / 50 + 50 mm)

z.T. doppellagig (kreuzweise) verlegt

3.1.3. PRÜFBEDINGUNGEN

(Schema des Schlagregenprüfstandes siehe Beilage 7.1)

Die Versuche wurden im Schlagregenprüfstand der EMPA im Jan. 1990 unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Besprühung mit 3 Düsen, so dass ein gleichmässiger Wasserfilm über die Dämmstoffoberfläche abfliesst
(total 2 l/m² min, was einem Niederschlag von 120 mm/h entspricht, vgl. Kap. 5.1.5 / 5.2)
- Geringer Ueberdruck auf der Feuchtseite von 30 - 70 Pa
- Versuchsdauer 24 h
- Anschliessend: Beobachten des Austrocknungsverhaltens im Klima 20°C / 70 % r.F.

3.1.4. FESTSTELLUNGEN UND RESULTATE

- a) - Die Feuchtigkeit ist im äussersten Drittel (Querschnitt, Nasseite) konzentriert:
 - Steinfasern ($\rho = 60 - 85 \text{ kg/m}^3$) im Mittel ca. 0.29 Vol.-%
 - Glasfasern ($\rho = 35 - 50 \text{ kg/m}^3$) im Mittel ca. 0.34 Vol.-%
- b) - An den Dämmstoffplatten- Stössen konnte im mittleren und hinteren Drittel nur vereinzelt ganz minim Feuchtigkeit festgestellt werden. Bei der kreuzweisen Verlegung von 2 Schichten war die hintere Schicht immer trocken.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

- c) - Die etwas stärkere Feuchtigkeitsaufnahme der Glasfasern wurde gegenüber den Steinfasern durch eine schnellere Austrocknungszeit "kompensiert".
- d) - Durch die Berieselung konnte in den Versuchen weder ein Faserverlust noch ein Auflösen der Oberfläche nachgewiesen werden.
- e) - Die geprüften Dämmstoffe blieben alle formstabil. Es wurde kein Schwinden und kein Quellen der Platten festgestellt (beachte Kap.3.1.5 Abs.2).
- f) - An den untern Dämmstoffplattenrändern wurde eine höhere Feuchtigkeit als in den Plattenmitten festgestellt (→ Wasserabfluss).

3.1.5. ERGÄNZUNGEN / FOTOS

Feuchtigkeitswerte für Mineralfaserdämmstoffe siehe Kap. 5.3.5

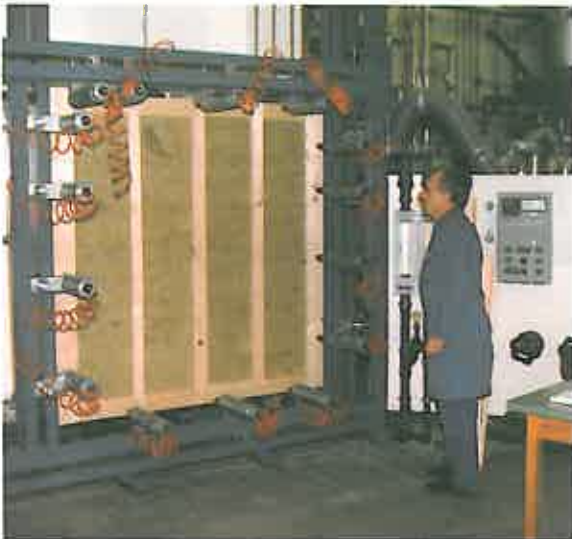


Bild 1
Der Schlagregenprüfstand der EMPA mit dem eingebauten Holzrahmen und den Steinfaserplatten



Bild 2
Aus den berieselten Dämmstoffplatten wurden Prüfkörper herausgeschnitten, woran gravimetrisch der Feuchtegehalt in Massen-% bestimmt wurde.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

Ungeeignete Produkte:

Im Frühjahr 1992 wurden an der EMPA verschiedene weitere Prüfungen mit Mineralfaserdämmstoffen durchgeführt, die im Gegensatz zu den Resultaten in Kap. 3.1.4 für einige Produkte (Glas- und Steinwolle) ein ungenügendes Verhalten bezüglich Formstabilität und Abfaserung zeigten. So wurde bei Prüfungen mit kapillarer Wasseraufnahme (Bewitterung, Wasseraufnahme schwimmend + unter Wasser) eine Dickenzunahme von mehr als 20 % beobachtet (siehe Bild 3). Auch wenn diesbezüglich noch keine Prüfnormen und Anforderungswerte festgelegt sind, betrachten wir gemäss SIA Norm 180, Kap. 2 1 1, solche Produkte als ungeeignet für eine Anwendung in hinterlüfteten Fassaden.

(Seit Herbst 1992 bietet die EMPA eine diesbezügliche relativ einfache Dämmstoffprüfung an. Dazu wurde ein Prüfnorm-Annex für die Dämmstoff-Dickenmessung bei der CEN/TC 88/WG 1 vorgeschlagen.)

Weitere Abklärungen über die Formbeständigkeit, z.B. unter dem Einfluss langanhaltender Diffusion oder beim Lagern in hoher rel. Luftfeuchtigkeit sind nötig, und für stark reagierende Produkte drängen sich hier Änderungen im Herstellungsverfahren auf.

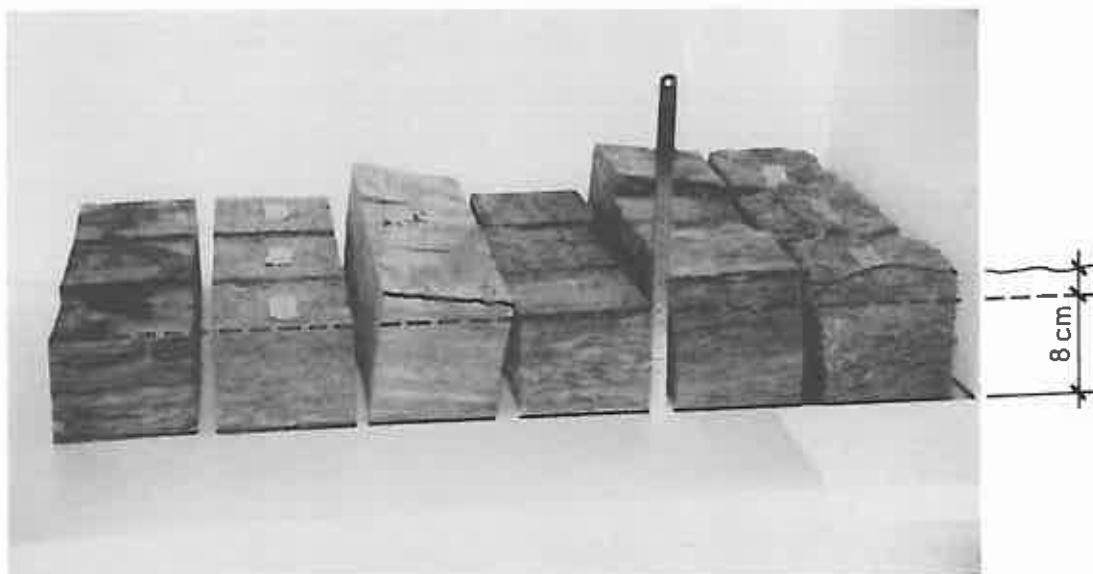


Bild 3

Verschiedene Prüfkörper (10 x 10 cm, gemessene Dicke: 8 cm), die durch "Wasseraufnahme schwimmend" ein z.T. grosses Quellverhalten zeigten. (z.T. > 20 %) (vgl. auch Bild 43, Seite 75)

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.1.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

- Während der Bauphase sollten die Wärmedämmstoffe möglichst vor eindringendem Bau- und Regenwasser geschützt werden (vor allem stirnseitig → Wasser vom Dachgeschoss!).
- Dämmstoffoberflächen mit höherer Rohdichte oder Spezialbehandlungen der Oberfläche gegen die Feuchtigkeit verbessern den Schutz des Dämmstoffes.
- Die Wärmedämmung muss fachmännisch und sehr sorgfältig verlegt werden ! (Befestigung siehe Kap. 4.5.3). Man achte auf satte und saubere Plattenstösse sowie möglichst keine Verletzungen der Oberfläche.
- Stein- und Glasfaserplatten sind u.E. für hinterlüftete Fassadenkonstruktionen, auch mit offenen Fugen in der Bekleidung, geeignet, sofern sie formstabil bleiben, d.h. wegen Regen- und Windeinwirkung nicht aufquellen und abfasern.
- Wesentlich für die Wärmedämmung und den Wärmeschutz ist nicht die Wasseraufnahme und -abgabe, sondern die Formstabilität infolge Feuchteinfluss und die Verarbeitungsqualität der Wärmedämmung.
- Weitere Empfehlungen siehe Kap. 3.3.6.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.2. Berieselung von Mineralfaserplatten im Bewitterungsprüfstand

3.2.1. ZIEL DER PRÜFUNG:

Beurteilung verschiedener Messmethoden zum Nachweis der Feuchtigkeitsverteilung (Flächen- und Tiefenwirkung) in bewitterten Mineralfaserstoffen.

Angewandte Feuchtemessmethoden:

- I Rotronic Hygroskop GT mit Schwertsonde (Handmessgerät)
- II Roof Reader, Nukleares Feuchtigkeitsmessgerät, EMPA Abt. 112 Hochbau / Bauschäden
- III Infrarotkamera der EMPA, Abt. 176 Bauphysik
- IV Gravimetrische Methode mit Kernbohrungen (\varnothing 3 - 20 mm)
- V Gravimetrische Methode an Prüfkörpern (10 cm x 10 cm x Dicke)

3.2.2. AUFBAU DER PRÜFKÖRPER:

Die Mineralfaserplatten wurden auf eine 4 cm dicke Spanplatte aufgeleimt.

Grösse 2.0 m x 1.5 m.

Geprüfte Typen:

- | | | |
|--------------|---|-------------------|
| Steinfasern, | Rohdichte ca. 60 kg/m ³ | (d = 80 mm) |
| Glasfasern, | Rohdichte ca. 35 + 50 kg/m ³ | (beide d = 80 mm) |

3.2.3. PRÜFBEDINGUNGEN:

(Schema des Bewitterungsprüfstandes siehe Beilage 7.2)

Die Prüfungen wurden im Bewitterungsprüfstand der EMPA im Sommer 1990 unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Besprühen mit 2 Vollkegelsprüh-Düsen, so dass ein gleichmässiger Wasserfilm über die Dämmstoffoberfläche abfliesst (1 l/m² min → Kap. 5.1.5 / 5.2).
- Versuchsdauer: (15) 60 h, nur beregnen
- Lufttemperatur auf der Bewitterungsseite: ca. 0°C

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.2.4. FESTSTELLUNGEN UND RESULTATE

Messmethode I (Schwertsonde): ungeeignet

Funktioniert nicht bei nichthygroskopischen Stoffen, eine Anzeige in % r.F. ist zudem nur schwer umsetzbar in Massen- und Vol.- bezogene Feuchte (Mehrere Vergleichsprüfungen wären notwendig)

Messmethode II (Roof Reader): ungeeignet

Die absolut vorhandenen Feuchtigkeiten sind zu gering. Zudem wird gleichviel Feuchte in unterschiedlicher Tiefe verschieden stark angezeigt.

Messmethode III (IR-Kamera): für Forschung geeignet, für Praxis ungeeignet

Die oberflächliche Feuchteverteilung lässt sich bildlich relativ gut darstellen.

Nachteile: Es ist keinerlei Quantifizierung und Tiefenwirkung ableitbar. In der Praxis mit einer Fassaden-Verkleidung nicht mehr anwendbar (siehe Bild 4).

Messmethode IV (Kernbohrung): geeignet

Gute reproduzierbare Resultate. In der Praxis anwendbar bei Fassaden mit offenen Fugen (siehe Beispiele Kap. 5.3).

Messmethode V (Prüfkörper): geeignet

Erfahrungsgemäss ergeben sich damit die zuverlässigsten Resultate. In der Praxis jedoch nur bei demontierbarer Verkleidung möglich.

3.2.5. ERGÄNZUNGEN / FOTOS

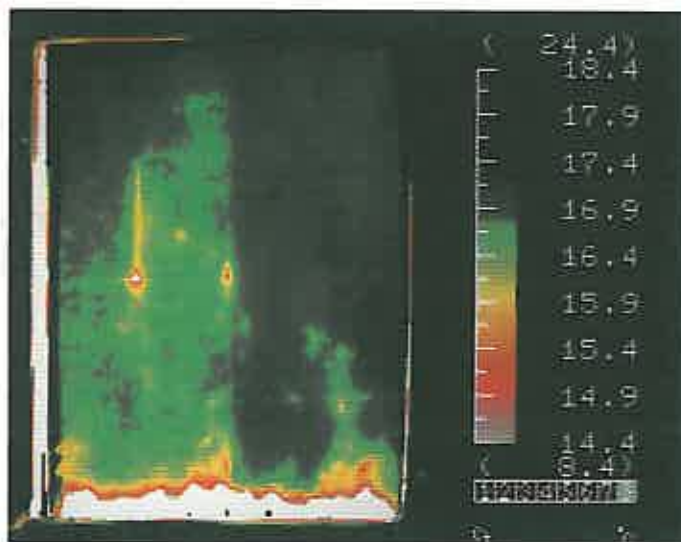


Bild 4

Methode III: Infrarotkamera der EMPA

Die oberflächliche Feuchteverteilung auf 2 verschiedenen Mineralfaserdämmstoffen. Die Platten rechts zeigen deutlich weniger Feuchtigkeit auf der Oberfläche.

Links: Eine Feuchtekonzentration bei einem Plattenstoss infolge schlechter Verarbeitung. (Für die Aufnahme wurde die kalte Dämmstoffoberfläche im warmen Raumklima betrachtet → unterschiedliche Erwärmung der Oberfläche).

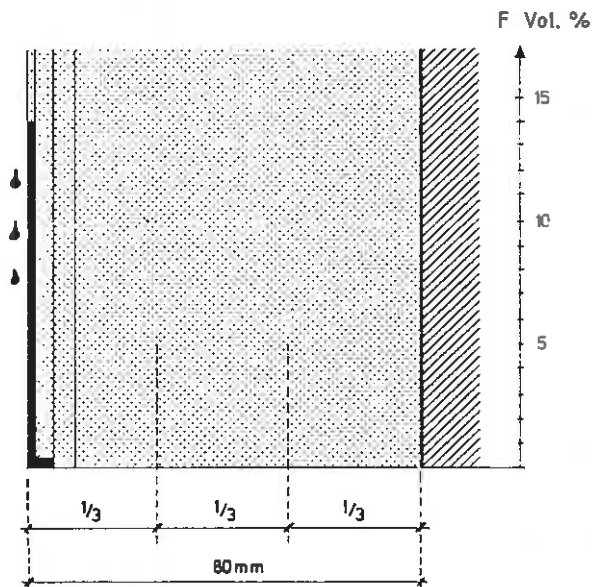
3. Laborprüfungen und Berechnungen



An schlecht ausgeführten Platten-Stößen dringt Feuchtigkeit bis zum Untergrund vor.

Bild 5

Steinfasern



Glasfasern

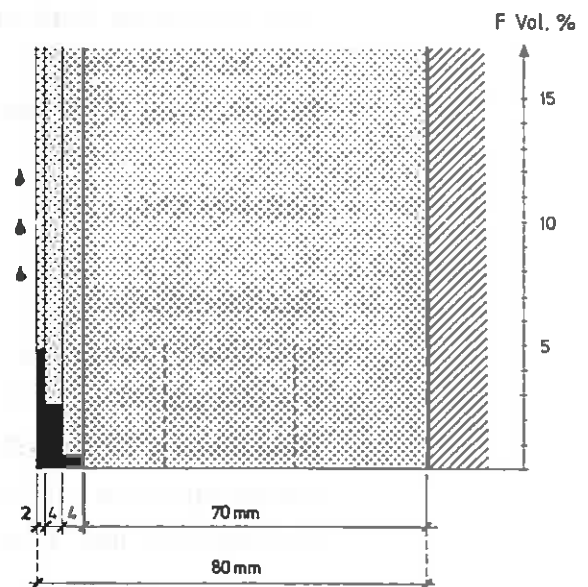


Bild 6

Im Gegensatz zur Prüfung im Schlagregenprüfstand, 3.1, wurde hier im Bewitterungsprüfstand die Tiefenwirkung der Feuchtigkeit in den obersten Schichten genauer untersucht.

An den 60 h lang berieselten Platten wurde (mit Messmethode V) festgestellt, dass die eingedrungene Feuchtigkeit nur in den äussersten Millimetern konzentriert ist.

Verschiedene weitere Prüfungen an 50 x 50 cm grossen Mineralfaserplatten, die mittels Diffusion auf einen genau bestimmten Feuchtegehalt gebracht wurden, bestätigten, dass nur die gravimetrischen Methoden IV + V als zuverlässige Feuchtemessungen sinnvoll sind.

3.2.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Es gelten auch hier die Schlussfolgerungen von 3.1.6.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.3. Wassertransport im Fassadensystem mit offenen Fugen

3.3.1. ZIEL DER PRÜFUNG:

Beantwortung der Fragen: wie verteilt sich der Schlagregen beim System mit den offenen Fugen ? Wo ist nach welcher Zeit wieviel Wasser zu erwarten ?

3.3.2. AUFBAU DES PRÜFKÖRPERS:

Aufbau entsprechend der Konstruktion
Uni Irchel, 3. Bauetappe

- Fassadenplatten-Imitation:
Anstelle von Granitplatten wurden XPS-Platten mit Schlemmputz-Beschichtung eingesetzt.
- Konsol-Anker (Cr Ni Mo-Stahl)
- Luftraum (Prüfung 1)
- Steinfaserplatten mit verdichteter Oberfläche
 $\rho = 60 \text{ kg/m}^3$ $d = 100 \text{ mm}$
- Hinterlüftung 30 mm (Prüfung 2)
- Plexiglasplatte ($d = 12 \text{ mm}$) als Durchblick zu den "Fassadenplatten"-Rückseiten.
- offene Fugen (horizontal und vertikal) 8 mm ($\pm 2 \text{ mm}$)

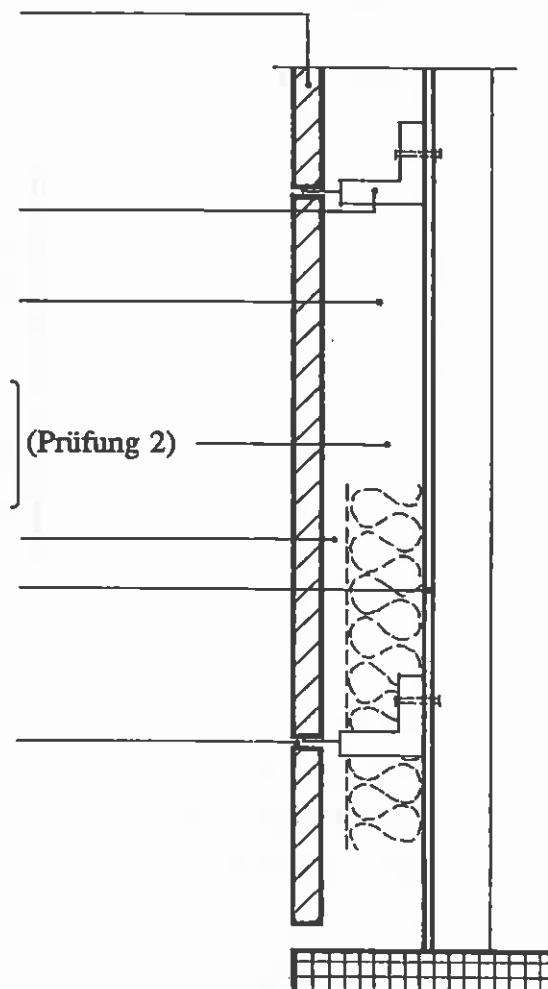


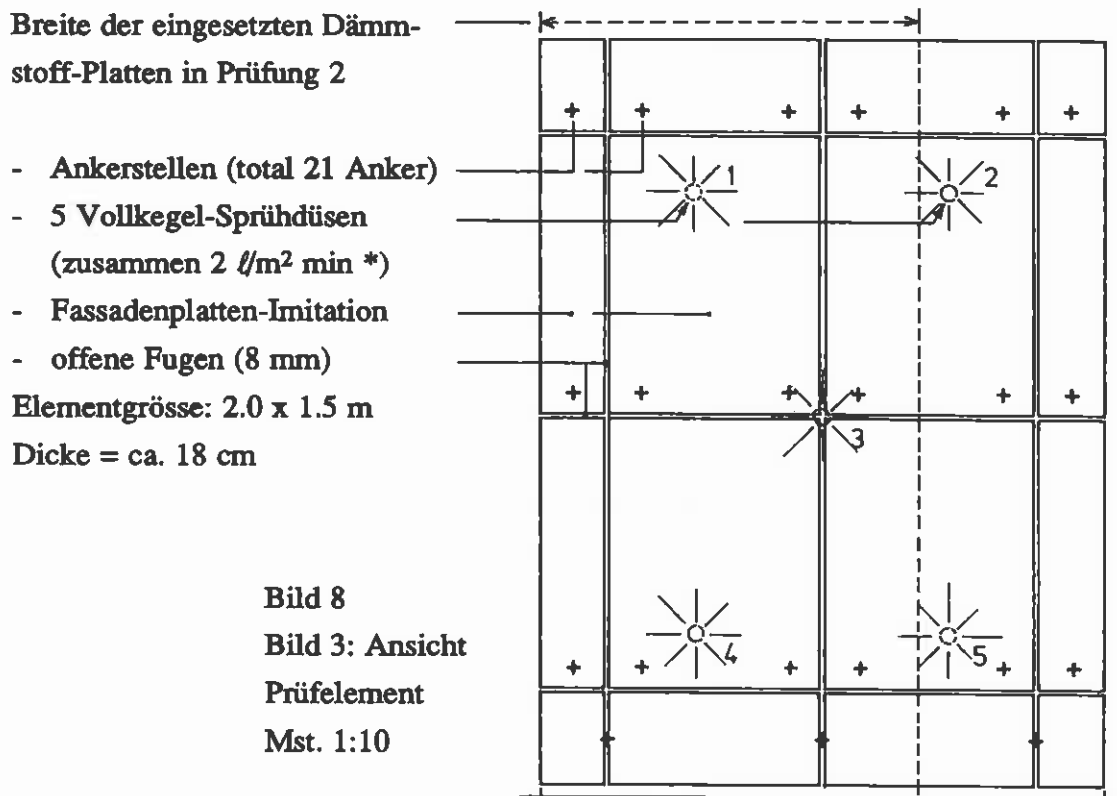
Bild 7

Querschnitt

Prüfelement

Mst. 1 : 10

3. Laborprüfungen und Berechnungen



3.3.3. PRÜFBEDINGUNGEN:

(Schema Schlagregenprüfstand siehe Beilage 7.1)

Die Prüfungen wurden im Schlagregenprüfstand der EMPA im Mai 1990 unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Prüfung 1 ohne Wärmedämmstoff (WD)
 - Prüfung 2 mit WD (d = 100 mm)
- Die Anker waren teilweise in die Plattenmitte, teilweise in die Stossfugen des Dämmstoffes eingepasst. Es wurden sehr unterschiedliche Verarbeitungsqualitäten simuliert (siehe Bilder 12 / 13).
- Besprühung mit 5 Düsen (zusammen 2 l Wasser/m² min *)
 - ohne Ueberdruck
 - Prüfdauer ca. 1 h

* vgl. Kap. 5.1.5 /5.2

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.3.4. FESTSTELLUNGEN UND RESULTATE

Prüfung 1 (ohne WD)

- Auf der Plexiglasplatte selbst wird nur sehr wenig Wasser sichtbar.
- Ein relativ grosser Wasseranteil läuft auf den Fassadenplatten-Rückseiten ab.
- Viele Anker leiten das Wasser in den Hinterlüftungsbereich ab.
(siehe Bilder 10 / 11).

Prüfung 2 (mit WD)

- Einzelne Anker leiten das Wasser tropfenweise bis zur Plexiglasplatte (hinter die WD) zurück.
- Die Feuchtigkeit im Dämmstoff ist bei schlecht in die WD eingepassten Ankern deutlich höher als bei gut eingepassten Ankern.
- Es sind keine wesentlichen Feuchte-Unterschiede innerhalb der Dämmstoffplatten feststellbar, d.h. hinter den offenen Fugen der Vorsatzschale ist keine wesentliche Erhöhung der Feuchte nachweisbar.

3.3.5. ERGÄNZUNGEN / FOTOS

Fotos zu Prüfung 1

Bild 9

Das in einem Rahmen eingebaute Plexiglas-Element.
Blick von hinten, d.h. von der Betonseite zu den Fassadenplatten-Rückseiten.



3. Laborprüfungen und Berechnungen



Bild 10
Nach kurzer Zeit fließt
Wasser auf den Fassaden-
platten-Rückseiten ab.



Bild 11
Einige Anker leiten das
Wasser nach hinten.

Fotos zu Prüfung 2



Bild 12
In Dämmstoffoberfläche gut
eingepasster Anker.



Bild 13
In Dämmstoffoberfläche schlecht
"eingelochter" Anker.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

Ergänzende Bemerkungen:

An der EMPA wurde schon 1977 ein Berieselungstest an Mineralfaserplatten durchgeführt. Auch damals stellte man fest, dass das Wasser nur in den vorderen Teil der Dämmstoffplatten einzudringen vermag.

1990 wurden an der EMPA 2 Systeme von hinterlüfteten Fassaden mit offenen Fugen während 40 Tagen im Bewitterungsprüfstand getestet (frostet, strahlen, regnen, warten. Schema Prüfstand siehe Beilage 7.2).

Danach wurde im äusseren Drittel der Wärmedämmplatten ein sehr geringer Wassergehalt (ca. 0.2 Vol.-%) festgestellt, während der mittlere und innere Bereich praktisch trocken blieben.

Die Feuchtigkeit der Proben zeigte i.a. keine Abhängigkeit von der Lage bezüglich der offenen Fugen.

Es wurde keine Veränderung des Bindemittels im Vergleich zu den nicht bewitterten Proben festgestellt.

Ein Untersuchungsbericht von 1990 eines bauphysikalischen Labors in Malenhock, NL, zeigte, dass von einer anfallenden Schlagregenmenge (100 %) bei offenen Fugen nur ca. 0.5 % in die äusserste Schicht des Dämmstoffes eindringt. Dies bedeutet, dass bei einem Gewitterregen mit 10 mm Niederschlag die Feuchtigkeit im äussersten cm einer Mineralfaserdämmung (bei $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$) um ca. 10 Masse-% resp. 0.5 Vol.-% zunimmt. [Lit. 4.09].

Auch B. Schwarz findet bei der Untersuchung einer Hochhausfassade mit offenen Fugen, dass bis zu 50 % des Wassers auf den Plattenrückseiten abläuft [Lit. 6.03]. Er zeigt auch, dass die vordere, direkt bewitterte Seite, innerhalb der Fläche eine sehr unterschiedliche Schlagregenbelastung hat und vor allem die Randzonen extrem beansprucht werden.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.3.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Anker:

- Die Anker sind so zu konstruieren, dass kein Tropfwasser dem Anker entlang zur/durch die WD gelangen kann.
- Bei den Konsol-Ankern wird die WD am wenigsten verletzt, wenn die Anker in die Dämmstoffplattenstösse zu liegen kommen.
- Es gelten weiter die Empfehlungen aus Kap. 3.4.6 und 4.4.3

Wärmedämmung:

zusätzlich zu Kapitel 3.1.6 sind zu beachten:

- Die WD soll nie die Fassaden-Platten-Rückseiten berühren.
- Es ist auf eine gute, mit dem Untergrund lückenlos verbundene Befestigung der Dämmstoffplatten zu achten. Es empfiehlt sich zwei Befestigungsarten miteinander zu kombinieren (kleben, einklemmen, dübeln → vgl. Kap. 4.5.3).
- Ausgeschnittene Anker-Löcher sind sehr sorgfältig zu stopfen. Die Oberfläche soll wieder möglichst glatt sein.
- Spezielle Oberflächenkontrollen der Bauleitung sind nötig.
- Ein genügender Abstand zwischen WD-Oberfläche und Fassaden-Platten-Rückseiten (= Hinterlüftungs-Spaltbreite) ist einzuhalten.
- Unterspannfolien auf der WD sind ungeeignet. Sie blockieren durch Rumpfbildung die Hinterlüftung und verhindern eine rasche gleichmässige Austrocknung. Ausserdem sind sie feuerpolizeilich fragwürdig vgl. [Lit. 3.01 / 3.02 und Bild 32].

Hinterlüftung:

Für ca. 8 mm breite offene Fugen in der Bekleidung wird **min. 5 cm** Hinterlüftung empfohlen (beachte Kap. 4.2.1).

Allgemein:

- Durchdringungen (Fenster, Türen) und Sockelpartien sind im Detail fachgerecht zu planen (Detail zum Wasserabfluss siehe Kap. 4.6.3).
- An kritischen Stellen sind Kontrollöffnungen vorzusehen (vgl. Kap. 4.7.1).

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.4. Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern / Messungen

3.4.1. ZIEL DER PRÜFUNG:

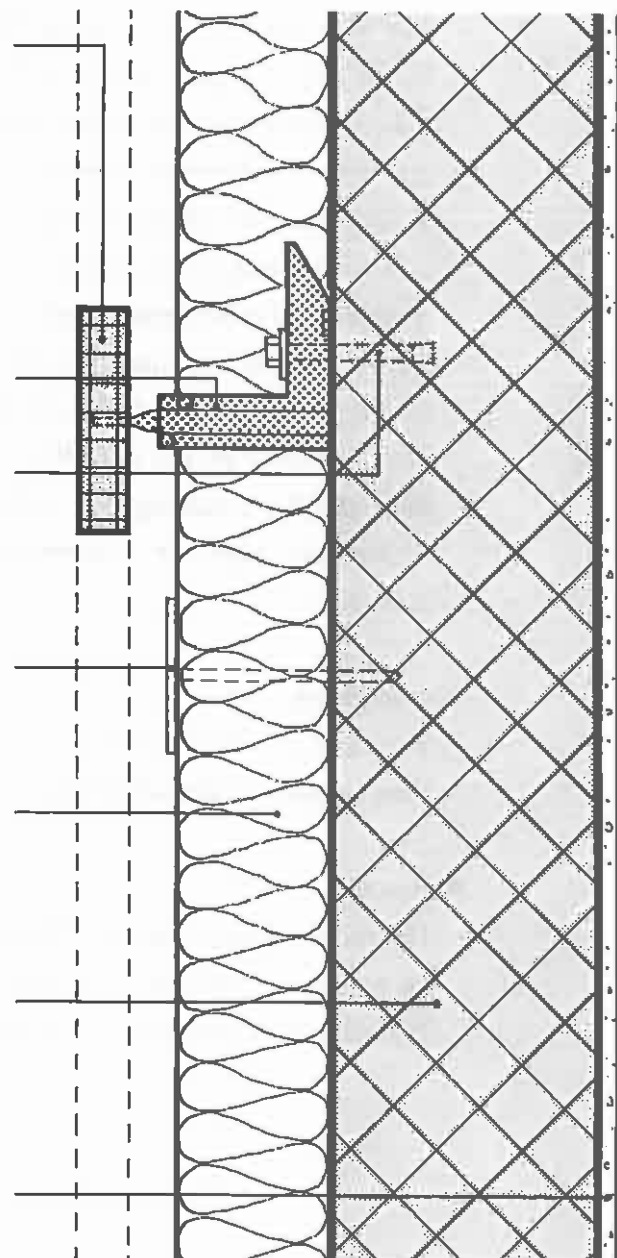
Für die Befestigung der Naturstein-Bekleidungsplatten werden normalerweise Konsol-Anker aus hochlegiertem Stahl verwendet, welche die Wärmedämmung punktuell durchstossen und damit Wärmebrücken bilden. Die Untersuchung soll mit kalorimetrischen Messungen den zusätzlichen Wärmeverlust ausweisen.

3.4.2. AUFBAU DES PRÜFKÖRPERS

Bild 14

Schnitt Mst 1:5

- Simulation der Fassadenplatten mit Original-Granitstücken
15 x 15 x 4 cm
 - (Hinterlüftungsspalt supponiert)
 - Konsol-Anker
Material: Cr Ni Mo-Stahl
($\lambda = 15 \text{ W/m K}$)
Metall-Spreizdübel $\varnothing 12 \text{ mm}$
 - Dämmstoffhalter
ca. 5 Stk/m², Kunststoff
 - Steinfaserplatten
d = 100 mm, $\rho = \text{ca. } 60 \text{ kg/m}^3$
 - Betonelement leicht armiert
d = 18 cm, $\rho = \text{ca. } 2500 \text{ kg/m}^3$
Alter: ca. 3 Jahre
- Ausgleichsputz erstellt durch
EMPA d = 1 - 2 cm



3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.4.3. PRÜFBEDINGUNGEN:

(Schema und Beschreibung des k-Wert Prüfstandes siehe Beilagen 7.3 + 7.4)

Es wurden im Sommer/Herbst 1990 an der EMPA folgende Prüfungen durchgeführt:

Prüfung A 1 - ohne Anker, "Grundsituation"
 Prüfung A 2 - ohne Anker,

Prüfung B 1 - mit Anker, möglichst perfekt versetzt

Prüfung C 1 - mit Anker, baustellengerecht versetzt,
 Prüfung C 2 - mit Anker, " Var. 1 } unterschiedliche
 Prüfung C 3 - mit Anker, " Var. 2 } Luftgeschwindig-
 Prüfung C 4 - mit Anker, " Var. 3 } keiten

Die Laborversuche wurden in der k-Wert Kammer der EMPA bei folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Temperaturdifferenz Luft Warmseite -
 Luft Kaltseite ca. 35.5 * [°C]
 - Luftgeschwindigkeit Kaltseite ca. 1.45 ** [m/s]
 - Luftgeschwindigkeit Warmseite ca. 0.3 [m/s]
 - Einlauf bis zum stationären Zustand ca. 72 [Std]
 - Messphase im stationären Zustand ca. 24 [Std]
- Ausnahmen: * Prüfung A 2 →40.8 [°C]
 ** Prüfungen C 2-4 →Variabel: 0.47, 1.02, 1.45 [m/s]

- Die Wärmeübergangskoeffizienten α_a konnten bei den Prüfungen B und C nicht bestimmt werden. (Mit den Ankern sind keine mittleren Oberflächentemperaturen messbar.)
- Im Versuch wurden $6 \frac{1}{3}$ Anker/m² eingesetzt. Die der Praxis entsprechenden Resultate mit $3 \frac{1}{2}$ Anker/m² wurden durch Umrechnung ermittelt.
- Die Wärmebrückenwirkung der Dämmstoffhalter ist in den Resultaten inbegriffen. Ihr Anteil kann vernachlässigt werden.
- Die Trockenheit der Prüfwand wurde nach jeder Messung nachgeprüft.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.4.4. FESTSTELLUNGEN UND RESULTATE

Prüfung	Δ Lufttemp. kalt-warm-seitig [K]	Luftgeschwindigkeit		k-Wert im Vers 6 2/3 Anker/m ² [W/m ² K]	Wärmeverlust von einem Anker Q W/K · Anker	k-Wert umgerechnet: 3½ Anker/m ² [W/m ² K]	Zunahme in % (Grundsituation = 100 %)	Wand-Typ
		Kalt-seite [m/s]	Warm-seite [m/s]					
A 1	35	1.5 ²⁾	0.3	0.29	-	0.29 ²⁾	±0 (ohne Anker)	"Grundsituation" sauber und satt versetzte Dämmplatten ohne Anker
A 2	40	1.5	0.3	0.30	-	0.30	-	
B 1	35	1.45	0.3	0.48	0.0285	0.390	+34 ¹⁾	perfekt versetzte Anker
C 1	35	0.27	0.3	0.435	0.022	0.366	+26	Anker baustellengerecht versetzt
C 2	35	0.47 ³⁾	0.3	0.45	0.024 ³⁾	0.374 ³⁾	+29 ³⁾	
C 3	35	1.02	0.3	0.51	0.033	0.406	+40	
C 4	35	1.45	0.3	0.57	0.042	0.436 ¹⁾	+50 ¹⁾	

Tabelle 1

- 1) Man beachte die prozentuale Zunahme von B 1 : C 4 = ca. 2 : 3 d.h. durch die Verarbeitung auf der Baustelle erhöhen sich die Verluste um ca. 30 %. (In Dämmstoffschlitze eindringende Kaltluft) (Vergleich zu C 4 wegen gleichhoher Luftgeschwindigkeit)
- 2) Bei sauber und satt versetzten Dämmplatten mit genügend hoher Rohdichte ändert sich der k-Wert auch bei unterschiedlichen kaltseitigen Luftgeschwindigkeiten nicht (Resultat aus früheren EMPA-Messungen an Mineralfaserstoffen).
- 3) Im Hinterlüftungsspalt treten höhere Luftgeschwindigkeiten als 0.5 m/s nur selten und sehr kurz (pulsierend) auf. Dieser Wert entspricht somit am ehesten einem Praxiswert (vgl. Kap. 4.3.2).

Graphische Darstellung der Resultate siehe Bild 18

3. Laborprüfungen und Berechnungen

Kommentar zu den Messresultaten:

Die Versuche zeigten, dass der Transmissionswärmeverlust (k-Wert) mit Ankern der vorliegenden Konstruktion um ca. 30 % gegenüber der "Grundsituation" ohne Anker zunahm. (Bei $3 \frac{1}{2}$ Ankern pro m^2 und $v_{\text{Luft a}} = 0.47 \text{ m/s}$).

Dabei gehen ca. 20 % auf Kosten der Anker (Prüfungen A 1 → B 1)
und ca. 10 % auf Kosten der Dämmstoff-Verarbeitung
(Siehe auch Bild 18, mit dem Vergleich der Prüfungen B 1 → C 4).

THERMOGRAPHISCHE KONTROLLE

Unmittelbar nach den einzelnen k-Wert-Prüfungen wurde das Fassaden-Element mit der Infrarot-Kamera - speziell auf der Warmseite (innen) - betrachtet, um visuell zu kontrollieren, ob sich die Anker-Wärmebrücken durch Temperaturdifferenzen auf der warmseitigen Oberfläche abzeichnen.

Auf den IR-Bildern konnte jedoch in keinem Fall eine Temperatur-Veränderung beobachtet werden. Eine Berechnung bestätigte, dass die Temperaturdifferenzen auf der warmseitigen Betonoberfläche, direkt hinter einem Ankerpunkt, um weniger als 0.1 K von der Wandoberflächen-Mitteltemperatur abweichen (vgl. Bild 21).

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.4.5. ERGÄNZUNGEN / FOTOS

Prüfung B 1: Details zur perfekten Ankermontage: praktisch keine Luftdurchtritte durch die Wärmedämmung



Bild 15



(Ansicht)

Bild 16



Bild 17

Prüfungen C 1 - C 4

Für die Ankermontage "baustellen- gerecht" wurde der Dämmstoff mit einem Rohr $\varnothing 20$ cm ausgeschnitten und die Löcher anschliessend mit den z.T. stark zerschnittenen Rest-Rundstücken wieder zuge- stopft. Lochanteil bei $6 \frac{2}{3}$

Anker/m² = 21 %.

Vergleich zur Praxis: siehe Bild 44

3. Laborprüfungen und Berechnungen

Grafik der Messresultate:

Dargestellt sind die k-Werte von verschiedenen Prüfungs-Varianten und deren Veränderung infolge Zunahme der kaltseitigen Luftgeschwindigkeit.

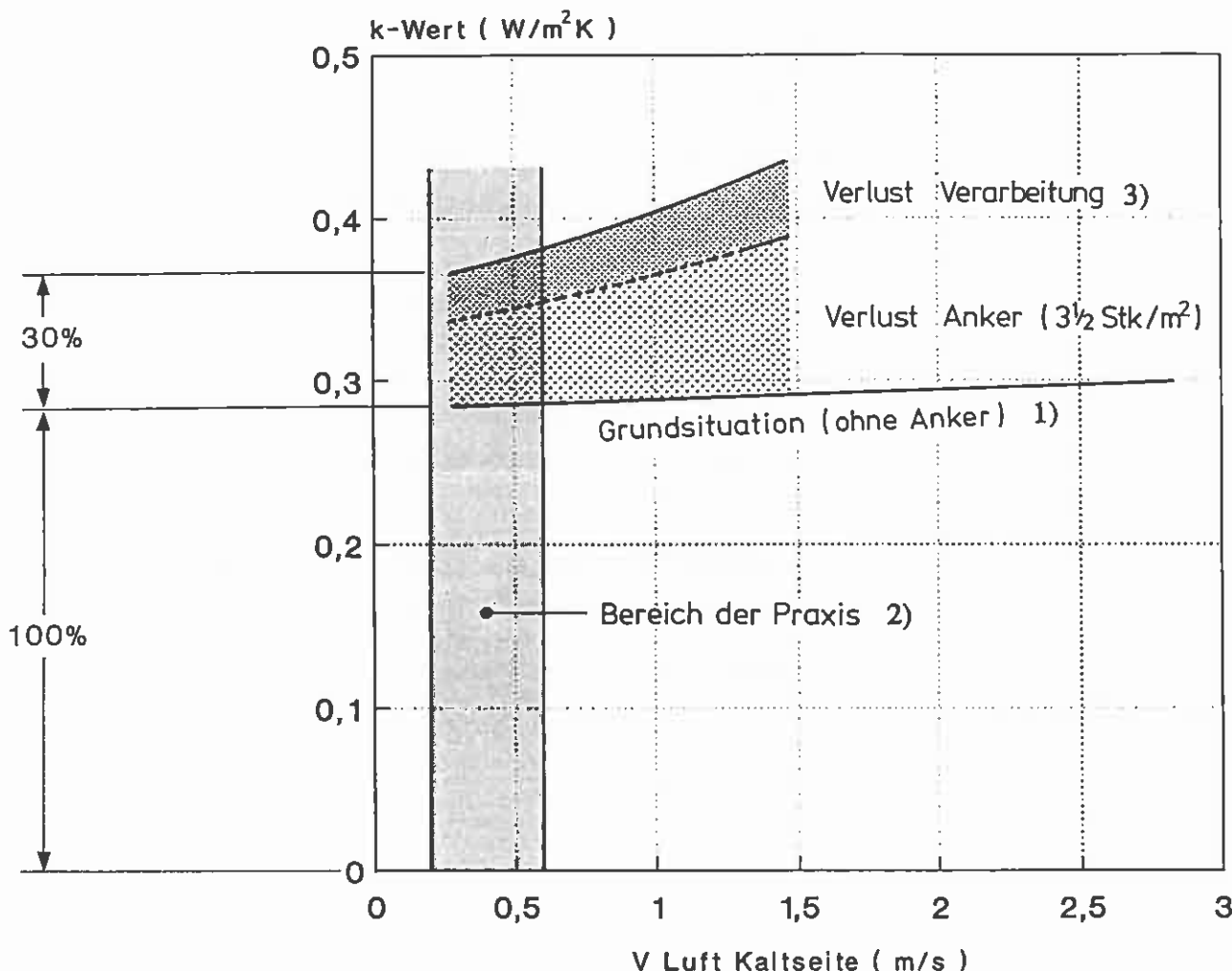


Bild 18

- 1) 1990 wurden an der EMPA verschiedene k-Wert-Prüfungen an Mineralfaserdämmplatten gemacht, wobei die kaltseitige Luftströmung über die Oberfläche der perfekt versetzten Dämmplatten variiert wurde. Im Bereich der geprüften Rohdichten ($20 - 62 kg/m^3$) hatte die Luftgeschwindigkeit von $0,3 - 1,0 m/s$ (was den in der Praxis vorkommenden Bereich abdeckt) praktisch keinen Einfluss auf den gemessenen k-Wert.
- 2) Bereich der in der Praxis am meisten vorkommenden Luftgeschwindigkeiten im Spalt der hinterlüfteten Fassade mit offenen Fugen (vgl. Kap. 4.3.2).
- 3) Durch die "baustellengerechte" Verarbeitung erhöhen sich die Verluste deutlich.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.4.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

- **Konsol-Anker aus Cr Ni Mo-Stahl** ergeben bei $3 \frac{1}{2}$ Anker/m² eine **k-Wert-Verschlechterung von ca. 30 %**. Davon gehen ca. 1/3 auf **Kosten der Verarbeitung bei der Dämmstoffanpassung** (für eine Konstruktion wie Kap. 3.4.2, $k = 0.29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ohne Anker).
- **Mit 10 mm dicken Kunststoff-Platten** ($\lambda = 0.20 \text{ W/m K}$) als **Isolier-Unterlage** der Anker, könnten die **Verluste um 1/3 reduziert werden**. (Das entspricht einer **Verbesserung des k-Wertes um 10 %**).
- **Es ergeben sich keine massgebenden Temperatur-Einflüsse auf der raumseitigen Oberfläche durch die Wärmebrückenwirkung der Anker**.
- **Alu-Anker können k-Wert-Verschlechterungen bis zu 60 % ergeben**. (Bei 2 Anker/m²)! **Mit einer 10 mm dicken Kunststoff-Unterlage kann dieser Verlust halbiert werden**.
- **Jeder Fassadensystemanbieter sollte bekannt geben, wie gross der zusätzliche Energieverlust infolge punktförmiger Wärmebrücken ist** (vgl. Kap. 4.5.1.c).
- **Es gelten auch die Empfehlungen in Kap. 3.3.6 und 4.4.3**.

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.5. Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern / Berechnungen

3.5.1. ZIEL DER BERECHNUNGEN:

Aus den k-Wert-Messungen von Kap. 3.4 resultiert u.a. der Wärmeverlust eines Ankers (bei gegebener Konstruktion und bestimmten Bedingungen). Dabei gilt das Messresultat nur für den entsprechenden Ankertyp und kann nicht generell auf andere Typen oder Konstruktionen umgerechnet werden (beachte aber die Ergänzungen in Kap. 3.5.5).

Es wurde deshalb versucht, die Messresultate mittels Wärmebrückenprogrammen zu bestätigen. Mit dieser Methode können dann auch Wärmeströme durch andere Ankertypen näherungsweise berechnet werden.

Für den vorliegenden Fall liess sich die komplizierte Ankerform nicht exakt simulieren (Konsol-Anker mit Luftzwischenräumen). Daher sind die Berechnungs-Resultate nicht gleich genau wie die k-Wert Prüfungsresultate, sie können dafür bei Konstruktions-Variationen sofort wertvolle Hinweise liefern.

3.5.2. VERWENDETE RECHENPROGRAMME:

hauptsächlich	WAEBRU 3 D	(TU Wien)
teilweise	ISO-2	(HTL Windisch)

3.5.3. RECHENBEDINGUNGEN:

(Berechnungen Herbst 1990 / K. Mathis)

Grundsätzlich wurde der gleiche Wandaufbau wie in Kap. 2.2 angenommen. Im weiteren wurde für das Programm definiert:

- Wärmeübergangskoeffizient	α_{aussen}	15	W/m ² K
- Wärmeübergangskoeffizient	α_{innen}	8	W/m ² K
- Wärmeleitfähigkeit Beton	λ_{B}	1.8	W/m K
- Wärmeleitfähigkeit Stahl (Cr Ni Mo)	$\lambda_{\text{St A4}}$	15.0	W/m K
- Wärmeleitfähigkeit Stahl (normal)	λ_{St}	60	W/m K
- Wärmeleitfähigkeit Aluminium	λ_{Al}	200	W/m K
- Wärmeleitfähigkeit Wärmedämmstoff	λ_{WD}	0.034	W/m K
- Wärmeleitfähigkeit Kunststoff (PVC)	λ_{K}	0.20	W/m K
- äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Luftstromes im Anker (Annahme aus Versuchen)	λ_{L}	1.38	W/m K

Berechnungsfläche: 0.5 x 0.14 m = 0.07 m² mit $\frac{1}{2}$ Anker
(entspricht 7.14 Anker pro m², für Stahlanker)

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.5.4. WAEBRU - RESULTATE

Fall	Beschreibung	Wärmeverlust von einem Anker [W/K]	k-Wert bei $3\frac{1}{2}$ A/m ² [W/m ² K]	Zunahme in %
1	ohne Anker Grundsituation	-	0.309	(=100%)
2	mit Anker vollständig dicht	0.020	0.379	+23 %
3	mit Anker undicht und hohem $v_{\text{Luft a}}$	0.037	0.439	+42 %
4	wie Fall 3 aber Anker mit 10 mm Kunststoff-Unterlage	0.026	0.400	+29 %
5	Alu-Anker wie Fall 3	0.094	bei 2 A/m ² 0.50	+60 %
6	Alu-Anker mit 10 mm Kunststoff-Unterlage	0.051	bei 2 A/m ² 0.41	+33 %

Tabelle 2

Hinweise:

Für Fälle 1 - 4 Der für die Berechnung eingesetzte Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_a = 15$ [W/m K] entspricht etwa einer Luftgeschwindigkeit von 1.5 m/s (wie in der Laborprüfung siehe Kap. 3.4.4).

Für Fälle 3 + 4 Die in Anker und Dämmstoff eindringende Kaltluft, abhängig von der Luftgeschwindigkeit, musste für die Rechnung 3 + 4 speziell berücksichtigt werden.

Zur Konstruktion: siehe Bild 14 (Dämmstoffdicke = 10 cm)

3. Laborprüfungen und Berechnungen

3.5.5. ERGÄNZUNGEN

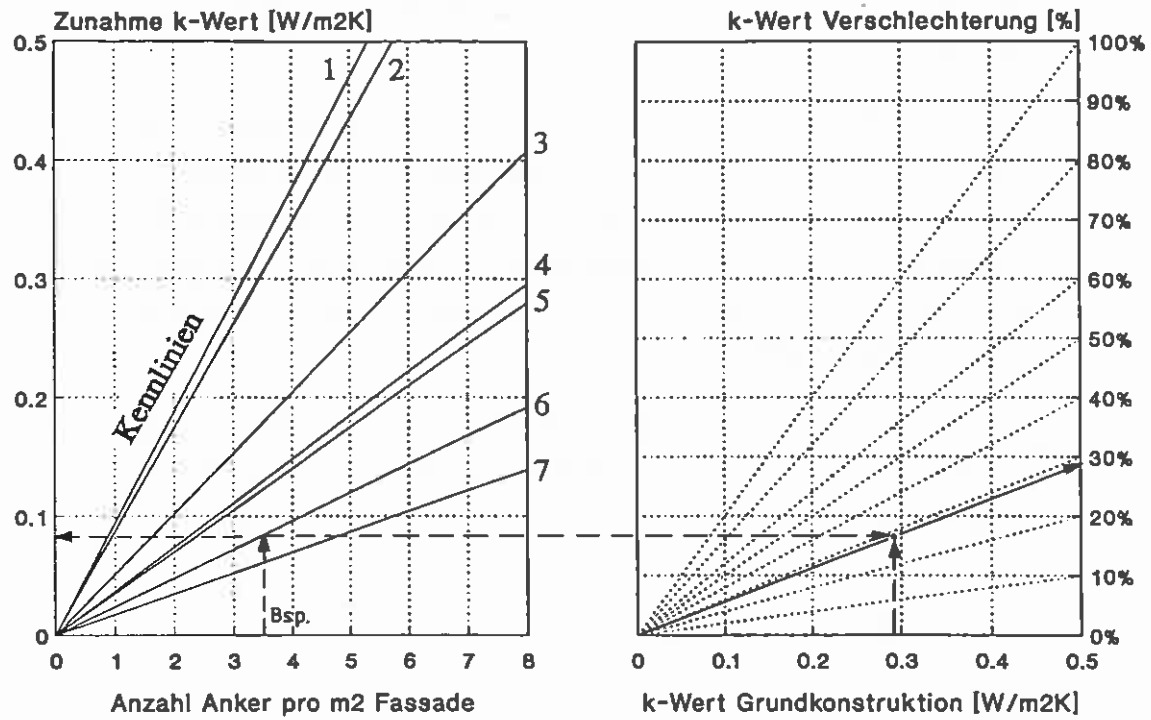
k - Wert Zunahme (Verschlechterung)
infolge Ankeranzahl und -Typ

Bild 19

Mit zunehmendem k-Wert ändern sich auch die Wärmeflüsse durch den Anker (vgl. nächste Seite)

Beispiel Uni Irchel: Bei Konsolankern (Cr Ni Mo-Stahl mit Kennlinie 6) $3\frac{1}{2}$ Stk/m² und einer Grundkonstruktion von 0.29 W/m² K (k-Wert der ungestörten Wand) ergibt sich eine k-Wert Verschlechterung von ca. 30%.

Kennlinien (je nach Ankertyp, λ -Wert und Verarbeitungsqualität)

- 1 EMPA-Berechnung für Alu Anker (Fall 5)
- 2 Herstellerangabe für Alu Anker ohne Kunststoff-Unterlage
- 3 EMPA-Berechnung für Alu Anker mit 10 mm Kunststoffunterlage (Fall 6)
- 4 Herstellerangabe für Alu Anker mit Kunststoff-Unterlage
- 5 J. Achtziger, Angabe für Stahlanker (hochlegiert)
- 6 EMPA-Prüfung für Konsol-Anker, Baustellen-gerecht ohne Unterlage (Fall C2)
- 7 EMPA-Berechnung für perfekt versetzte Konsol-Anker ($v_L = 0.4$ m/s)

Da auch im Wärmebrückenkatalog 2 des SIA [Lit. 1.23] keine genaueren Angaben über die vielfältigen punktförmigen Wärmebrücken bei hinterlüfteten Fassadensystemen aufgeführt sind, liegt es beim Systemanbieter, diese Werte zu ermitteln und in einer Dokumentation aufzuführen.

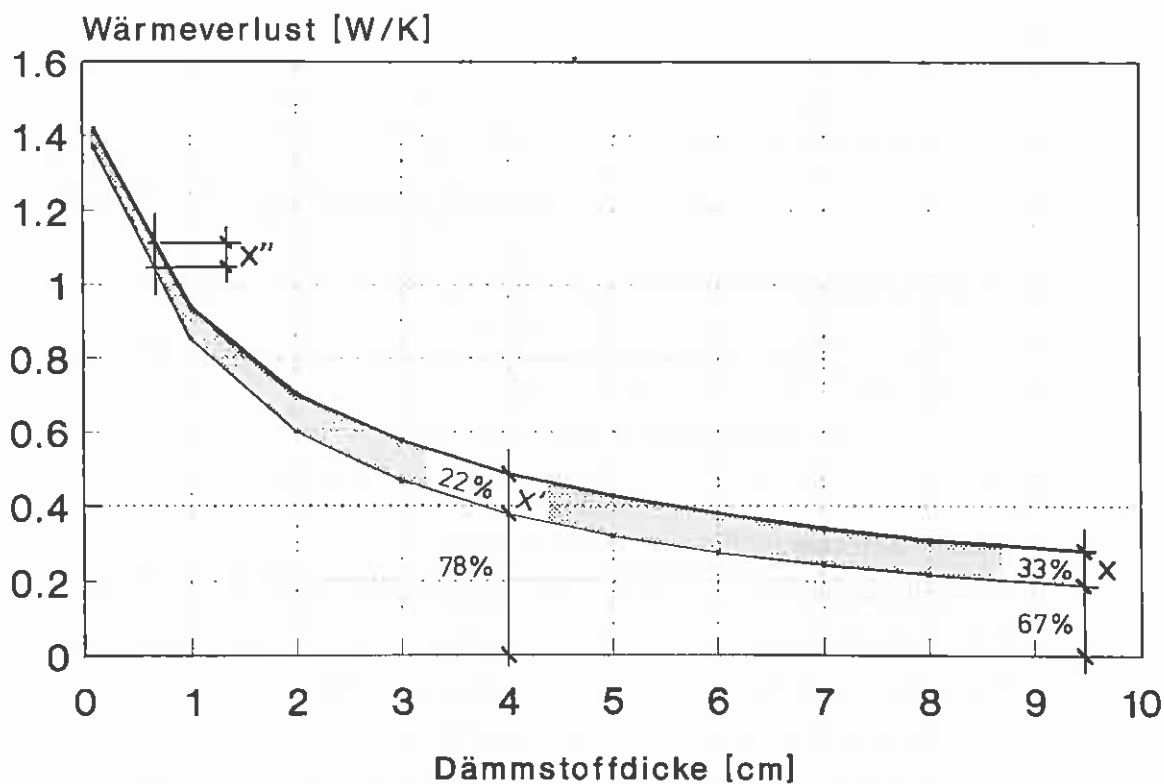
3. Laborprüfungen und Berechnungen

ANKERLEITWERT / DÄMMSTOFFDICKE

Eine EMPA-Berechnung zeigt, dass der Wärmeverlust eines Ankers vom Verhältnis Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht zu Wärmedurchlasswiderstand des (Befestigungs-)Untergrundes abhängt.

Trägt die Dämmschicht den Hauptanteil des Widerstandes (Bild 20: Beispiel 10 cm), erreicht der nominale Wärmeverlust eines Ankers einen Grenzwert (x und x') und kann für praktische Fälle als konstant angenommen werden. Erst bei klar tieferem Widerstand der Dämmschicht (im Beispiel $d < 2$ cm) vermindert sich auch der vom Anker verursachte Wärmeverlust (x''). (Damit ändern sich auch die Kennlinien von Bild 19).

Der prozentuale Wärmeverlust eines Ankers am Gesamtverlust nimmt jedoch mit reduzierter Dämmstärke von Anfang an immer mehr ab (siehe Prozentzahlen Bild 20).



— mit Anker, 1Stk/0.6m² - - - Wand ungestört/0.6m²
 [shaded area] Differenz (durch Anker verursachter Wärmeverlust)

Bild 20 Grundlage für Beispiel:
 Alu-Anker und 18 cm Beton als Untergrund

3. Laborprüfungen und Berechnungen

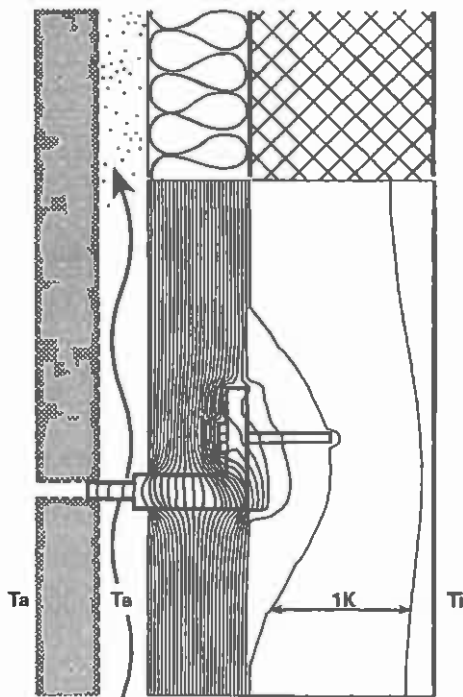


Bild 21

ISOTHERMEN

Querschnitt durch A4-Stahlanker
(Fall Nr. 2, Seite 30)

Zusatzverlust: 23 %

Grundkonstruktion :

$k = 0.29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

(10 cm Dämmstoff+18 cm Beton)

Differenzen der innern Oberflächentemperaturen $\leq 1/10 \text{ K}$ (vgl. 3.4.4 thermografische Kontrolle)

Isothermenabstand: 1 K

Neuste Berechnungen zeigen, dass auch bei andern Unterkonstruktionen entsprechende Wärmeverluste zu erwarten sind:

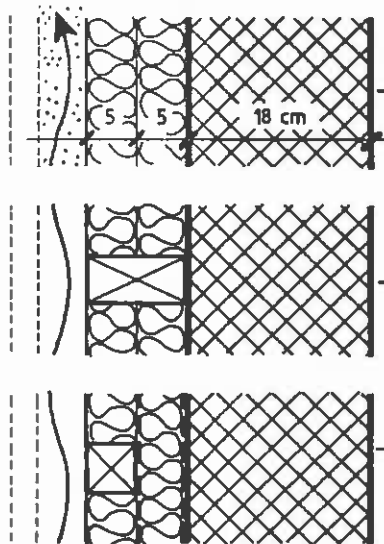
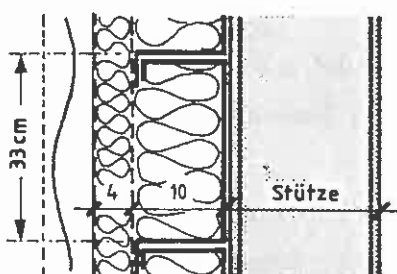


Bild 21a

Lattenabstand:	60 cm		100 cm	
	k-Wert [W/m ² K]	%	k-Wert [W/m ² K]	%
FALL 1 ohne Lattung	0.350	100	0.350	100
FALL 2 einlagige Latt.	0.409	+17	0.388	+11
FALL 3 kreuzweise Latt.	0.393	+12	0.377	+ 8



Ferner wurde bei einer Konstruktion mit Metallkassetten und zusätzlicher Aussendämmung (vgl. Bild 21b) ein zusätzlicher Wärmeverlust von über 80 % berechnet !

Bild 21b

4. Konstruktions - Kriterien

Das Kapitel 4 zeigt einige weitere wichtige Bereiche der hinterlüfteten Konstruktion, die in den Laborprüfungen und Berechnungen nicht, oder nur z.T. beachtet wurden. Die Aussagen basieren auf: Literaturrecherchen, Baustellenbesuchen, Erfahrungswerten und Diskussionen mit Baufachleuten.

4.1. Bekleidung

Die Bekleidung, auch Aussenwand-Verkleidung oder Vorsatzschale genannt, kann aus verschiedensten Materialien bestehen. Sie hat neben ästhetischen Gesichtspunkten die dahinterliegende Konstruktion nicht vollständig, aber soweit gegen Schlagregen / Hagel / Schnee und Wind zu schützen, dass die Funktionstüchtigkeit der inneren Schichten nicht beeinträchtigt wird.

Eine entscheidende Rolle für die gesamte Konstruktion spielt das Gewicht der Bekleidung. Natursteinplatten, ca. 15 mal schwerer als eine Eternit-Bekleidung, benötigen eine massive Stahl-Verankerung im Untergrund, was gegenüber Eternit, das von einem Holzlattenrost getragen werden kann, weitaus grössere Probleme bezüglich Festigkeit, Wärmebrückenwirkung, Korrosion etc. ergibt. Daher stossen Natursteinplatten je nach Dämmdicke und Hinterlüftungs-Spaltbreite irgendwo an eine ökonomische Grenze.

Noch problematischer ist die Situation bei Konstruktionen mit vorgehängten Betonelementen. Die EMPA verweist seit langem auf die Risiken und vertritt die Meinung, dass solche Massiv-Bauteile grundsätzlich nicht auf- oder angehängt, sondern aufgelegt werden müssen (vgl. Kap. 4.4. Anker).

Die idealen Plattenformate, die nötige Dicke, und die Art der Befestigung von Natursteinen sind Probleme der Statik und der Aesthetik. Da die handelsüblichen Produkte sehr unterschiedliche Festigkeiten aufweisen (vgl. Kap. 5.4.1, Beispiel Travertin) ist eine genaue Abklärung der Platten-Eigenschaften notwendig. Dazu gehört die Stellungnahme vom Natursteinfachmann, ob und wie weit eine Frostbeständigkeit der Platten für den vorgesehenen Einsatz notwendig ist [Lit. 6.06, 6.29, 3.03].

Achtung: Bei Vorsatzschalen, die zementgebunden sind, kann sich Regenwasser mit freiem Kalk anreichern. Dieses Wasser darf nachher keinen Kontakt mehr mit Alu oder Glas haben !

Bei Marmorplatten ist Vorsicht geboten, da sich unter thermischer Belastung irreversible Verformungen ergeben, die zum Bruch an der Befestigung führen können [Lit. 3.11]. Mögliche Bewegungen in den Bekleidungsplatten: Setzen, Schwinden Kriechen, Verformen, thermische Bewegungen.

4. Konstruktions - Kriterien

4.2. Fugen (offen und geschlossen)

Seit einigen Jahren werden vermehrt Fassaden konstruiert, deren Bekleidung mit offenen Fugen ausgebildet sind (meist Naturstein und Keramik). Die oft gestellte Frage, ob dies überhaupt zulässig sei, oder ob die Vorsatzschale nicht vollständig schlagregendicht sein muss, wurde mittlerweile schon von verschiedenen Baufachleuten untersucht. Auch alle unsere Laborprüfungen im Kap. 3 stehen mehr oder weniger direkt in diesem Zusammenhang. Daraus resultiert, dass u.E. die Fugen durchaus offen gelassen werden dürfen, wobei aber gegenüber der Konstruktion mit geschlossenen Fugen **unbedingt die Schlussfolgerungen und Empfehlungen von Kap. 3.3.6 beachtet werden müssen.**

Alle Konstruktionen haben ihre Vor- und Nachteile. Im folgenden einige weitere Faktoren, die Unterschiede der offenen und geschlossenen Fugen aufzeigen (speziell am Beispiel Natursteinbekleidung).

4.2.1. OFFENE FUGEN

- Ausdehnung / Bewegungen:

Bei den offenen Fugen ist eine völlig zwängungsfreie Ausdehnung der Fassadenplatte möglich. Schwinden und Kriechen der Unterkonstruktion haben keine Folgen. Offene Fugen wirken sich besonders günstig auf die Bemessung der Bekleidungsplatten aus [Lit. 6.25].

- Wärmedämmstoff / Durchfeuchtung

Die Gefahr, dass durch die Fugen Schlagregenwasser bis zum Dämmstoff gelangt, ist im Gegensatz zu geschlossenen Fassaden vorhanden. Die Auswirkungen sind jedoch energetisch nicht relevant (Kap. 4.5) und bei richtiger Dämmstoffwahl und fachgerechter Verarbeitung unbedenklich.

- Austrocknung

In den Hinterlüftungsbereich eindringender Schlagregen wird bei der offenen Fuge durch eine bessere Belüftung und Austrocknung kompensiert, was auch für die Befestigung, gleich welcher Art, von Vorteil ist (Korrosion).

- Kosten / Unterhalt

Die Kosten für die Ausfugung entfallen. Ebenso der Unterhalt der Fuge. Dafür wird eine breiterer Hinterlüftungsspalt gefordert. Eine periodische Kontrolle (vgl. Kap. 4.7) der Fassadenplatten und der Anker braucht es auf jeden Fall.

4. Konstruktions - Kriterien

- Verschmutzung

Die gut luft- und wasserdurchspülten Fugen ergeben normalerweise keine Verschmutzung auf den Fassadenplatten. Lediglich nicht entferntes Bohrmehl von der Ankermontage kann bei Neubauten zu Verunreinigungen führen. Entscheidend sind aber auch Umgebung (z.B. Vegetation oder Abgase), Exposition und Form der Fassade.

BREITE DER OFFENEN FUGEN

Je nach Dicke und Art der Bekleidungsplatten ist die Fugenbreite verschieden. Bei zu schmalen Fugen (≤ 5 mm) ergeben sich einerseits Probleme der Aesthetik, da die unterschiedlichen Fugen infolge von Materialtoleranzen und Verarbeitung optisch sofort erkennbar sind und andererseits besteht die Gefahr, dass je nach Ankertyp zwischen den Horizontal-Fugen eine starre Verbindung entsteht (auch durch nicht entfernte Distanzklötze möglich), die zu einer Ueberlastung der untersten Befestigungen führen kann (vgl. Bild 29, Kap. 5.4.1).

Schmale Fugen werden von einem massiven Wasserabfluss der darüberliegenden Fassade relativ schnell "geschlossen", d.h. durch adhesive Kräfte vollständig mit Wasser gefüllt.

Der ideale Bereich der offenen Fuge liegt etwa im Bereich von 8 ± 2 mm. Je nach Fassadenplattendicke und Hinterlüftungs-Spaltbreite kann die Fuge auch grösser sein, was aber u.U. gegenüber den Laborversuchen unterschiedliche Auswirkungen haben kann.

Es gibt Orte, wo die Fugen besser geschlossen werden sollten: z.B. horizontale Fugen bei Abdeckungen oder spritzwassergefährdete Sockelbereiche. (Im Normalfall 30 - 50 cm über Boden). Aus Bemessungs-Gründen (Windkräfte), zu Gunsten der Bekleidungsplatten, empfiehlt sich evt. sogar eine Schliessung der senkrechten Gebäudeecken [Lit. 6.25].

Vielleicht kann die Konstruktion mit der offenen Fuge durch eine spezielle Formgebung der Plattenränder, verbunden mit einer geeigneten Plattenbefestigung, die Schlagregeneinwirkung auf die Wärmedämmung und die Konstruktion noch weiter verbessern. Daraus folgen aber höhere Kosten und die mögliche Beanspruchung in der Bauphase bleibt.

4. Konstruktions - Kriterien

4.2.2. GESCHLOSSENE FUGEN

- Ausdehnung / Bewegungen

Die Fugen müssen unbedingt elastisch sein und bleiben. Die thermischen Bewegungen dürfen sich nicht auf Nachbarplatten übertragen.

- Wärmedämmstoff / Durchfeuchtung / Austrocknung

Direkte Feuchtigkeit durch Schlagregen wird verhindert, Feuchtigkeit infolge Kondensat (nächtliche Abstrahlung) oder Diffusion ist aber trotzdem nicht ausgeschlossen. Undichte Fugen sind schlechter als gar keine, da die anschliessende Austrocknung langsamer stattfindet.

- Kosten / Unterhalt

Beim Ausfugen lohnt es sich nie ein Billigprodukt zu verwenden, da die Lebensdauer um ein vielfaches kürzer sein kann. Eine periodische Ueberwachung der Fugen kann mit den Kontrollen der Fassadenplatten und der Verankerung gemacht werden (beachte Kap. 4.7.1).

- Verschmutzung

Bei der Verwendung von Dichtstoffen auf Natursteinen ist unbedingt vorher die Verträglichkeit abzuklären. Je nach Dichtstoff und Stein können sich nicht mehr entfernbare Verfärbungen am Naturstein ergeben (Silikonöle, Weichmacher). Weitere Verschmutzungen können, wie bei den offenen Fugen, je nach Umgebung, Exposition oder Fassadenform entstehen.

BREITE DER GESCHLOSSENEN FUGEN

Für die Breite der geschlossenen Fuge gelten im Prinzip dieselben Kriterien wie bei der offenen Fuge, jedoch im Messbereich min. 8, max. 30 mm.

Fugenmaterial: Eine Studie der EMPA [Lit. 4.07] zeigt, dass für das Ausfugen von Natursteinfassadenplatten vor allem Polysulfide und Hybridpolymere in Frage kommen. Neben der guten Lebensdauer (soll ≥ 20 Jahre) sind vor allem Temperatur-Beständigkeit, UV-Verträglichkeit, Dehnungs-Stauchungs- und Zugspannungswerte sowie die Verträglichkeit mit dem Naturstein gefragt. Zu beachten sind auf jeden Fall die Forderungen der SIA-Empfehlung V 234 (1987). Fachleute raten, bei den Fugendichtungsmassen folgenden Fehlern vorzubeugen:

- nie Billigprodukte verwenden (kurze Lebensdauer)

4. Konstruktions - Kriterien

- qualifizierte Facharbeiter sind nötig (durch Pfuscharbeit kann das beste Material funktionsuntüchtig werden)
- oft wird der Voranstrich (Haftprimer) oder das Stopfen vergessen.

Solchem kann man u.a. vorbeugen, indem eine genaue Ausschreibung für die Dichtungsarbeiten gemacht wird [vgl. Lit. 6.18]. Eine hohe Wasseraufnahme der Bekleidungsplatten ist grundsätzlich problematisch, da bei Materialien wie Sandstein, Tuff, Ton, Glasfaserbeton u.a. eine Fugendichtung wegen Haftproblemen und Wasserhinterwanderung praktisch unmöglich ist.

4. Konstruktions - Kriterien

4.3. Hinterlüftungsspalt

Der Hinterlüftungsspalt ist, obwohl nur aus Luft bestehend, bauphysikalisch ein sehr komplizierter Teil der hinterlüfteten Fassade. Die komplexen Vorgänge, die sich darin abspielen, sind trotz vielen Untersuchungen und Berechnungen nur zum Teil bekannt. Im folgenden einige Erkenntnisse, die neben den Laborprüfungen vorwiegend aus der Literatur und der Bauplatzpraxis stammen.

4.3.1. SPALTBREITE

Die notwendige Spaltbreite wird in den meisten Normen und Fachbüchern mit 2 cm angegeben. Diese Distanz ist seit jeher Usus und wurde empirisch über lange Zeit bestätigt. Nicht Berechnungen und Optimierungen sind die Grundlage dafür, sondern schlicht die Dachlatte mit den Abmessungen 24 x 48 mm. Mit komplizierten Computerberechnungen lässt sich heute nachweisen, dass fast jeder Abstand von 1 bis X cm eine funktionstüchtige Hinterlüftung ergibt [Lit. 3.10, S. 16].

Da aber die Qualitäten und Genauigkeiten verschiedener Arbeitsgattungen auf der Baustelle nicht im mm- sondern im cm-Bereich liegen, ist es angezeigt, je nach Systemart die Spaltbreite aus Funktions-Sicherheitsgründen zu erhöhen. Im folgenden einige Faktoren, die eine Vergrösserung oder Verkleinerung der Spaltbreite ergeben können:

a) Oekonomie

Bei schwerer Bekleidung (Natursteine) ist ein schmaler Spalt wegen dem geringeren Anker-Kragarm wirtschaftlicher.

b) Energie/Feuchtetransport

Je schneller der Luftaustausch zwischen Spalt- und Aussenluft (abhängig u.a. von der Strömungsgeschwindigkeit und der Spaltbreite, vgl. 4.3.2) desto kleiner der winterliche Sonnenenergiegewinn - aber auch desto schneller der Feuchteabtransport.

c) Schutz der Wärmedämmung

Je grösser die Distanz von Bekleidung und Wärmedämmung desto sicherer, dass trotz lokaler Einengungen die Wärmedämmung keinen Kontakt mit der Bekleidung hat.

d) Bei offenen Fugen in der Vorsatzschale muss Punkt c mit Sicherheit erfüllt sein, da das Regenwasser zum Teil im Hinterlüftungsbereich abläuft.

4. Konstruktions - Kriterien

e) Bautoleranz

Die Toleranzen für die hinterlüftete Fassade sind in der SIA-Norm 414 nicht geregelt. Rohbautoleranzen gehen erfahrungsgemäss meistens auf Kosten der Hinterlüftung (Ergänzung siehe Kap. 4.6.2)

Nach einer Abwägung der sich konkurrierenden Faktoren empfehlen wir eine konsequente minimale Spaltbreite von 2 cm für Fassaden mit geschlossenen Bekleidungen und eine Spaltbreite von min. 5 cm für Bekleidungen mit offenen Fugen. Grössere Abstände sind, vor allem für hohe Fassaden, besser.

4.3.2. LUFTGESCHWINDIGKEITEN

Die Luftgeschwindigkeiten in hinterlüfteten Fassaden-Systemen, mit offenen und geschlossenen Fugen, wurden schon oft und über längere Zeit gemessen [Lit. 3.10 / 6.03 / 6.05].

Ziemlich übereinstimmend ist bei diesen Messungen festzustellen:

Die Ursache der Luftgeschwindigkeit ergibt sich aus Thermik (Auftrieb) und/oder Windanströmungen. Die Wirkung wird bestimmt von Spaltbreite, Be- und Entlüftungsöffnungen sowie weiteren Widerständen im Spaltquerschnitt (z.B. Querlatung).

Für das Jahresmittel der Luftgeschwindigkeit ist der Beitrag der Thermik entscheidend, auch wenn die einzelnen Spitzenwerte von den Windbelastungen bestimmt werden.

Thermik: Luftströmung von unten nach oben (Kamin-Effekt) je nach Farbe und Sonnenbestrahlung (Einfluss ΔT) der Bekleidung im Bereich von 0.1 - 0.6 m/s.

Wind: Je nach Stärke, Richtung und Fassadenteil variieren - bei Windgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s - die Luftgeschwindigkeiten im Spalt von 0.2 - 1.0 m/s. Bei Böen und Sturmspitzen werden allerdings Werte von über 2.0 m/s erreicht.

Erstaunlich ist, dass der Windeinfluss nicht eine Ueberlagerung zur Thermik ergibt, sondern starke Strömungsschwankungen verursacht, die in wechselnden Richtungen (auch abwärts) auftreten und mit dem Verdrängen der Thermik die mittlere Luftstromgeschwindigkeit im Spalt eher verkleinern. Als Jahres-Durchschnittswert kann somit für die meisten Konstruktionen ein Wert von 0,3 - 0,4 m/s angenommen werden.

4. Konstruktions - Kriterien

Versuche von B. Schwarz [Lit. 6.03] zeigen, dass bei offenen Fugen die zeitlich und örtlich auftretenden Druckschwankungen einen pulsierenden Luftaustausch (Pump-Effekt) über die Oeffnungen ergeben. Die gemessenen Maximal- und Durchschnitts-Luftgeschwindigkeiten änderten sich aber gegenüber der geschlossenen Fassade kaum. Die gemessenen Druckschwankungen waren unabhängig von der Windrichtung und auch wesentlich kleiner als dies von den Berechnungen her zu erwarten war.

Wie weit die Luftgeschwindigkeit im Spalt den Wärmedurchgang beeinflusst, ist aus den Resultaten und Grafiken in Kap. 3.4.4 und 3.4.5 ersichtlich.

Für die Bemessung der Konstruktion ist interessant, dass die Windsog-Kräfte wesentlich grösser sein können als die Winddruck-Kräfte ! [Lit. 1.01 / 3.06 / 3.12].

4.3.3. BE- UND ENTLÜFTUNGSÖFFNUNGEN

Für geschlossene Bekleidungen wird in der SIA-Norm 238 (1988) für Be- und Entlüftungsöffnungen ein freier Querschnitt von 100 cm²/m Fassade gefordert. Für hohe Fassaden mit breiteren Hinterlüftungsspalten empfiehlt es sich, diese Querschnitte ebenfalls zu vergrössern und mit einem Vogel- resp. Insektenschutzgitter abzudecken. (Je nach Lochanteil dieser Gitter wird der freie Querschnitt wieder vermindert).

Bei offenen Fugen in der Bekleidung wird eine zusätzliche Be- und Entlüftung überflüssig, da der Luftaustausch und der Feuchteabtransport ohnehin gewährleistet ist.

Ein nicht verstopfter, einwandfrei funktionierender Hinterlüftungsraum ist Voraussetzung für das Funktionieren des ganzen Systems (vgl. Bilder 30 + 31).

4. Konstruktions - Kriterien

4.4. Befestigungen / Anker

Entsprechend der Vielfalt der Bekleidungsmaterialien sind auch die verschiedensten Befestigungsprodukte auf dem Markt erhältlich, von der Holzlatte bis zum hochlegierten Stahlanker. Bei der Auswahl des Befestigungssystems sollte man sich stets vor Augen halten, wie gross das Schadenpotential sein kann, falls durch irgendeinen Fehler die Bekleidung eines Tages herunterfällt ... [vgl. Lit. 1.24, S. 36 oder 4.03]. Im folgenden einige Bemerkungen zu den Befestigungen aus Stahl, die vor allem bei Natursteinfassaden eingesetzt werden.

Eine lesenswerte Ergänzung zum Thema Befestigungssysteme ist ein Beitrag von Jules Schröder [Lit. 1.22].

4.4.1. BEFESTIGUNGSSYSTEME

Bezügl. Werkstoff, Bemessung, Einsatzgebiet, Vor- und Nachteilen sind Detailangaben vom Hersteller zu verlangen, und Absprachen mit dem Ingenieur zu treffen.

a) **Schienensystem:** Die Last der Bekleidung wird zuerst auf Metallprofile (Schiennen) übertragen, welche dann sekundär mit Ankern, an frei wählbaren Orten, die Wärmedämmung durchstossen und im Untergrund befestigt sind (Anwendung meist mit leichten Bekleidungsplatten, vgl. Bild 46).

Die Vorteile dieser Konstruktion liegen bei der relativ geringen Anzahl Anker pro m² (geschossweise Fixation möglich), bei der Möglichkeit einer grösseren Auskragung und bei der einfachen und genauen Montage. Nachteilig sind die Schienenverformungen durch Temperatur-Schwankungen, z.T. notwendige Schweissnähte, relativ hohe Kosten und die grösseren Wärmebrückeneffekte verursacht durch die Schienen (=Kühlrippen).

b) **Einzelanker:** Sie werden vorwiegend bei schweren Bekleidungsplatten eingesetzt. Je nach System gibt es verschiedene Typen:

- **Konsolanker:**

Schwer, gross, kompliziert, dafür z.T. 3-dimensional verstellbar. Verankerung im Tragwerk: schnell und einfach mit Dübel und Schrauben (wenn möglich mit Kunststoffunterlage). Die Bekleidungsplatten werden stirnseitig mit Metallbolzen gehalten. Anpassung der Wärmedämmung: schwierig (siehe Kap. 3.4) (Beispiel Bilder 15 / 38 / 44).

- **Mörtelanker:**

Leicht, einfach; Verankerung im Tragwerk: genau aber langwierig. Es braucht relativ grosse Löcher im Untergrund (Beton!), wo die Anker eingemörtelt oder mit Kunststoffklebmasse eingegossen werden (Trocknungszeit). Die Bekleidungsplatten werden stirnseitig mit Metallbolzen gehalten. Anpassung der Wärmedämmung: zufriedenstellend (Beispiel Bild 37).

4. Konstruktions - Kriterien

- Rundstahlanker:

Sehr leicht, einfach. Verankerung im Tragwerk: schnell und einfach, aber viele Stk/m². Die Stahlstifte werden mit einer Kunststoffklebemasse in ein Bohrloch im Tragwerk gesteckt (einfach, mit Trocknungszeit). Die Bekleidungsplatten werden auf die gleiche Weise auf drei bis vier Stahlbolzen gesteckt und verklebt. Anpassung der Wärmedämmung: gut (Bsp. Bild 45).

Zu all diesen Systemen gibt es z.T. Hilfs- und Unterkonstruktionen sowie individuelle Anpassungen und Entwicklungen, die oft mit Hilfe von Schweissarbeiten erstellt werden (siehe Bilder 40/41 und Kap. 4.4.2). Für den Einsatz und die Bemessung der Gerüstanker ist der Fassadenplaner zuständig. Bauphysikalisch gelten die gleichen Regeln wie für die Fassaden-Anker (Lit. 3.05 / 3.11).

Auch wenn in den Normen und Richtlinien für Natursteinbekleidungen praktisch überall nur von einer Befestigung mit Dornen durch die Plattenstirnen ausgegangen wird, gibt es immer mehr adäquate und gute Alternativen, wo die Bekleidungsplatten mit Schrauben, U-Profilen, ganzen Einfassungen oder Fixationen in der Plattenrückseite (Rundstahlanker) befestigt werden.

Je nach Grösse der Bekleidungsplatten und der Systemart ergibt sich die Anzahl Anker pro m² Fassade, was in Kap. 3.5.5 eine der Grundlagen für die Berechnung der k-Wert-Zunahme infolge Wärmebrückenwirkung ist.

Bei nicht fix im Untergrund eingemörtelten Ankern kann gemäss Berechnungen (Kap. 3.5) eine wirksame Verbesserung (resp. Verlust-Reduktion) erzielt werden, wenn zwischen Anker und Untergrund eine gut isolierende, druckfeste Kunststoffunterlage angebracht wird.

4.4.2. WERKSTOFFWAHL UND -BEHANDLUNG

In Kap. 2.4 ist erwähnt, dass die Metallurgie und die Statik / Bemessung thematische Grenzgebiete sind. Deshalb werden hier nur einige der wichtigsten Aspekte betrachtet.

Bei der stark erhöhten Gefährdung von Baukonstruktionen durch die heutigen Umwelteinflüsse (Verkehr, saurer Regen etc.), muss die statische Sicherheit besonders sorgfältig beurteilt werden. Dabei sollten auch schlechte Voraussetzungen bezüglich Materialqualität, Verarbeitung und Bauteil-Beanspruchung beachtet werden, denn im Vordergrund muss das Langzeitverhalten bezüglich korrosiven Einflüssen unter ungünstigsten Bedingungen stehen.

Heute werden für Befestigungen/Unterkonstruktionen von Natursteinfassaden meist hochlegierte austenitische (sog. "nichtrostende") Stähle eingesetzt. Im Gegensatz zu

4. Konstruktions - Kriterien

den Cr-Ni-Stählen der Gruppe A2, wo verschiedene Schadenfälle bekannt sind, haben sich bei Natursteinfassaden die weniger empfindlichen Cr-Ni-Mo-Stahlanker der Gruppe A4 bis jetzt bewährt.

Es muss hier dennoch darauf hingewiesen werden, dass alle diese Stähle eine spezifische Empfindlichkeit gegen chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion aufweisen. Diese Korrosionsart, die zu einem plötzlichen Versagen unter Zugspannung stehender Teile führt, tritt bei normalen Umgebungstemperaturen nur auf, wenn der Stahl z.B. durch unsachgemässes Schweißen im sensibilisierten Zustand vorliegt, oder wenn sich an der Oberfläche Bedingungen mit sehr hohen Chloridkonzentrationen ausbilden können. Eine Anreicherung mit Chloriden ist bei hinterlüfteten Fassaden durch die Verfrachtung von streusalzhaltigen Aerosolen oder Stauben in den Hinterlüftungsspalt (in der Nähe verkehrsreicher Strassen) denkbar. Auch in lokalen Korrosionsstellen (Lochfrass, Spaltkorrosion) bilden sich bei diesen Stählen konzentrierte saure Chloridlösungen. Besser wären daher noch höher legierte Stähle wie 1.4539 und 1.4529, mit deutlich geringerer Empfindlichkeit gegen Spannungsrisskorrosion und andere Korrosionsarten.

Speziell kritisch ist das Schweißen auf der Baustelle (vgl. Bilder 40+41). Ist es unumgänglich, muss ein geprüfter Schweißer beigezogen werden [vgl. 1.02 (Kap.2) und 6.29]. Zudem sind niedrig gekohlte ($C \leq 0.03\%$) oder stabilisierte (z.B. 1.4571) Stahlqualitäten zu verwenden, welche weniger zur Sensibilisierung neigen.

Verzinkte Stahlanker ohne zusätzliche Beschichtung sind nicht zu empfehlen, da Zink bei Anwesenheit von Chloriden hygroskopische Korrosionsprodukte bildet, die schon bei relativen Luftfeuchtigkeitswerten weit unter 50 % zu einem Weiterrosten der betroffenen Teile führen können. Eine Lösung mit feuerverzinkten und zusätzlich organisch beschichteten (sog. Duplex-Verfahren) Ankern wäre hingegen vorstellbar, auch wenn mit gewissen Verletzungen der organischen Beschichtung auf der Baustelle gerechnet werden müsste. Dieses System hat den Vorteil, unempfindlich gegen plötzliches Versagen durch Spannungsrisskorrosion zu sein, ist aber nicht anwendbar, wenn die Anker komplizierte Formen und Gewinde haben oder wenn Schweißen auf der Baustelle notwendig ist.

Für leichte Fassadenbekleidungen aus Keramik, Faserzement, Blech etc. sind auch Alu- oder Holz-Unterkonstruktionen geeignet. Diese Materialien sind wesentlich weniger belastbar als Stahl, zeigen aber weniger Probleme bezüglich Korrosion.

Ob uns eine sicherere Zukunft mit neuen Anker-Werkstoffen oder veränderten Baukonstruktionen bevorsteht, wissen wir noch nicht; mit Sicherheit werden wir aber die Verantwortung für das heute Gebaute noch einige Jahrzehnte tragen müssen.

4. Konstruktions - Kriterien

4.4.3. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Schwere Massiv-Bauteile (Betonelemente o.ä.) grundsätzlich nicht auf- oder anhängen, sondern auflegen.

Für Befestigungssysteme und Anker von Naturstein-Bekleidungen sind folgende Punkte zu beachten: (gilt nicht für leichte Aussenwand-Bekleidungen)

- Ankermontagen sollten nur durch geschulte Fachleute ausgeführt werden
- Materialmässig haben austenitische Stähle der Gruppe A4 (Cr,Ni,Mo) grosse Verbreitung gefunden und scheinen sich gut zu bewähren (vgl. Kap. 4.4.2)
- Das Schweißen an Fassadenankern auf der Baustelle ist sehr problematisch und nicht zu empfehlen. Der Entscheid, die Kontrolle und damit die Verantwortung liegen beim Systemanbieter und beim zuständigen Bau-Ingenieur (vgl. Kap. 4.4.2).
- Vom Einsatz von galvanisch verzinkten Ankern wird dringend abgeraten. Feuerverzinkte und organisch beschichtete Systeme (Duplex-Verfahren) sind denkbar, sofern keine komplizierten Ankerformen, Gewinde, Zurechtbiegungen oder Schweißen an Bau notwendig sind.
- Jede Konstruktion sollte so geplant und ausgeführt werden, dass möglichst wenig Wasser in Spalten oder Ueberlappungen eindringt, da liegenbleibende aggressive Agenzien (wässrige Salzlösungen) zu Korrosion führen können.
- Hinterlüftete Fassaden an stark befahrenen Strassen können problematisch werden, da Streusalzverfrachtungen und aggressive Gase in den Hinterlüftungsspalt gelangen.
- Die Traganker müssen einwandfrei im Untergrund befestigt werden. Je nach Untergrundmaterial sind grosse Unterschiede bezügl. Tragkraft zu berücksichtigen.
- Für eine Ankerinspektion sind an kritischen Stellen Kontrollöffnungen in der Bekleidung vorzusehen (vgl. Kap. 4.7).
- Für Anker auf der Gebäudeinnenseite (Warmseite) ist die Materialwahl weniger problematisch (ausser bei speziellen Emissionen).
- Empfehlungen aus Kap. 3.3.6 / 3.4.6. und 4.1.

4. Konstruktions - Kriterien

4.5. Wärmedämmung und k-Wert

Der Wärmeschutz ist nach wie vor eine der wirtschaftlichsten Energiesparmassnahmen, wobei der k-Wert der Konstruktion und damit die Wärmedämmung eine Hauptrolle spielen. Die folgende Tabelle gibt einen Ueberblick auf die Einflussfaktoren für den effektiven k-Wert bei einer hinterlüfteten Fassade.

4.5.1. EINFLÜSSE AUF DEN WÄRMEDURCHGANG

	Energetische Auswirkung:		
	gross	mittel	klein oder gar nicht
- Aussenklima (Wind, Sonne, Temperatur)	x		
- Wärmeleitfähigkeiten d. verwendeten Mat.	x		
Feuchtigkeit im Dämmstoff durch:			
a) - Schlagregen (Direkteinfluss durch offene Fugen)			x fast nur Sommer (vgl. 5.1)
- Diffusion von innen			x
- Kondensation der Aussenluft infolge nächtlicher Abstahlung der Bekleidung			x
- Kondensat infolge von Luftleckagen		x	
- Neubaufeuchtigkeit		x	
b) - Schlechte Dämmstoffmontage (Kontakt mit Platten-Rückseiten)	x		
Luftauskühlung infolge			
- schlechter Dämmstoffmontage und evt.	x		
b) - Hinterspülung des Wärmedämmstoffes	x		
- Luftleckagen in der Konstruktion		x	
- Windgeschwindigkeit an Dämmstoffoberfläche			x
bezüglich Sonnenenergie			
- im Winter eine Verschlechterung des Gewinns			x
- im Sommer eine Verbe. des Sonnenschutzes			x
Wärmebrücken infolge:			
c) - Anker u.a. Befestigungen	x		
- Konstruktion, Geometrie		x	

- a) Verschiedene Versuche und Erfahrungen der EMPA zeigen, dass bei einem durchfeuchteten (nichthygroskopischen) Mineralfaser-Dämmstoff ein grosses ΔT (Heizperiode) die Feuchtigkeit durch Dampfdiffusions-Vorgänge sofort an die äussere, kalte Oberfläche treibt, wo sie bei der hinterlüfteten Konstruktion durch die Luft abgeführt wird. Damit ist die Dämmwirkung innerhalb von Stunden oder Tagen praktisch wieder vollständig intakt.

Auch ein Artikel von H. Künzel [Lit. 6.10] zeigt, dass bei Mineralfaserplatten die auftretenden Feuchteerhöhungen durch Verdunstung rasch wieder zurück gehen.

4. Konstruktions - Kriterien

- b) Einfluss von Verlegefehlern der Wärmedämmung (Bild 22) nach Resultaten von Laborprüfungen von Jan G.N. Lecompte [Lit. 6.21] (Verlegefehler vgl. Bild 33)

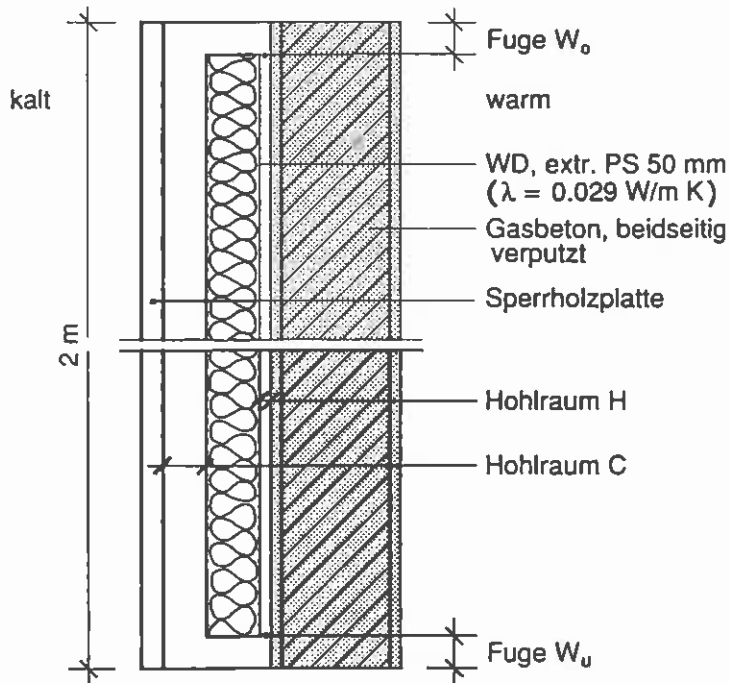


Bild 22

Schnitt durch Versuchswand

Rechenw. $k_r = 0.35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Anmerkung: Der Hohlraum C ist nicht (mit Aussenluft) hinterlüftet, d.h. bei einer effektiv hinterlüfteten Fassade werden die Verluste durch verstärkte Konvektion + Windeinwirkung noch höher.

Tabelle 3 (zu Bild 22)

Hohlraum		Fuge		k_{eff}	k_{eff} / k_r
C mm	H mm	W_o mm	W_u mm	$\text{W/m}^2 \text{ K}$	%
25	25	0	0	0.36	103
25	25	5	5	0.72	206
25	25	2	2	0.40	114
40	10	7	3	0.64	183
40	10	3	3	0.49	140
45	5	5	5	0.42	120
45	5	2	2	0.39	111

- c) Unsere Labormessungen und Computerberechnungen zeigen z.T. hohe Energieverluste durch die Wärmebrückenwirkung von Metall-Ankern. Es ist daher unbedingt notwendig, dass der Systemanbieter dem Planer die nach SIA-Empfehlung 380/1 (Kap. C 22 D) und SIA-Empfehlung 180/1 (Kap. 3.6) geforderten

4. Konstruktions - Kriterien

k-Wert-Zuschläge zur Grundkonstruktion bekannt gibt. Die k-Wert-Berechnung für inhomogene Konstruktionen ist nach der Methode SIA-Norm 180 bei Wärmedämmstoff-durchstossenden Metallteilen nicht zulässig, da i.A. keine ebene Konstruktion vorliegt und das Verhältnis der Grenzwerte nicht eingehalten wird.

$$\frac{R_o}{R_u} > 1.5 \quad (\text{aus SIA-Norm 180 Kap. 3 3 4})$$

Die z.Z. verfügbaren Wärmebrückenkataloge [Lit. 1.23] haben keine genügenden Angaben für Ankersysteme. Wir empfehlen deshalb, die Zusatzverluste mittels PC Wärmebrückenprogrammen oder mit Messungen zu ermitteln.

Ab Herbst 1993 wird beim SZFF (Schweiz. Zentralverband für Fenster- und Fassadenbau) die Richtlinie Nr. 41.10 erhältlich sein, welche eine vereinfachte Berechnung des mittleren k-Wertes einer Leichtbaufassade, mit Einbezug linearer und punktueller Wärmebrückenzuschläge enthält.

4.5.2. k-Wert-Berechnung

Bei einer funktionierenden Hinterlüftung herrschen im Luftspalt zwischen Bekleidung und Dämmstoff Aussenluftbedingungen mit kleiner Luftgeschwindigkeit. Nach SIA-Norm 180 (S. 20) wird in der k-Wert Berechnung $R_a = 0.05 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ und $R_{\text{Luftspalt}} = 0.08 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ gesetzt, was etwa gleichwertig ist, wie wenn Bekleidung und Luftspalt vernachlässigt werden, dafür aber $R_a = R_1 (0.125 \text{ m}^2 \text{ K/W})$ gesetzt wird. (Wärmeverluste infolge Anker und Befestigungen, siehe Kap. 3.4)

4.5.3. Befestigung der Wärmedämmung

Die Befestigung der Wärmedämmstoffe auf dem tragenden Untergrund kann je nach Fassadensystem unterschiedlich sein. Nicht nur die erwähnten bauphysikalischen Gründe, (Kap. 3.1.6 und 3.3.6), sondern auch statische Ueberlegungen, wonach je nach Konstruktion erhebliche Windsogkräfte auf den Dämmstoff einwirken können, verlangen eine qualitativ einwandfreie Befestigung [vgl. Lit. 6.25]. Wir empfehlen deshalb zwei der drei üblichen Befestigungsarten miteinander zu kombinieren: kleben, einklemmen, dübeln. Eine Verklebung, meistens mit Haftzement, muss dank der grossen Klebkraft u.E. nicht vollflächig sein, sollte aber auf jeden Fall den Effekt der Hinterströmung der Platten verhindern. Als mechanische Sicherung (je nach System auch eine Montagehilfe) bewähren sich in der Praxis die Kunststoffdübel, die gegenüber Metalldübeln keine nennenswerten zusätzlichen Wärmebrückeneffekte ergeben. Ueber die Beständigkeit des Kunststoffes sind vom Hersteller entsprechende Angaben und Garantien zu verlangen. Beim Dübeln ist der "Matratzen-Effekt" zu vermeiden ! (zu starkes Einpressen).

4. Konstruktions - Kriterien

4.6. Untergrund / Details

4.6.1. UNTERGRUND

Bei der hinterlüfteten wärme gedämmten Fassade profitiert der Untergrund in hohem Masse von den Schutzfunktionen der Bekleidung und von der Aussenwärmedämmung. Die Wärmedämmung sorgt dafür, dass die Tragstruktur nicht ständig den extremen Temperaturschwankungen (Tag / Nacht - Sommer / Winter) unterworfen ist. Trotzdem müssen aber Art und Qualität des Untergrundes auf das Fassadensystem abgestimmt werden, denn es bleiben noch folgende wichtige Aussenwand-Aufgaben zu erfüllen:

- Tragfunktion (Brandschutz !)
- Schalldämmung
- Luftdichtigkeit
- Speichervermögen (Dämpfen der Temperatur-Schwankungen)
- Dazu kommt auch das Einhalten der Massgenauigkeit und der Toleranzen

Der Untergrund kann je nach Fassadensystem aus Beton, Mauerwerk, Metall, Holz o.ä. Materialien sein. Je nach Festigkeit des Untergrundes kann die Uebertragung der Ankerkräfte problematisch werden (z.B. bei Porenbeton oder porierten Backsteinen). In den meisten Fällen, wo schwere Bekleidungen verwendet werden, wird jedoch Stahlbeton eingesetzt. Doch auch beim Stahlbeton sind einige Punkte zu beachten, wenn für die Verankerung der Fassadenanker z.T. grosse und tiefe Löcher benötigt werden:

- sind Leitungen im Beton ? (Strom, Wasser etc. !)
- wo sind die Armierungseisen ? (evt. Vorspannkabel ?)
- ist die Betonqualität in Ordnung ? (vgl. Bild 35)
- ist die Oberfläche brauenfrei ? (Auflage für Konsol-Anker: siehe Bild 38)

4. Konstruktions - Kriterien

4.6.2. ROHBAUTOLERANZEN

Im Kap. 4.3.1 ist erwähnt, dass die Rohbautoleranzen meistens auf Kosten des Hinterlüftungsspalt gehen.

Da nach SIA-Empfehlung V 414/10 der Rohbau bei Längen bis 100 m eine Toleranz von ± 40 mm aufweisen darf, und die Natursteinfassadenplatten, die zum voraus bestellt werden müssen, haargenau zugeschnitten werden, empfiehlt es sich, je nach Art und Grösse des Baus die erhöhte Genauigkeit nach SIA-Norm 414 zu verlangen.

Dies ist in den Ausschreibungsunterlagen, den Verträgen, und in den Zeichnungen bei allen kritischen Massen zu vermerken und wird die Toleranzen bei der Ausführung auf min. die Hälfte reduzieren. Auch bei der Toleranz, wie bei vielen vorgängig erwähnten Bereichen, liegen die Hauptfaktoren der Differenzen beim sauberen Arbeiten und bei der Kontrolle. Wenn der Baumeister / Bauführer die Folgeproblematik kennt, wird er ohne wesentlichen Mehraufwand eine genügende Genauigkeit erreichen können.

4.6.3 DETAILS

Von allen möglichen Detail-, An- und Abschlüssen, die am Bau individuell geplant werden müssen, (Fensterstürze, -Bänke, -Leibungen, Türen, Dachkanten, Vorsprünge etc.) sei hier nur das Beispiel des Sockelbereiches besonders hervorgehoben:

Speziell bei offenen Fugen muss das auf den Plattenrückseiten abfliessende Wasser (siehe Kap.3.3) im Sockelbereich wieder nach aussen geleitet oder gefasst und abgeführt werden. Dazu muss gewährleistet sein, dass die unterste Fuge, wie auch der ganze Bereich der Hinterlüftung, nicht verstopft ist (vgl. Bilder 30/31). Tiefer liegende Fugen (im Spritzwasserbereich) werden mit Vorteil geschlossen.

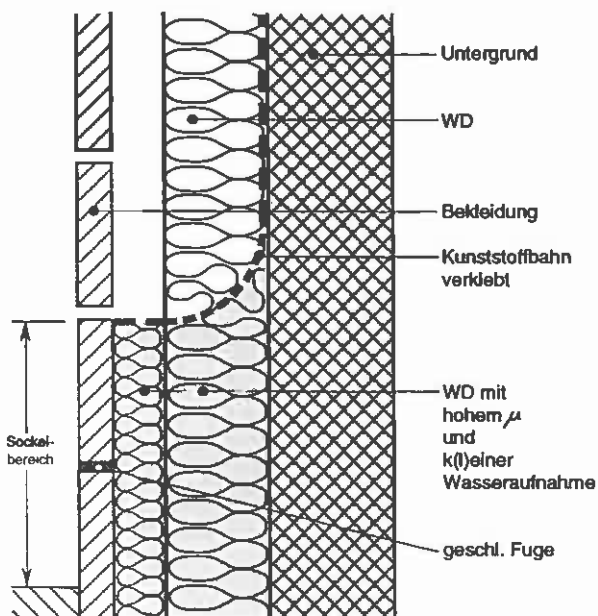


Bild 23 (vgl. Bild 48)

4. Konstruktions - Kriterien

4.7. Unterhalt / Diverses

4.7.1. UNTERHALT UND KONTROLLEN

Bei jedem Bauwerk können sich im Laufe der Zeit Veränderungen ergeben oder die Umgebung kann sich ändern, was u.U. zu einer Ueberbeanspruchung der Konstruktion und damit auch der Fassade führen kann.

Vorgesetzte Fassadenbekleidungen sollten an kritischen Stellen demontierbare Teile haben, oder noch besser, eine allgemeine Kontrolle der Unterkonstruktion zulassen (Wärmedämmung + Anker). Dies wird u.a. auch von den Normen her gefordert [Lit. 1.01 Kap. 2.23.2 und 1.09 Kap. 2.22].

Da ein Schaden aber selten bei einer Kontrollöffnung entsteht, sollte jeder Gebäudeverantwortliche (Hauswart, Besitzer oder Bewohner) der "sein" Gebäude ja ständig unter Aufsicht hat, unverzüglich einen Fachmann beiziehen, wenn er merkwürdige Dinge bemerkt wie:

- abgesackte Fassadenplatten
- Orte mit ständiger Feuchtigkeit (evt. Eisbildung)
- braune Schnäuze
- Verfärbungen
- grössere Risse
- evt. Geräusche (von Metall)

Es empfiehlt sich eine 1. Fassaden-Kontrolle vor Ablauf der Baugarantie (5 Jahre) und anschliessend je nach Gebäudeart (Höhe) und Belastung durch die Umgebung (Verkehr, Wetter etc.) die Kontrollen in Abständen von mehreren Jahren zu wiederholen. Gute Grundlagen für einen Ueberwachungs- und Sicherheitsplan sind in den SIA-Normen [Lit. 1.25 und 1.01] zu finden.

Eine hinterlüftete Fassade funktioniert nur dann einwandfrei und langfristig ohne Schaden, wenn sie durch qualifizierte Fachleute geplant, konstruiert, erstellt und kontrolliert wird.

4.7.2. INSEKTEN / PFLANZLICHE SCHÄDLINGE

Es sind nur wenige Fälle bekannt, wo Insekten (z.B. Ameisen oder Grab-Wespen) die Wärmedämmung schädigten (→ Polystyrol). Die Insekten (und Pflanzen) meiden hinterlüftete Fassaden u.a. aus folgenden Gründen:

- Verkleidung und Dämmstoff sind meistens anorganisch (Insekten brauchen Cellulose)
- ständiger Zug (sofern Hinterlüftung intakt)
- besonnte Fassaden erwärmen sich stark (1 h über 50°C → tötet alle Insekten ab)

5. Spezielle Untersuchungen

5. Spezielle Untersuchungen

Im Kap. 5 werden aufgrund von Wetter-Daten die effektiven Auswirkungen des Schlagregens aufgezeigt. Dazu kommen Messungen und Beobachtungen (Fotos) von Baustellen und fertigen Gebäuden, gemacht in den Jahren 90 - 92 durch den Verfasser.

5.1. Schlagregeneinfluss Sommer - Winter

5.1.1. ZIEL DER UNTERSUCHUNG:

Aufzeigen, wann und wie intensiv die Schlagregenfälle für eine Fassade im schweizerischen Mittelland auftreten können.

5.1.2. GRUNDLAGEN:

- SMA Wetterdaten von Zürich: Alle 10-min.-Werte der Niederschlagsmengen und Windgeschwindigkeiten in den Jahren 1981 - 1990.
- Literatur:
 - [1.20] SIA Doku 25, Aussenwände
 - [6.03] B. Schwarz, Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden
 - [6.11] E. Cziesielski, künstlicher Schlagregen für Bauteilprüfung
 - [6.19] Atlas der Schweiz, Klima und Wetter
 - [6.26] Berechnungen von R. Fink: Regen auf vertikale Fassaden

5.1.3. DATENAUSWERTUNG:

Die Ursache der Schlagregenbelastung einer Fassade liegt bei den Wetterfaktoren

- Niederschlagsmenge und
- Windgeschwindigkeit.

Die Faktoren

- Tropfenspektrum
- Luft- und Wassertemperatur
- Luftfeuchte
- Wasserqualität

5. Spezielle Untersuchungen

sowie

- Fassaden - Lage (Standort)
- Exposition
- Gebäudehöhe
- Konstruktionsart (Vordach)
- Umgebung etc.

wurden für die folgenden Zusammenstellungen nicht berücksichtigt, da sie keine, resp. nur einen abmindernden Einfluss auf die an der Oberfläche ankommende Schlagregenmenge haben. Lediglich die Gebäudehöhe spielt noch eine belastende Rolle, da mit zunehmender Fassadenhöhe, die Windbeanspruchung der oberen Teile, und die Summierung der ablaufenden Wassermengen an den unteren Teilen, immer grösser werden.

Aufgrund von verschiedenen Untersuchungen [Lit. 1.20, 6.03, 6.11] zeigt sich, dass die max. Feuchte- und Druckbelastungen bei hohen Fassaden immer in den obersten Rand- und Eckbereichen auftreten (was auch in der Fenster-Prüfnorm berücksichtigt wird).

Aus einer Studie von R. Fink, Dortmund [Lit. 6.26] geht hervor, dass diese Maximalbelastungen (in l/m^2 min) auf den kritischen Fassadenzonen etwa gleich gross sind wie die max. Niederschlagsmengen auf dem horizontalen Grund.

5. Spezielle Untersuchungen

5.1.4. FESTSTELLUNGEN / RESULTATE

Die Tabelle zeigt die durchschnittliche "Anzahl Fälle" pro Jahr, aufgeteilt in Sommer und Winter, bei denen die Niederschlagsmengen (y) mit den Windgeschwindigkeiten (x) auftreten (10 Jahres-Durchschnittswerte von Zürich, 1981 - 1990)

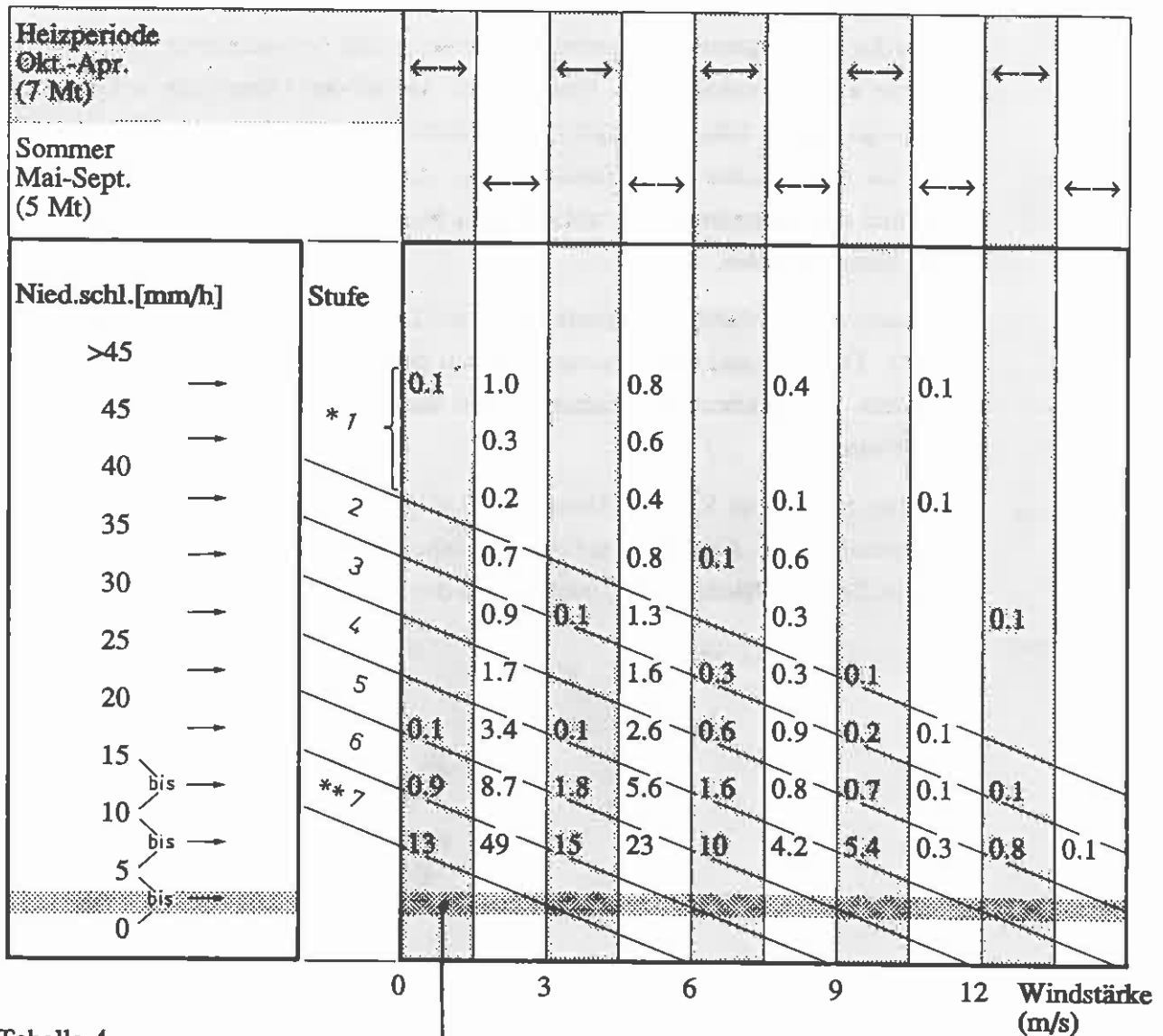


Tabelle 4

0 - 5 mm/h wird nicht mehr erfasst, da zu geringe Wassermenge.

*) → max. Intensität (schlimmste Fälle)

***) → geringe Intensität (häufig vorkommend)
 (60 mm/h = 1 l/m² min)

Beispiel: Eine Niederschlagsmenge von 10 - 15 mm/h und gleichzeitig eine Windstärke von 0 - 3 m/s tritt im Winter 0.9 mal und im Sommer 8.7 mal auf (10 Jahres-Durchschnitt).

5. Spezielle Untersuchungen

Addierung der Einzelergebnisse von Tabelle 4

Ablesebeispiel: Stufe 1
Pro Jahr gibt es 6.1 Fälle, wo die kritischen Stellen der Fassade mit der vollen Intensität der Niederschlagsmenge getroffen werden. Aber: 5.7 mal davon im Sommer, d.h. ohne Feuchtefolgen, die energierelevant sein könnten.

Anzahl Fälle pro Jahr

Stufe	Heizper.	%	Sommer	%	Total/Jahr
1	0.4	7	5.7	93	6.1
2	1.1	12	8.1	88	9.2
3	3.2	21	11.7	79	14.9
4	10.3	38	17.1	62	27.4
5	22.2	42	30	58	52.5
6	38.1	38	62	62	100.1
7	51	31	111	69	162

Stufen 1 - 7:
Abstufung der Intensität auf die Fassadenebene (Niederschlagsmenge mal Windgeschwindigkeit)

Tabelle 5



Jede Stufe jeweils inkl. dem Betrag der vorhergehenden Stufe.

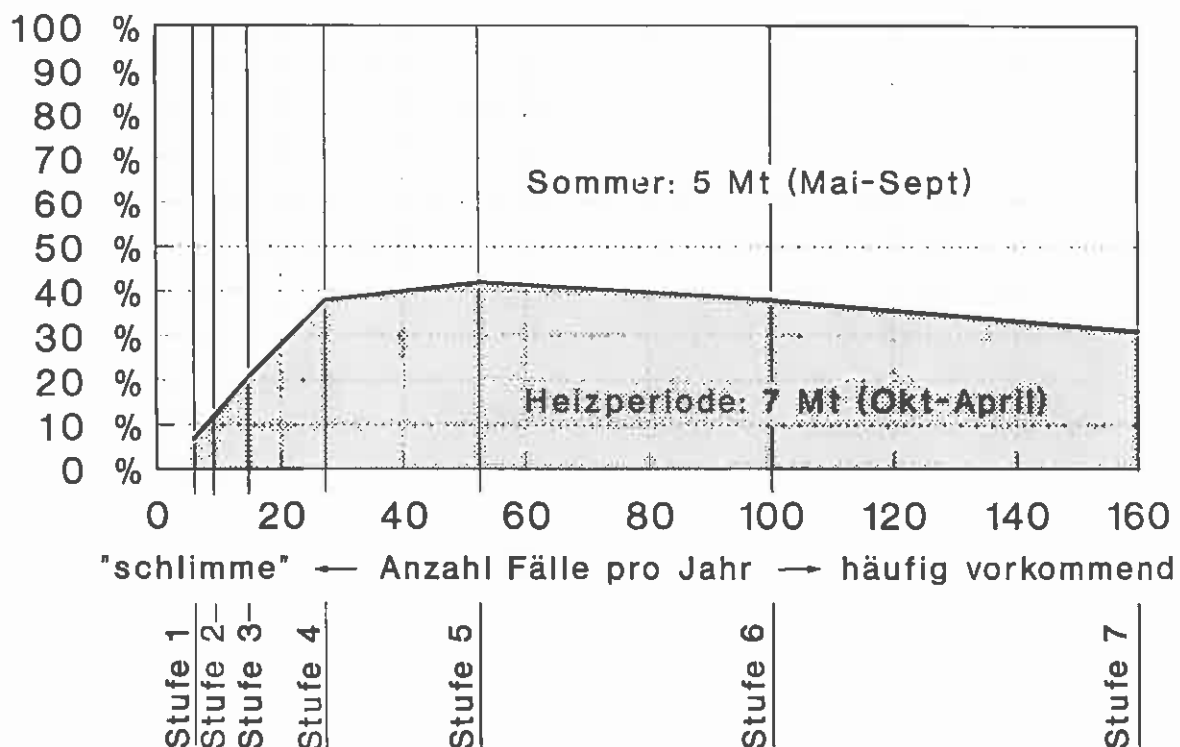


Bild 24

Grafische Darstellung der Tabelle 5

Massgebende Schlagregenfälle
Verteilung Heizperiode - Sommer

5. Spezielle Untersuchungen

5.1.5. ERGÄNZUNGEN

Weitere Erkenntnisse aus den SMA-Daten und der Literatur:

Werte, wo die Schlagregenbelastung $> 1 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ (= 60 mm/h) ist, sind in den Jahren 1981 - 1990 nur im Sommer zu finden.

Nur 1.7 Gewitter (von 22 pro Jahr) treten in Bern während der Heizperiode auf [Lit. 6.27].

I.A. ist folgendes zu beobachten:

Sommer: mehr Regen, weniger Wind

Heizperiode: weniger Regen, mehr Wind

Mehr als 3/4 aller Gewitter sind Strömungen von SW nach NE (Süd- und West-Fassaden werden belastet) [Lit. 6.19].

5.1.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

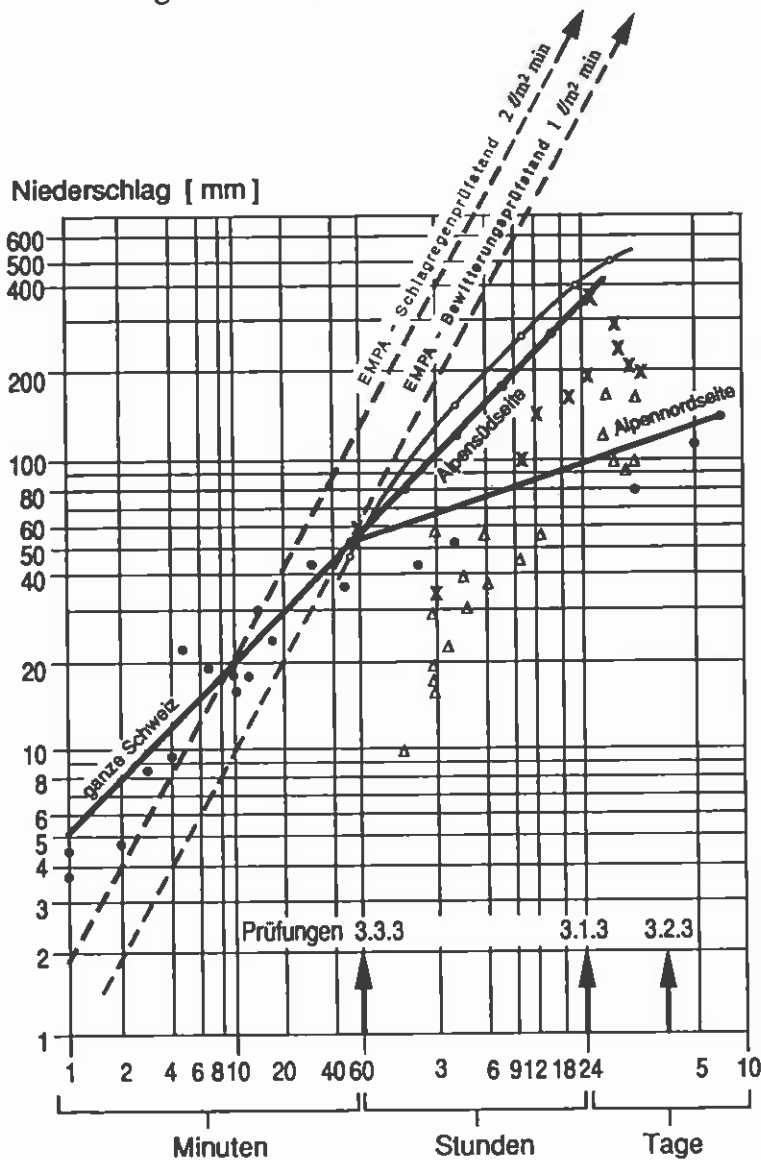
siehe Kap. 5.3.6.

5. Spezielle Untersuchungen

5.2. Schlagregen in Funktion seiner Dauer

Bild 25 stellt einen Vergleich der Wasserbelastung im Labor gegenüber den natürlichen max. Niederschlagsmengen in Funktion der Dauer dar. Wie bei Kap. 5.1.3 wird davon ausgegangen, dass die max. Belastung der kritischen Fassadenflächen infolge Wind etwa gleich gross ist, wie der max. Niederschlag auf dem horizontalen Grund [Lit. 6.26].

Leistung der EMPA-Prüfstände



Langjährige CH-max.
Werte

• Einzelwerte

— Mittelwerte

[Quelle: Lit. 5.02]

○ Hochwasserkatastrophe
Sommer 87
(UR, TI, GR)

x max. Werte 1987 - 91
Magadino und Sion
(Alpensüdseite)

△ max. Werte 1987 - 91
Kloten, La Ch.d.F.
(Alpen Nordseite)

Schlussfolgerungen und
Empfehlungen siehe
Kap. 5.3.6

Bild 25

5. Spezielle Untersuchungen

5.3. Feuchtemessungen an Gebäuden

5.3.1. ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Messen des Dämmstoff-Feuchtegehaltes, bei Objekten mit hinterlüfteten Fassaden und offenen Fugen, einige Jahre nach der Gebäudeerstellung oder -Sanierung (Messdaten: Herbst 1990).

5.3.2. GRUNDLAGEN

- 10 verschiedene Objekte (MFH, Industriebauten, Geschäftshäuser etc.) im Raum Winterthur, ZH, Zug, Luzern.

5.3.3. MESSMETHODE / PRÜFVERFAHREN:

Im Kap. 3.2. wurden fünf verschiedene Feuchte-Messmethoden für Dämmstoffe beurteilt. Daraus resultiert, dass für die Anwendung am Bau nur die Methode IV, wo mittels Röhrchen kleine Bohrkerns gewonnen werden, sinnvoll ist. Die nachfolgenden Messresultate wurden demzufolge alle mit dem maximalen Bohrdurchmesser der entsprechenden offenen Fugenbreite gemacht (Bereich 5 - 10 mm).

Die Messgenauigkeit liegt im Bereich von ± 2 Massen-%.

5. Spezielle Untersuchungen

5.3.4. FESTSTELLUNGEN UND RESULTATE
(Zusammenfassung der Messresultate von 6 Objekten)

	Objekt 1		Objekt 2		Objekt 3	
Exposition Fassade	S-W		N-W		N	
Dämmstoffdicke	10 cm		8 - 12 cm		8 cm	
Hinterlüftungsspalt	4.5 cm		7 - 9 cm		3 cm	
Plattendicke Bekleidung	4 cm		1 cm		4 cm	
Fuge horizontal	ca. 8 mm		10 mm		6 mm	
Fuge vertikal	ca. 8 mm		zu		6 mm	
Fassade erstellt	1986/87		1987-89		1988/89	
Feuchtegehalt Dämmstoff:						
Datum / Wetter *	2	3	2	3	2	3
innere Hälfte (in Massen-%)	0.5%	2.7%	0.3%	0.5%	0%	1%
äussere Hälfte	0.9%	1.0%	0.9%	0.8%	3%	3.1%
	Objekt 4		Objekt 5		Objekt 6	
Exposition Fassade	W		W		W	
Dämmstoffdicke	8 cm		2 x 5 cm		10 cm	
Hinterlüftungsspalt	6 cm		2 cm		3 cm	
Plattendicke Bekleidung	3 cm		3 cm		4 cm	
Fuge horizontal	5 - 9 mm		5 - 7 mm		10 mm	
Fuge vertikal	5 - 9 mm		5 - 7 mm		10 mm	
Fassade erstellt	1990		1986		1989	
Feuchtegehalt Dämmstoff:						
Datum / Wetter *	2	3	1		1	
innere Hälfte (in Massen-%)	1.3%	0.0%	0.4 %		0.3 %	
äussere Hälfte	2 %	2.4%	2 %		1.1 %	

* Datum / Wetter

1 = 03.07.90, bewölkt, Vortage: Gewitter, T = ca. 20°C

2 = 11.10.90, Wetter schön, Vortage: schön, Morgennebel, T = ca. 18°C

3 = 15.11.90, bewölkt, Vortage: 1½ Tg starker Regen, Wind mässig, T = ca. 5°C

5. Spezielle Untersuchungen

Die Messresultate sind Mittelwerte von 2 - 4 Bohrstellen. Die Lage der Bohrlöcher konnte allerdings nicht an den kritischsten Fassadenteilen (obere Rand- und Eckbereiche) sondern nur ca. 0.5 bis 3.0 m über Boden vorgenommen werden (Zugänglichkeit).

Minimal gemessene Werte: mehrmals 0 % vor allem bei den Dämmstoff-Innenseiten

Maximal gemessener Wert: 8.5 Massen-% im Sockelbereich (Spritzwasser) einer offenen Vertikalfuge.

Dieser Maximalwert hat aber trotzdem wenig Bedeutung, da bei einer Dämmstoff-Rohdichte von 50 kg/m^3 dies lediglich 0.43 Vol.-% Feuchtigkeit ergibt.

Es ist jedoch zu beachten, dass gemäss den Feststellungen von Kap. 3.2.5 auch hier die Feuchteverteilung in der äusseren Hälfte vermutlich sehr unterschiedlich ist, d.h. die äussersten Millimeter enthalten sehr viel mehr Feuchtigkeit, als der innere Bereich.

5.3.5 ERGÄNZUNGEN

In den Normen und in der Literatur sind für den praktischen Fall keine Angaben über max. zulässige Feuchtigkeitswerte für Mineralfaserdämmstoffe zu finden. Es ist schwierig, darüber Aussagen zu machen, da sich die Feuchtigkeit sehr unterschiedlich verteilt. (Oberflächlich bis 14 Vol.-%, vgl. Bild 6)

Damit die Feuchtigkeitsmenge trotzdem begrenzt bleibt und eine rasche Austrocknung gewährleistet ist, schlagen wir vor, dass kurzfristig auftretende Feuchtigkeit im äusseren Dämmstoffdrittel 1 - 2 Vol.-% nicht übersteigen sollte. Dabei muss die Mineralfaserqualität (Formstabilität, Befestigung etc.) unbedingt gewährleistet bleiben.

5. Spezielle Untersuchungen

5.3.6. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

aus Kap. 5.1 / 5.2 / 5.3

- Eine Durchfeuchtung (resp. Befeuchtung) des Dämmstoffes infolge Schlagregen tritt - wenn überhaupt - praktisch nur im Sommer auf.
- Die grössten Schlagregengmengen übersteigen an kritischen Fassadenteilen höchstens bei Sommergewittern den Wert von $1 \text{ l/m}^2 \text{ min}$. (Zum Vergleich: Die Labor-Prüfungen wurden z.T. mit einer Wasserbelastung von $2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ gemacht.)
- Bei konstruktiv ungeschützten Fassaden (ohne Vordach) ist die Schlagregenbelastung am grössten bei:
 - . West- und Südexpositionen (im CH-Mittelland)
 - . den obersten Rand- und Eckbereichen des Gebäudes
 - . dem Spritzwasserbereich der Sockelpartie
 - . bei sich aufsummierenden Ablaufstellen des Wassers
- Messungen an verschiedenen Bauten zeigten unterschiedliche Feuchtegehalte des Dämmstoffes. An den gewählten Messorten wurden u.E. keine unzulässig hohen Werte festgestellt.
- Feuchte Dämmstoffe in hinterlüfteten Fassaden trocknen in der Heizperiode ($\Delta\vartheta!$) rasch wieder aus.

5. Spezielle Untersuchungen

5.4. Baustellen - Reportage

Kapitel

- 5.4.1 Bekleidung + Fugen
- 5.4.2 Hinterlüftungsspalt
- 5.4.3 Befestigung / Anker
- 5.4.4 Wärmedämmung
- 5.4.5 Details

Die folgenden Beispiele zeigen, welche Probleme auf der Baustelle vorkommen können und wie schwierig die Umsetzung der Theorie in die Praxis ist, wenn unqualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt werden.

(Aufnahmen: Ch. Tanner 1990 - 1992)

5.4.1. BEKLEIDUNG + FUGEN



Bild 26



Bild 27

Natursteinplatten aus Travertin (Dicke 4 cm). Obwohl in gewissen Normen und Richtlinien für weiche Gesteine eine Plattendicke von 40 - 50 mm toleriert wird, eignet sich ein derart poröser und brüchiger Stein, der schon bei der Bearbeitung zerbricht, wohl kaum für Hochhausfassaden.

5. Spezielle Untersuchungen

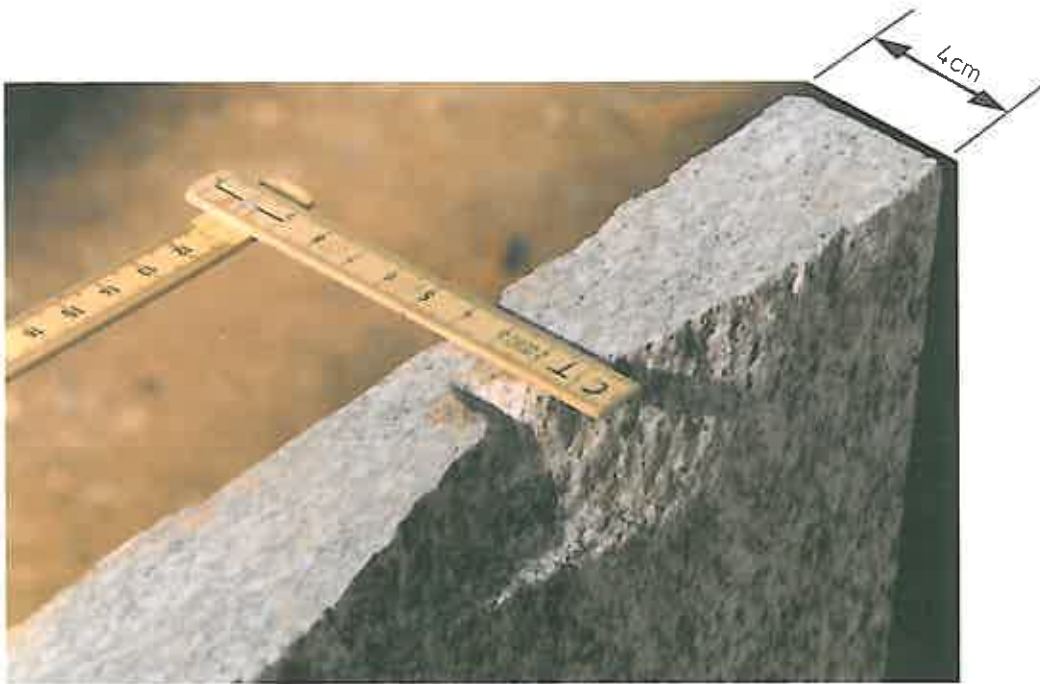


Bild 28

Auch bei einem massiven Granit können bei der Bearbeitung Schäden entstehen. Hier eine Abplatzung am Ankerdom-Loch.

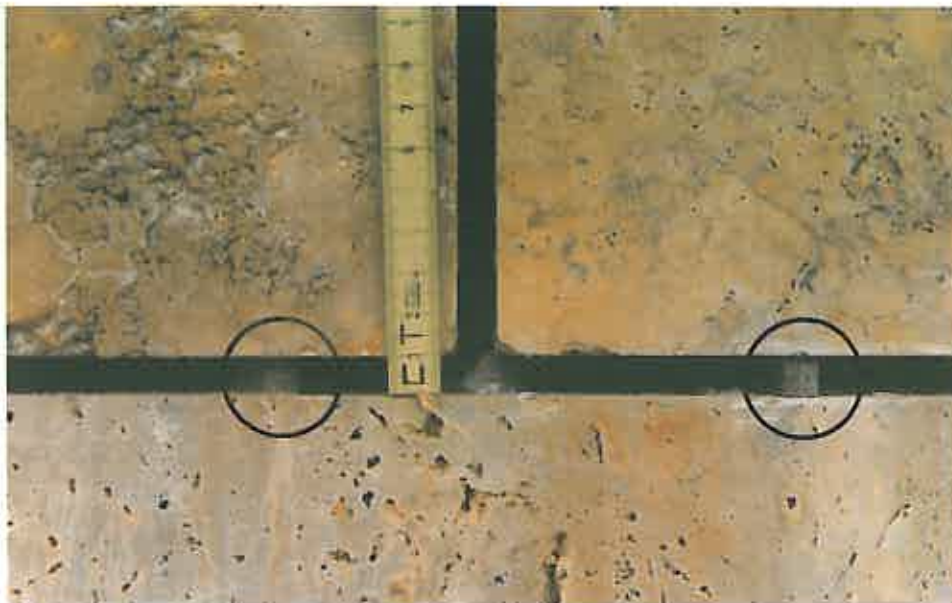


Bild 29

Nach dem Erstellen der Bekleidung müssen die Distanzklötze entfernt werden, da sich sonst eine Summierung der Last und damit eine Ueberlastung der unteren Befestigungen ergeben kann. (Bei schmalen Fugen auch nur durch die Ankerdicke, oder Klebresten vom Ankerdom möglich).

5. Spezielle Untersuchungen

5.4.2. HINTERLÜFTUNGSSPALT



Bild 30



Bild 31

Eine 10 x 12 m grosse Fassade mit einem 5 cm breiten Hinterlüftungsspalt hat das Fassungsvermögen einer ganzen Schuttmulde ... (vgl. Text Kap. 4.3)



Bild 32

Schutzfolien auf der Wärme- dämmung behindern durch Rumpfbildung die Hinterlüftung und sind u.E. auch bei offenen Fugen ungeeignet.

5. Spezielle Untersuchungen

5.4.3. BEFESTIGUNGEN / ANKER



Bild 35

Gut: → Der Anker hat ein Wasser-Abweisblech (vgl. Kap. 3.3.6)

Schlecht: Der Konus des Ankerdübels fasst nicht richtig im Beton (Luftblasen, Kiesnester, etc.) und wurde schon so weit herausgezogen, dass 3 Distanz-Unterlagen nötig sind. ... und was geschieht mit dem Bohrmehl ?



Bild 36

Im Gegensatz zum Bild oben, ist dies ein richtiger "Tropf-Anker" !

(Vgl. Kap. 3.3.5)



Bild 37

Mörtelanker

Für die Verankerung im Beton braucht es relativ grosse Löcher.

5. Spezielle Untersuchungen



Bild 38

Wenn die Anker-Auflage nicht 100 %ig ist, ergibt sich durch die Last der Bekleidung ein grösserer Hebelarm. Folgen:

1. eine Ueberlast auf den Dübel
2. eine Kippwirkung, welche optisch bei den Fugen der Fassadenplatten festzustellen ist.



Bild 39

Es muss nicht immer eine Befestigung mit Dornen in der Plattenstirne sein ! Hier ist sogar jede Einzelplatte demontierbar.



Bilder 40 + 41

Diese Anker sind in verschiedener Hinsicht nicht unbedingt eine Ideallösung ... (Vgl. Text Kap. 4.4.2)

5. Spezielle Untersuchungen

5.4.4. WÄRMEDÄMMUNG



Bild 42

Die Oberfläche der Wärmedämmung soll möglichst glatt sein ... (vgl. Kap. 3.3.6)



Bild 43

Der untere Teil dieser oben- und unten gleichen Wärmedämmung wurde ca. $\frac{1}{2}$ Jahr früher montiert und war in dieser Zeit mehrmals ungeschützt starken Gewittern ausgesetzt.

Ein Dämmstoff, der unter Feuchteinfluss aufquillt und sich zersetzt, ist für Fassaden ungeeignet. Die Hinterlüftung ist nicht mehr gewährleistet (vgl. Kap. 3.1.5, ungeeignete Produkte).

5. Spezielle Untersuchungen



Bild 44

Auch bei sauberer Verarbeitung entstehen hier so viele Fugen, dass ein beträchtlicher Wärmeverlust entsteht.

(Lochanteil ca.25%)



Bild 45

Ein Anker-System, bei dem die Wärmedämmung nur geringfügig, dafür in rel. hoher Anzahl verletzt wird und die Befestigung der Bekleidung in der Fläche der Plattenrückseiten liegt.



Bild 46

Ein Alu-Schienen-System für leichte Fassadenbekleidungen. Vorteil: leicht, wenige Anker pro m^2 . Nachteil: Alu leitet Wärme ca. 13 mal besser als hochlegierter Stahl ! (Kühlrippeneffekt).

5. Spezielle Untersuchungen

5.4.5. DETAILS

**Bild 47**

Die Fassade mit der Wärmedämmung wird während der Bauzeit (so gut wie möglich) geschützt.

**Bild 48**

Detail Fassade / Sockelbereich: Wasser, das vom Hinterlüftungsbereich her kommt, wird bei der untersten Fuge nach aussen geleitet (vgl. Kap. 4.6.3).

6. Literatur

6. Literatur

Wie eingangs erwähnt, basieren Teile dieses Berichtes u.a. auf einer Literaturstudie aus den Jahren 1990 - 92. Die folgenden Abschnitte geben einen Ueberblick über die wichtigsten Werke, auf die im Bericht zum Teil Bezug genommen wurde:

6.1. SIA-Normen / -Empfehlungen / -Dokumentationen

Nr.	Verfasser	Publikation	Jahr	Titel / Inhalt
[1.01]	SIA-Norm	160	89	Einwirkungen auf Tragwerke
[1.02]	SIA-Norm	161 + 161/1	90	Stahlbauten
[1.03]	SIA-Norm	180	88	Wärmeschutz im Hochbau
[1.04]	SIA-Empf.	180/1	88	Nachweis des mittl.k-Wertes
[1.05]	SIA-Empf.	183	89	Brandschutz
[1.06]	SIA-Norm	246	76	Natursteinarbeiten
[1.07]	SIA-Empf.	V 274	87	Fugenabdichtungen
[1.08]	SIA-Norm	279	88	Wärmedämmstoffe
[1.09]	SIA-Empf.	329	89	Montierbare Fassaden
[1.10]	SIA-Empf.	380/1	88	Energie im Hochbau
[1.11]	SIA-Empf.	384/2	82	Wärmeleistungsbedarf von Geb.
[1.12]	SIA-Norm	414	80	Masstoleranzen im Bauwesen
[1.13]	SIA-Empf.	V 414/10	87	Masstoleranzen im Hochbau
[1.14]	SIA-Norm	238	88	Wärmedämmung in Steildächern
[1.20]	SIA-Dokumentation	25	3/78	Aussenwände
[1.21]	SIA-Dokumentation	D 030	11/88	Einsatz von "nichtrostenden" Stählen im Bauwesen
[1.22]	SIA-Dokumentation	D 055	3/90	Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Befestigungssystemen
[1.23]	SIA-Dokumentation	D 078	92	Wärmebrückenkatalog 2
[1.24]	SIA-Dokumentation	D 092	6/92	Betonschäden im Hochbau
[1.25]	SIA-Empfehlung	169	87	Erhaltung von Ing.Bauwerken

6. Literatur

6.2. DIN - Normen

Nr.	Verfasser	Publikation	Jahr	Titel / Inhalt
[2.01]	DIN-Norm	18 515 (veraltet)	7/70	Fassadenbekl.aus Naturstein
[2.02]	Beiblatt	18 515 (veraltet)	12/73	Fassadenbekl.aus Naturstein
[2.03]	DIN-Norm	18 516 Teil 1	1/90	Aussenwandverkl.hinterlüftet
[2.04]	DIN-Norm	18 516 Teil 3	1/90	Aussenwandverkl.hinterlüftet
[2.05]	DIN-Norm	18 165 Teil 1	3/87	Faserdämmstoffe f.d.Bauwesen
[2.06]	DIN-Norm	4 801 Teil 3/Kap.4	8/81	Wärmesch.i.Hochbau/Schlagreg.

6.3. Schriften von Verbänden und Fachgruppen

Nr.	Verfasser	Publikation	Jahr	Titel / Inhalt
[3.01]	VKF	Richtlinien (Entw)	12/90	Verw.brennbarer Baustoffe
[3.02]	Geb.Vers.Kt.ZH	Feuerpol.4.200.1	4/90	Aussenwandverkleidungen
[3.03]	SZFF	Richtlinie 41.09	91	Steinverkleidung für nichttragende montierbare Fassaden
[3.04]	SFHF	Richtlinien + Info	2/92	Die hinterlüftete Fassade
[3.05]	Naturstein-Verband CH	Schw.Baudokument. 06875 in (31) 62	1/91	Natursteinfassaden hinterlüftet
[3.06]	Schweiz.Dachdecker-meisterverband	ERFA-Tagung 1990	9/90	Befestigungstechnik
[3.07]	R.Martinelli	element 28	1989	Backstein Aussenwände
[3.08]	R.Sagelsdorff/ Th. Frank	element 29	1990	Wärmeschutz und Energie im Hochbau
[3.09]	Verein Deutscher Ingenieure (VDI)	Bericht 710	1989	Fassadentechnik
[3.10]	H. Künzel	Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung Bauwesen und Städtebau	1983	F 1886 Hinterlüftung an Aussenwandbekleidungen Untersuchungen des Fraunhofer Instituts
[3.11]	} Informationsstelle Naturwerkstein D-Würzburg	Info 1.6	1972	Fassadenbekleidungen
[3.12]		Info 1.7	1976	Chemische und physikalische Einflüsse auf Naturstein
[3.13]		Info 1.8	1973	Verankerungen von Aussenarbeiten
[3.14]	AG pro Naturstein	Sondernummer "Stein"	5/93	Verankerungssysteme für Naturstein-Fassaden
[3.15]	SZFF	Richtlinie 41.10	11/93	Berechnung des mittleren k-Wertes von Fassaden

6. Literatur

6.4. [EMPA] Untersuchungsberichte und Publikationen

Nr.	Verfasser	Publikation	Jahr	Titel / Inhalt
[4.01]	EMPA/176	120 288	7/90	Aussendämmung für hinterlüftete Fassade
[4.02]	EMPA/176	120 288/1	11/90	Wärmebrückenwirkung von Fassadenankern
[4.03]	EMPA/136	118 568	9/89	Ankerbruch, Fassadenanker
[4.04]	EMPA/176] nicht öffent- lich	4/90	Bewitterungsversuche
[4.05]	EMPA/176		4/90	Bewitterungsversuche
[4.06]	EMPA/176		4/89	Dickenbestimmung von WD nach Klima-Beanspruchung
[4.07]	EMPA/112 G. Stoll		8/90	Fugenabdichtung im Hochbau
[4.08]	EMPA/176 IP	baul.Energie- sparen	1/84	Vergleichsprüfungen von Wärmedämmstoffen
[4.09]	Adviesbureau Peutz & Associates B.V.(NL)	Bericht Nr. DA 1196-1	4/90	Beregnungsprüfung keramischer Fassaden

6.5. Vorlesungen an der ETHZ

Nr.	Verfasser	Publikation	Jahr	Titel / Inhalt
[5.01]	R. Sagelsdorff	Spezialfragen der Bauphysik	WS 90/91	5. Belüftete Wandkonstruktionen
[5.02]	R. Sagelsdorff	"	1975	Wind / Niederschläge
[5.03]	P. Eckardt	Fassadenbau	SS 90	Vorgehängte Fassaden aus Naturstein
[5.04]	W.J. Ammann	Fassadenbau	SS 90	Befestigungstechnik
[5.05]	M. Ladner	Fassadenbau	SS 90	Lehren aus Schäden . . .

6. Literatur

6.6. Bücher, Fachartikel und weitere Literatur

Nr.	Verfasser	Publikation/Verlag	Jahr	Titel / Inhalt
[6.01]	E. Cziesielski	Bauphysik	5/85	Wärmebrücken im Hochbau
[6.02]	W. Schaupp	Fachbuch	1962	Die Aussenwand
[6.03]	B. Schwarz	HLH 24	1973	Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden (offene Fugen)
[6.04]	W. Buch	ac/façade	1968	Hinterlüftete Asbestzement-Fassaden
[6.05]	K. Liersch	Fachbuch, Band 1	1981	Belüftete Dach-+Wandkonstrukt.
[6.06]	K. Liersch	Fachbuch, Band 2	1984	Belüftete Dach-+Wandkonstrukt.
[6.07]	K. Liersch	Fachbuch, Band 3	1986	Belüftete Dach-+Wandkonstrukt.
[6.08]	Diverse	Schw.Baublatt Nr. 44	6/90	Natursteinfassaden
[6.09]	H. Bangerter	SIA Nr. 38	9/89	Ideelle Wärmeleitfähigkeit
[6.10]	H. Künzel	wkbs Heft 25	1988	Das Verhalten von Mineralfaserdämmstoffen gegenüber Wasser
[6.11]	E. Cziesielski	Bauphysik Nr. 3	1985	Erzeugung eines künstl.Schlagregens für die Bauteilprüfung
[6.12]	J. Achtziger	Bauphysik Nr. 4	1985	Kerndämmung von 2-schaligem Mauerwerk
[6.13]	J. Achtziger	Bauphysik Nr.12	1990	Anwendungsbedingter Einfluss d. Feuchte auf den Wärmetransport
[6.14]	Norw.Bauforsch.	ac façade,ZH	1968	Schlagregen- + Windeinwirkung auf offene Fugen . . .
[6.15]	H. Ritter	3.Schweiz.Naturstein Symposium, Zug	11/89	Grundsatz-Referat
[6.16]	E. Cziesielski	Vortrag TU Berlin	4/81	Vorgehängte Aussenwandbekleidungen (2.1)
[6.17]	G. Zimmermann	BRD/SfB DAB	4/80	Verschmutzung der Fassaden
[6.18]	E.B. Grunau	Bautenschutz	4/88	Versagen von Fugendichtstoffen
[6.19]	E. Imhof	Atlas der Schweiz Landestopographie	65+81	Klima und Wetter II + III
[6.20]	J. Achtziger	Dissertation	1990	Wärmeschutz, Wärmebrücken
[6.21]	J.G.N. Lecompte	wksb Heft 26	1989	Untersuchungen zu wärmege-dämmtem 2-schaligem Mauerwerk
[6.22]	K. Wiedemann	wksb Heft 26	1989	AGI Arbeitsblatt Q 132: Mineralwolle als Dämmstoff
[6.23]	Th. Frank	SIA Nr. 38	9/91	Sonnenenergiegewinn durch opake Bauteile

6. Literatur

Fortsetzung: Bücher, Fachartikel und weitere Literatur

Nr.	Verfasser	Publikation/Verlag	Jahr	Titel / Inhalt
[6.24]	H.J. Epple	Dach + Wand 1. Teil	12/91	Die Unterkonstruktion der
[6.25]	H.J. Epple	Dach + Wand 2. Teil	1/92	hinterlüfteten Fassade
[6.26]	R. Fink	179 / B+B/ 7.Jg	4/84	Berechnung des Regenfalls auf vertikale Fassadenflächen
[6.27]	M. Schüepp	SMA Jg 73 Hft 25 K Klimatologie CH		Gewitter + Hagel 1900 - 1979
[6.28]	diverse	Schw.Baublatt Nr.39	5/93	Naturstein-Fassaden
[6.29]	K. Hinz	Steinmetz+Bildhauer 1/90 bis 4/91	90/91	Natursteinfassaden planen und ausführen

6.7. Weitere Literaturquellen

- in [3.03]
- IRB Verlag, Literaturlauslese 8, hinterlüftete Fassaden
- IRB Verlag, Literaturlauslese 745, Windbeanspruchung von Fassaden
- F 12 Technik, Online Service, D-6000 Frankfurt

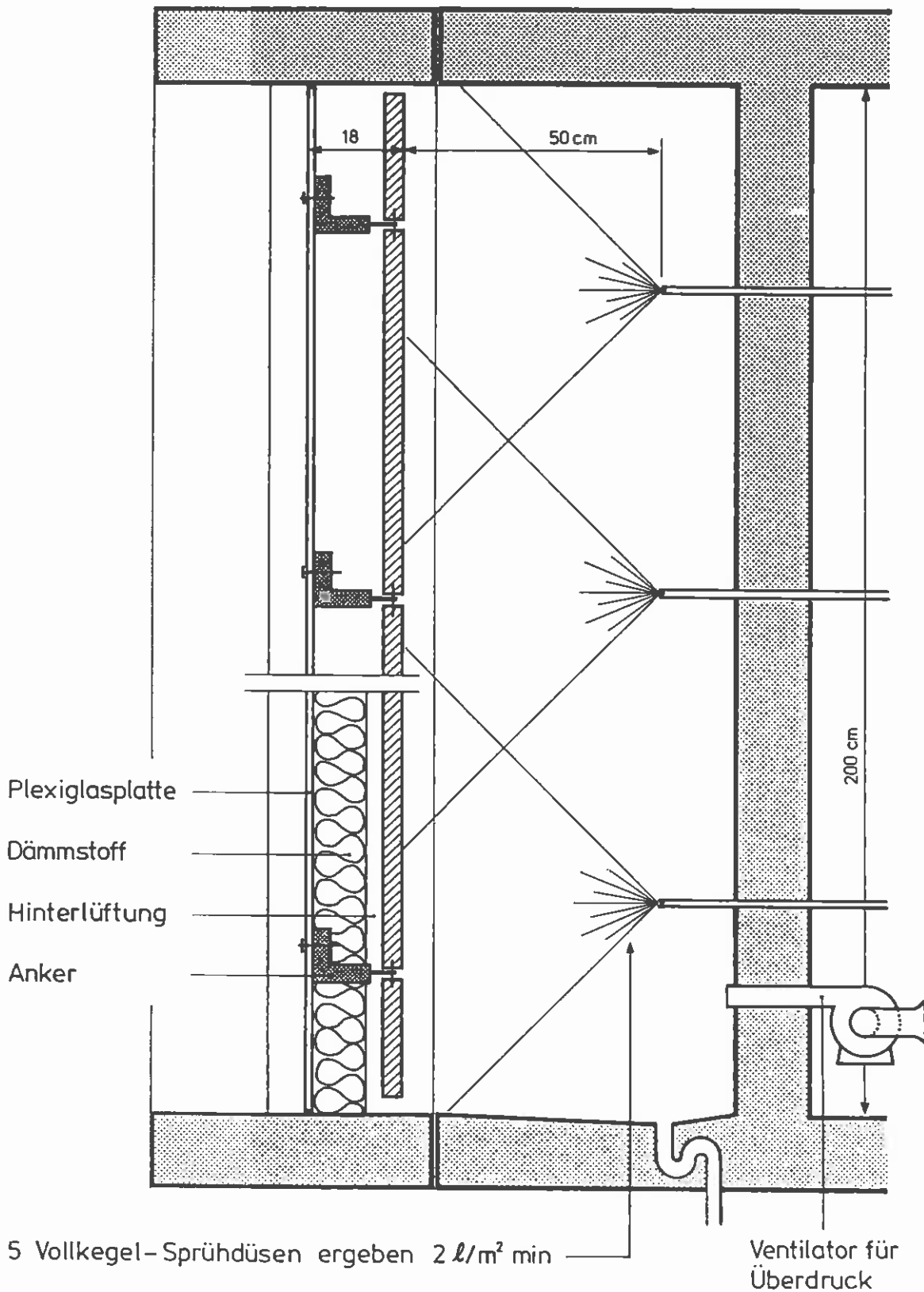
7. Beilagen

7. Beilagen

- 7.1. Schema des Schlagregenprüfstandes
- 7.2. Schematischer Querschnitt durch den Bewitterungsprüfstand
- 7.3. Kurzbeschreibung der Prüfung auf Wärmedurchgang (k-Wert)
- 7.4. Schematischer Querschnitt durch die k-Wert-Kammer

BEILAGE 7.1

Schema Schlagregenprüfstand [Querschnitt]

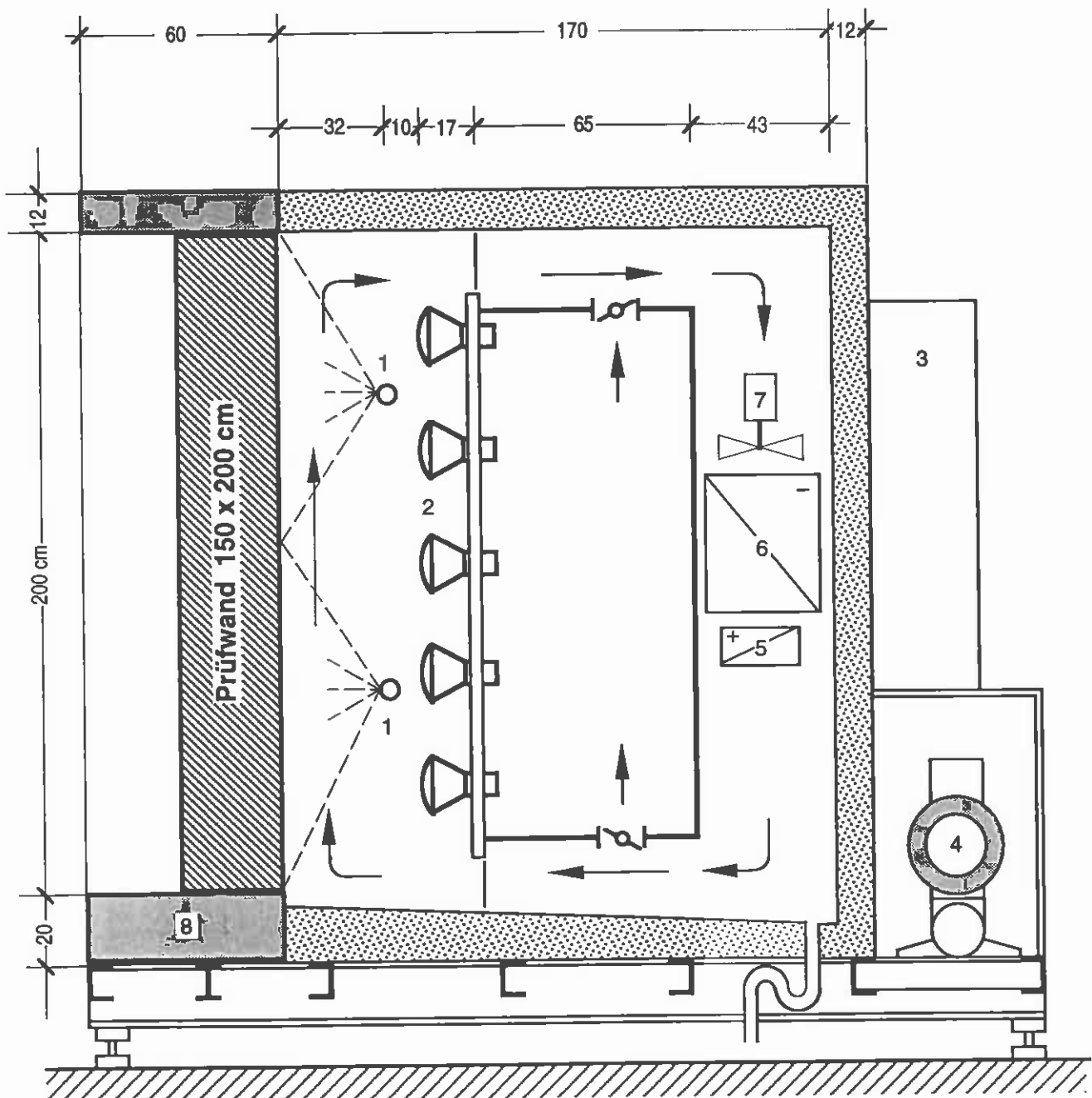


7. Beilagen

BEILAGE 7.2

Schematischer Querschnitt durch den Bewitterungsprüfstand

Legende:	1 Kegeldüsen	→	beregnen
	2 Beleuchtungseinheit	→	bestrahlen
	3 Elektrotabelleau		
	4 Kühlaggregat	→	frosten
	5 Heizregister	→	Temp. Regelung
	6 Verdampfer		
	7 Umluftventilator	→	Luftströmung gross/klein
	8 Einbau-Rahmen		



7. Beilagen

BEILAGE 7.3

Kurzbeschreibung der Prüfung auf Wärmedurchgang (Stand 4/93)

Die Abteilung Bauphysik der EMPA besitzt eine kalibrierte k-Wert-Kammer. Diese besteht aus einer festen, kalten Kammer, einem fahrbaren Rahmen mit einer Oeffnung von 150 x 200 cm für den Einbau des Prüflings und einer ebenfalls fahrbaren, warmen Kammer. Für die Prüfung werden diese drei Teile praktisch luft- und dampfdicht zusammengeschaubt.

Die warme Kammer enthält eine elektrische Heizungsanlage, die über Mess- und Regelgeräte eine bestimmte Temperatur der warmseitigen Luft aufrecht erhalten kann. Ein Walzenventilator erzeugt von oben nach unten eine Luftströmung entlang der Prüfwandoberfläche. Mit Drosselklappen kann die Geschwindigkeit dieser Luftströmung von ca. 0.1 bis 0.5 m/s variiert werden. Die in die warme Kammer eingeführte totale Energie (Heizung + Ventilator) wird durch einen Präzisions-kWh-Zähler gemessen.

In der kalten Kammer erfolgt die Abkühlung der Luft durch einen Lamellenkühler, der über ein Mischventil mit einem Kältespeicher verbunden ist. Die Feinregulierung erfolgt durch einen Heizstab. Die Lufttemperatur in der kalten Kammer kann bis auf ca. -15°C eingestellt werden. Die Luftgeschwindigkeit wird gleich wie in der warmen Kammer erzeugt und ist zwischen 0.5 und 2.5 m/s regulierbar. Die Luftströmung verläuft hier jedoch von unten nach oben, so dass für den ganzen Prüfkörper (im Querschnitt) eine möglichst gleichmässige Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltseite entsteht.

Für die Messung werden überall CuKo-Thermoelemente verwendet. Fühler und Regler liegen im Genauigkeitsbereich von ± 0.1 K.

Messstellen und Anzahl:	kalt- und warmseitig je
	9 Stk. (Leit)Blechteperaturen (BK/BW)
	9 Stk. Lufttemperaturen (LK/LW)
	16 Stk. Oberflächentemperaturen (OK/OW)
	2 Stk. Regelfühler (Kaskadenschaltung)
	1 Stk. Feuchtigkeitsmessfühler

Aufgrund der gemessenen Luft- und Leitblechteperaturen wird eine sog. Raumtemperatur rechnerisch ermittelt.

$$\vartheta_R = \frac{\alpha_c \cdot \vartheta_{\text{Luft}} + \alpha_r \cdot \vartheta_{\text{Str}}}{\alpha_c + \alpha_r}$$

α_c : Wärmeübergangskoeff. Konvektion
 α_r : Wärmeübergangskoeff. Strahlung

Die beiden Kammern und der Prüfraumen besitzen eine 380 mm dicke Wärmedämmung gegen den Laborraum, wo während der Prüfdauer eine Lufttemperatur von ca. 21°C herrscht. Der Wärmeverlust durch die Wand zwischen der warmen Kammer und dem Laborraum beträgt 1.6 Watt pro Kelvin Temperaturdifferenz. Der Wärmeverlust durch die Wärmebrückenwirkung am Prüfwandrand (Rahmenverlust) wird in Abhängigkeit der Prüf-Wanddicke bestimmt (Kalibriermessungen und Berechnungen).

Das Messergebnis ist im Normalfall der Wärmedurchlasskoeffizient Λ der Prüfwand [in $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]. Er ergibt sich aus der im stationären Zustand gemessenen Heizenergie, abzüglich der Rahmen- und Kammerverluste [in Watt] dividiert durch die Prüfwandfläche (in der Regel 3.0 m^2) dividiert durch die Temperaturdifferenz warme - kalte Prüfwandoberfläche [in Kelvin]. Mit den Raumtemperaturen erhält man auch die Wärmeübergangskoeffizienten α_a und α_i [in $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$] sowie den Wärmedurchgangskoeffizient k [in $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$], welcher für den normierten k-Wert gemäss SIA-Norm 180 (1988) mit $\alpha_a = 20$, und $\alpha_i = 8 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$ umgerechnet wird.

7. Beilagen

BEILAGE 7.4

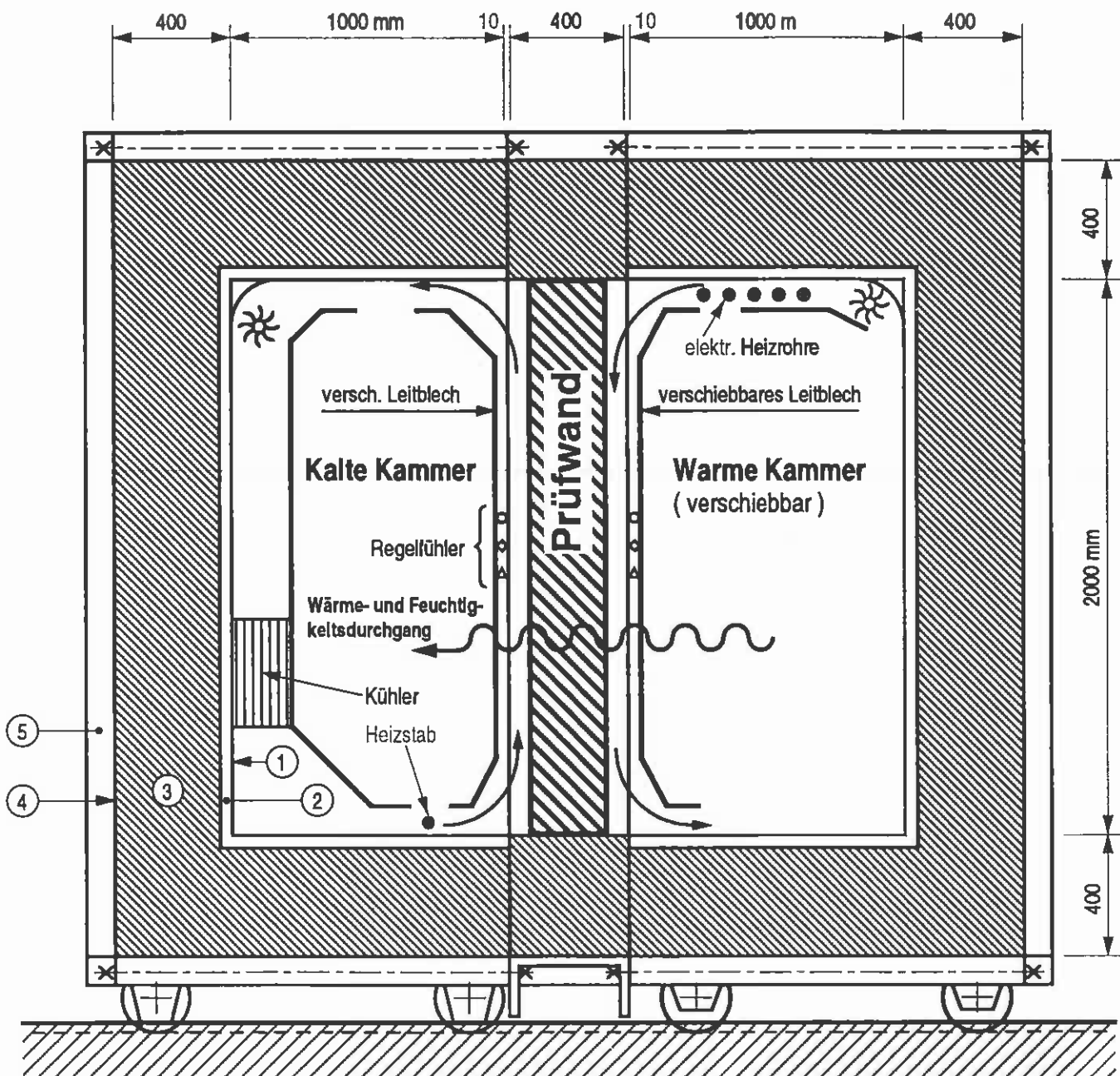
(Stand 4/93)

Schematischer Querschnitt durch die k-Wert-KammerTypischer Wandaufbau

- ① = 1 mm Kupferblech gelötet
- ② = 20 mm Asbestzementplatte
- ③ = 378 mm extrudiertes Polystyrol
- ④ = 1,5 mm Alumanblech
- ⑤ = Stahlrahmen

Messfühler

- Temperatur
- ◇ Feuchtigkeit
- △ Luftgeschwindigkeit





Es gibt noch viel zu tun... packen wir's an !

