

**Vakuumisolationspaneele
unter baupraktischen Bedingungen**
- Erfahrungen aus dem HTO-Projekt
„Vakuumdämmungen für Gebäude“ –

**Hubert Schwab,
Johannes Wachtel, Ulrich Heinemann, Andreas Beck, Jochen Fricke**

**Vortrag im Rahmen der Fachtagung
“Vakuumdämmung in der baulichen Anwendung”
Rostock-Warnemünde 10./11. Juli 2003**

Funktionsdauer:

Der Zeitraum t_{grenz} in dem die Wärmeleitfähigkeit des VIP eine maximal zulässige Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{VIP,zulässig}}$ erreicht.

Wärmeleitfähigkeit von VIP:
$$\lambda_{\text{VIP}} = \lambda_{\text{solid}} + \lambda_{\text{rad}} + \lambda_{\text{gas}} = \lambda_{\text{evac}} + \frac{\lambda_{\text{gas},0}}{1 + \frac{p_{1/2}}{p_{\text{gas}}}}$$

$$\lambda_{\text{VIP,zulässig}} \Rightarrow p_{\text{Gas,zulässig}}$$

$$t_{\text{grenz}} \text{ und } p_{\text{Gas,zulässig}} \Rightarrow (dp/dt)_{\text{max}}$$

Bsp. für Abschätzung des max. Druckerstiegs bei VIP mit pyr. Kieselsäure.

– $\lambda_{\text{evac}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$

– $p_{1/2} = 600 \text{ mbar}$

Maximal zulässiger Druckanstieg

Funktionsdauer t_{Grenz} / a	Zulässiger Druckanstieg [mbar/a]	
	$\lambda_{\text{VIP,zulässig}}$ $6 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$	$\lambda_{\text{VIP,zulässig}}$ $8 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$
10	6,0	13,0
25	2,4	5,2
50	1,2	2,6
100	0,6	1,3

Für VIP mit pyrogener Kieselsäure dürfen Druckanstiege von ca. 1 bis 2 mbar/a nicht überschritten werden, um eine rechnerische Funktionsdauer von 50 Jahren zu erreichen

Durchlässigkeiten Q der Umhüllung führen zu Druckanstieg und Massenzunahme durch eindringende Luft bzw. Wasserdampf

Druckzunahme: $\dot{p}_{\text{Luft}} \sim \frac{Q_{\text{ges,Luft}} \cdot \Delta p_{\text{Luft}}}{V_{\text{eff}}}$

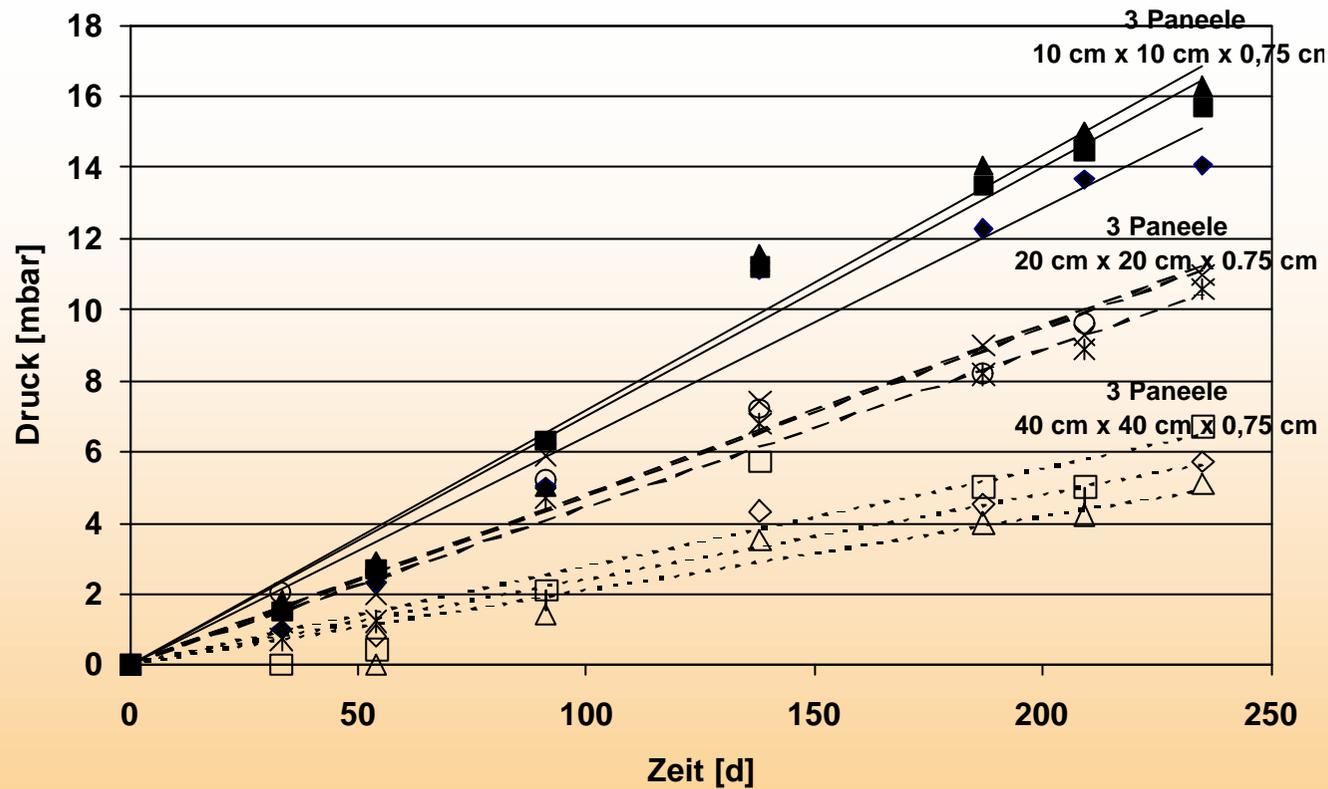
Massenzunahme: $\dot{m}_{\text{Wasser}} \sim Q_{\text{ges,Dampf}} \cdot \Delta p_{\text{Dampf}}$

Durchlässigkeit $Q_{\text{ges,Gas}}$ für Luft oder Wasserdampf:
in Abh. von Temperatur T , rel. Feuchte φ , Fläche F , Länge L und Ecke E

$$Q_{\text{ges,Gas}} = Q_{F,\text{Gas}}(T, \varphi) \cdot F + Q_{L,\text{Gas}}(T, \varphi) \cdot L + Q_E(T, \varphi)$$

$$[Q_{\text{ges,Luft}}] = \frac{\text{cm}^3(\text{STP})}{\text{d} \cdot \text{bar}} \quad [Q_{\text{Dampf}}] = \frac{\text{g}}{\text{d}}$$

Bsp.: Bestimmung von $Q_{i, \text{Luft}}$ bei 23°C/75 % r.F.



$$dp/dt_i \Rightarrow Q_{F, \text{Luft}}, Q_{L, \text{Luft}}$$

- Für drei Folien AF, MF1, MF2 wurden die einzelnen Durchlässigkeiten bestimmt
- Obige Abbildung zeigt Messungen an Folie MF1

Beispiel Funktionsdauerabschätzung

Rechnerische Funktionsdauer bei $\lambda_{VIP,zulässig} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$ bei 23 °C/75 % r.F.
für drei verschiedene Folien (AF, MF1, MF2)

Paneelabmessungen	0,5 m x 0,5 m x 0,02 m	1 m x 1 m x 0,02 m
Folientyp	Funktionsdauer [a]	Funktionsdauer [a]
AF	147	192
MF1	15	21
MF2	68	102

- Verwendete Folie hat wesentlichen Einfluss auf Funktionsdauer
- Längendurchlässigkeit hat signifikanten Einfluss auf Funktionsdauer
- Ausreichende Funktionsdauer bei 23 °C / 75 % r.F. mit Folie AF und MF2 erreichbar !

Was ist für Funktionsdauerabschätzung im Baubereich zu beachten ?



Weitere Einflussgrößen:

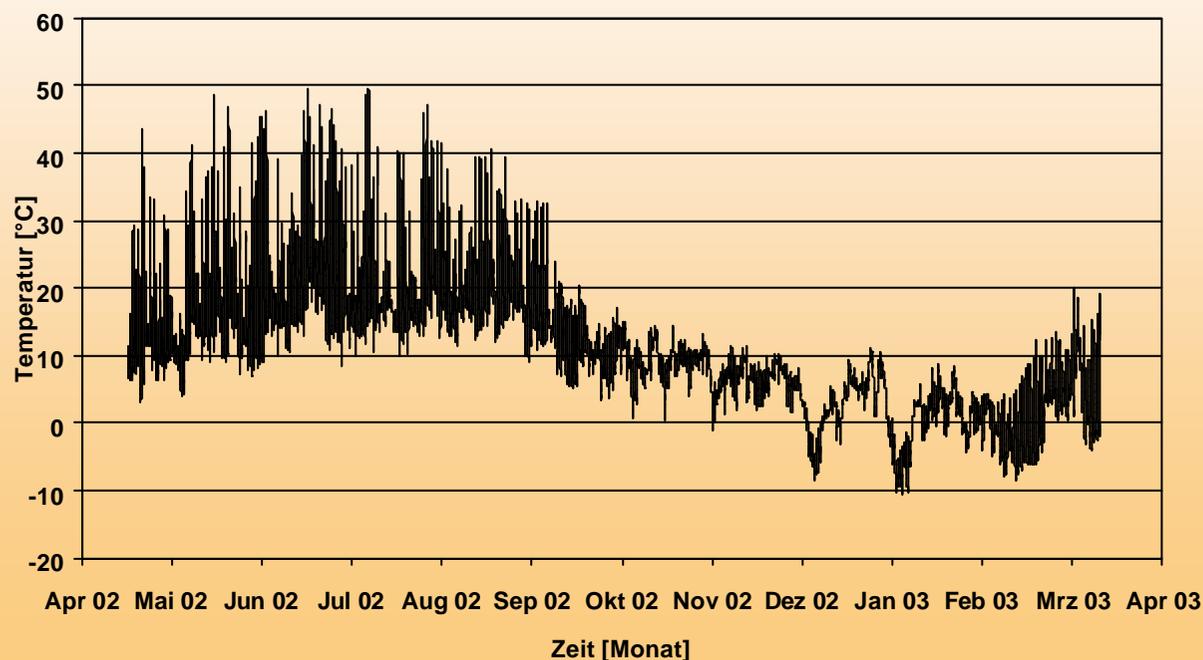
- Temperaturabhängigkeit der Durchlässigkeit
 - Einfluss der rel. Feuchte auf Druckanstieg
 - Einfluss der Feuchte im VIP auf Wärmeleitfähigkeit
 - tatsächliche Klimabedingungen
-
- ⇒ Obige Einflussgrößen wurden gemessen
 - ⇒ Modell zur Vorhersage der Funktionsdauer unter baupraktischen Bedingungen wurde erstellt
 - ⇒ Wie gut ist Funktionsdauer vorhersagbar ?
 - ⇒ Validierung durch Vergleich mit Messung an eingebauten Paneelen

Auswertung von Messungen



ZAE BAYERN

- Holzrahmenkonstruktion mit entnehmbaren VIP
- 9 VIP (34 cm x 64 cm x 1,3 cm) in Konstruktion eingebaut
- je 3 VIP mit Folien AF, MF1, MF2
- Temperatur und rel. Feuchte wurden vor und hinter VIP gemessen
- Paneele alle 3 Monate ausgebaut: Druck und Masse wurden gemessen

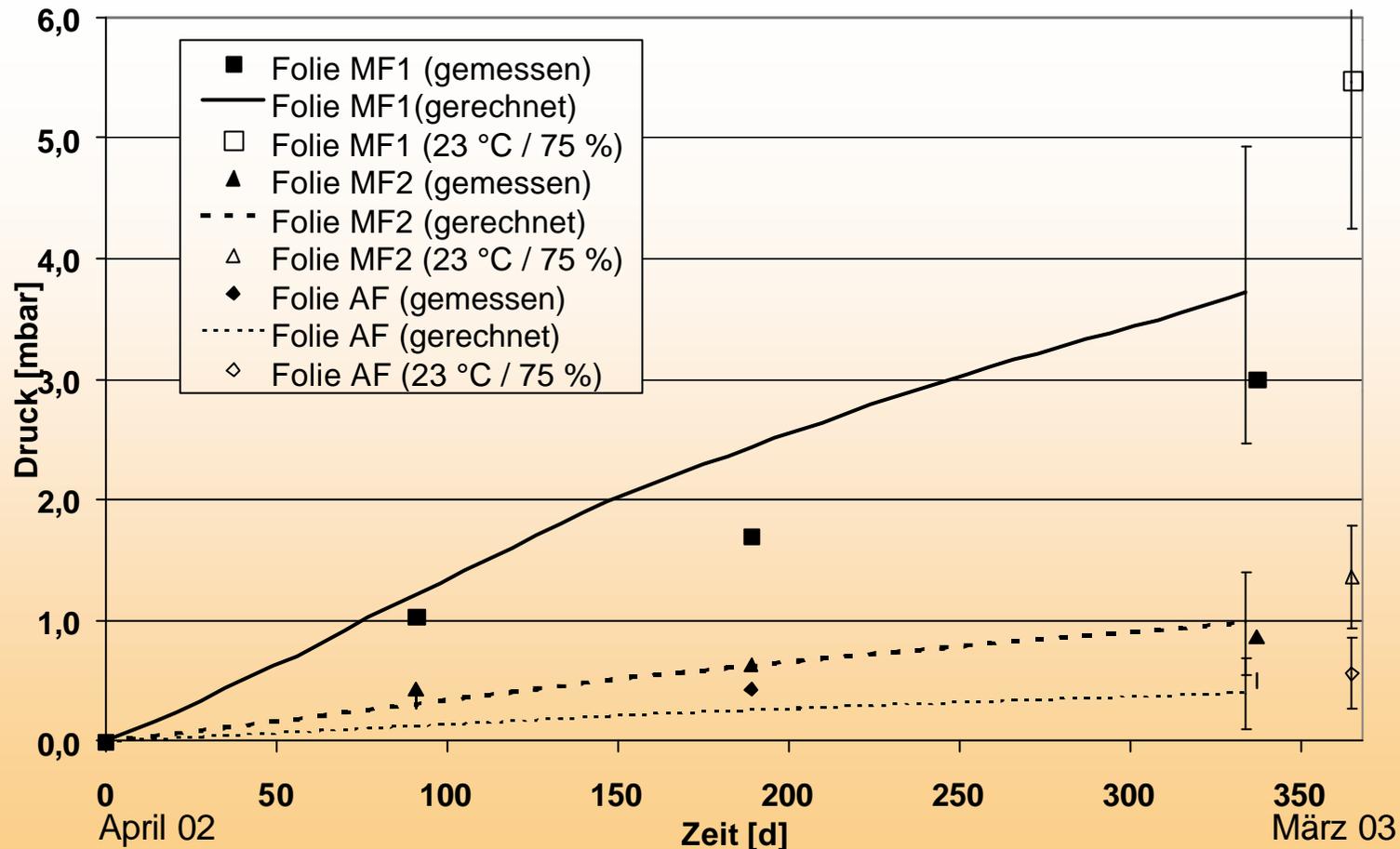


Mittelwerte	
$T_{\text{Vorderseite}}$	10,7 °C
$T_{\text{Rückseite}}$	17,9 °C
$j_{\text{Vorderseite}}$	0,72 %
$j_{\text{Rückseite}}$	0,58 %
$p_{D,\text{Vorderseite}}$	10,0 mbar
$p_{D,\text{Rückseite}}$	12,7 mbar

Druckanstiege in eingebauten Paneelen (Vergleich mit rechnerischer Extrapolation aus Labormessungen)



ZAE BAYERN



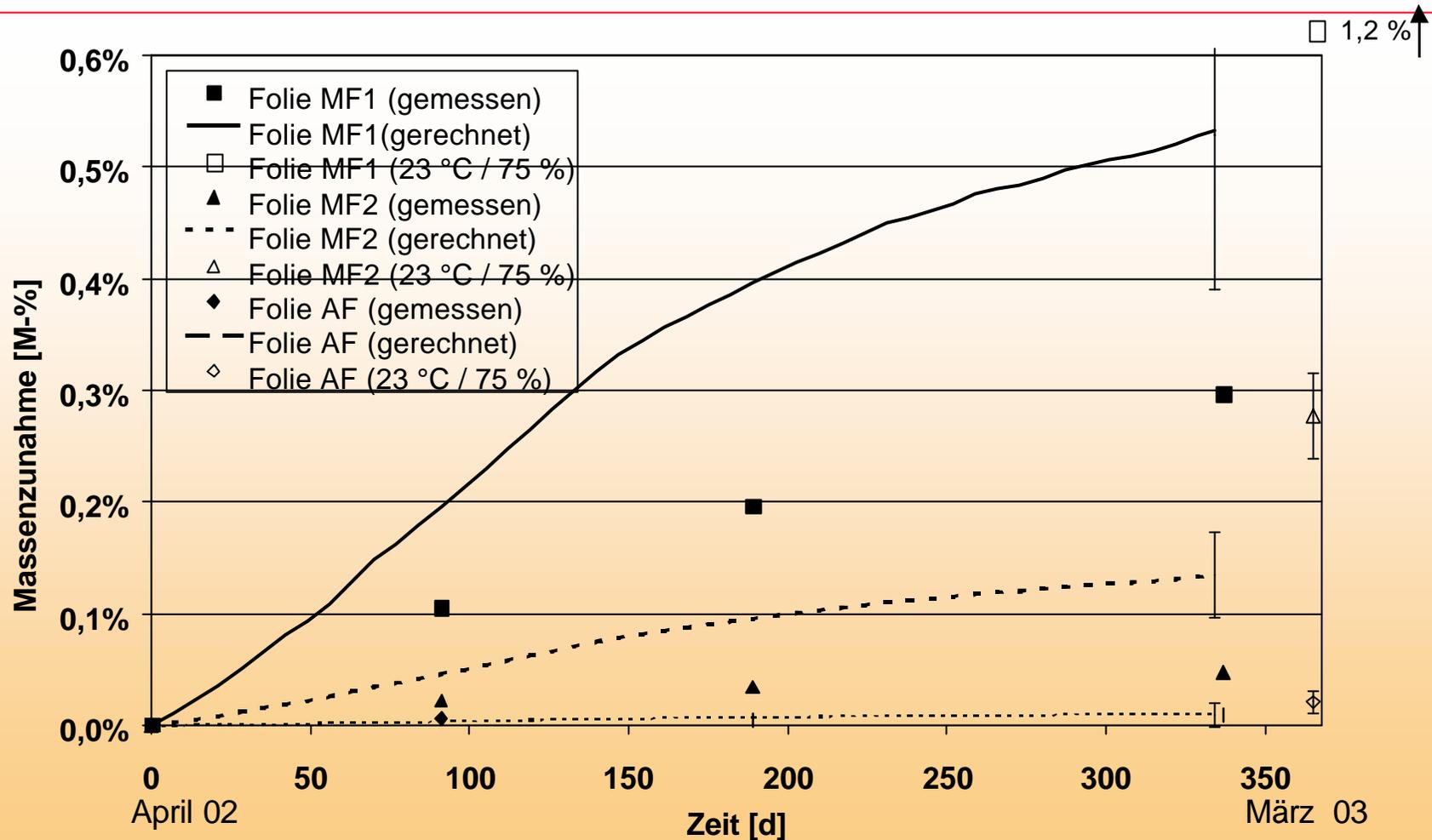
Modell 1 (siehe Resultat bei 365 Tagen): lineare Extrapolation auf Basis von $Q_{ges,Luft}(23\text{ °C}, 75\text{ \%})$

Modell 2 (siehe Linien in Abbildung): berücksichtigt Klima und temperaturabhängige Durchlässigkeit

Massenzunahme der eingebauten Paneele (Vergleich mit rechnerischer Extrapolation aus Labormessungen)



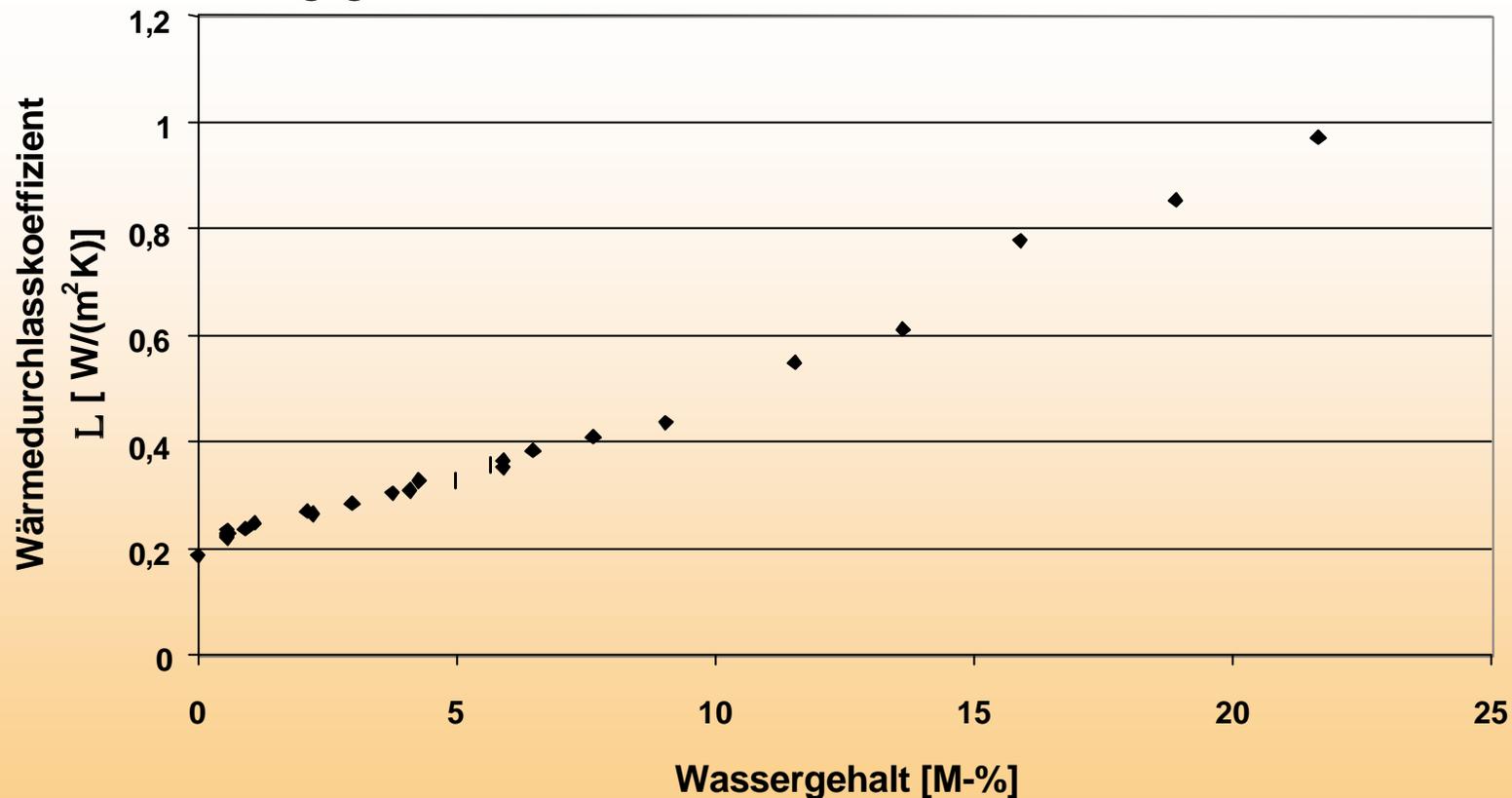
ZAE BAYERN



Modell 1 (siehe Resultat bei 365 Tagen): lineare Extrapolation auf Basis von $Q_{ges,Dampf}(23\text{ }^{\circ}\text{C}, 75\text{ \%})$
 Modell 2 (siehe Linien in Abbildung): berücksichtigt Klima und temperaturabhängige Durchlässigkeit

Wärmedurchlasskoeffizient L in Abh. vom Wassergehalt

Messung gilt für: VIP 30 cm x 30 cm x 2 cm bei 0 °C / 20 °C



Beispiel einer vereinfachten Abschätzung für Folie MF2:

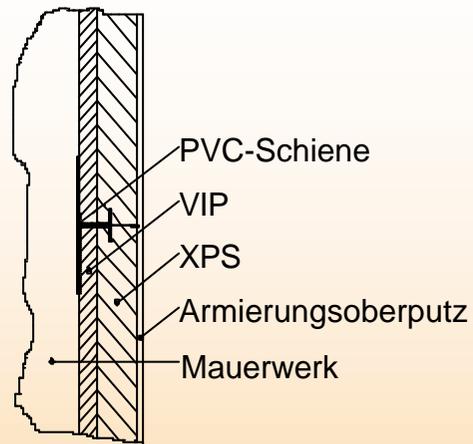
0,05 M-%/a => nach 50 Jahren: 2,5 M% => $\Lambda \approx 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \Rightarrow \lambda \approx 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{mK})$

- Durchlässigkeiten müssen am VIP getestet werden
- Längendurchlässigkeit ist nicht vernachlässigbar
- Durchlässigkeiten bei 23°C / 75 % eignen sich für einfache Abschätzung der Funktionsdauer
- Für genaue Bestimmung der rechnerischen Funktionsdauer ist Temperatur- und Feuchteinfluss zu berücksichtigen

- Kunststoffbeschichtete Aluminiumfolien und ausgewählte metallisierte Folien haben ausreichend hohe Luftdichtigkeiten, um die maximal zulässigen Druckanstiege zu gewährleisten
- Der Feuchtegehalt im VIP hat einen deutlichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit
- Der Anstieg der Gesamtwärmeleitfähigkeit durch Druck- und Feuchtezunahme kann, je nach Klima, die Funktionsdauer v.a. bei metallisierten Folien einschränken (Lösungsansatz: Trocknungsmittel)

Aber: extrapolierte Funktionsdauer von ~50 Jahren erreichbar

Konstruktions-skizze



Einbau der VIP

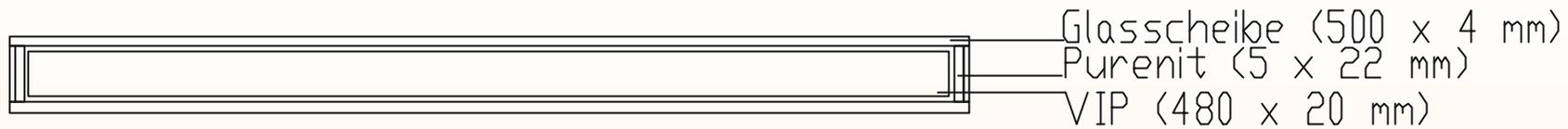


$$\Lambda_{VIP}(1,5 \text{ cm}) = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

- U-Wert unsaniert: $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- geringer Dachüberstand (6 cm Aufbau genehmigt)
- VIP-Größen in cm x cm: 12,5 x 50, 25 x 50, 50 x 50
- mit VIP gedämmte Fläche: ca. 95 %
- Dreieckelemente für die Giebellinie
- Restfläche aus 5 cm dicken XPS-Passstücken

$$U_{\text{Wand}} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Konstruktions-skizze



$$\Lambda_{VIP}(2 \text{ cm}) = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



$$U_{Wand} = 0,62 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Demonstrationsobjekt: Sanierung RMH



Architekt: F. Lichtblau, München

- architektonisch harmonische Integration
- Wichtig: Integrale Planung
- kaum Anpassungen erforderlich
- Hervorragender Dämmstandard:
 $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
mit 4 cm VIP und 8 cm Gesamtdicke der Konstruktion

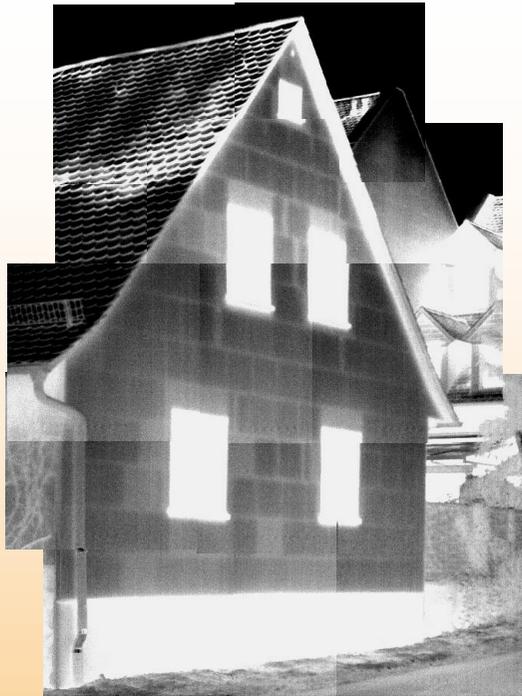
Demonstrationsobjekt: Neubau EFH



Architekt: F. Lichtblau, München

- mit VIP sind neue anspruchsvolle Gesamtkonzeptionen realisierbar
- abnehmbare Holzschalung und somit VIP austauschbar
- $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mit 4 cm VIP und 18 cm Wanddicke !!!

Beispiel IR-Aufnahme: Demoobjekt Giebelfassade



2001



2002



2003

- Keine VIP nach Einbau belüftet
- Außenfassade in einwandfreien Zustand
- Einige VIP bei Einbau defekt

- Konstruktionsentwicklung und Demoobjekte zeigen:
 - Vakuumdämmung im Baubereich gut integrierbar
 - enormes Anwendungspotenzial (Dämmung, Architektur,...)
- Demoobjekte zeigen auch Schwachstellen auf:
 - ungeschützte Verarbeitung auf Baustelle ist zu vermeiden
 - Maßhaltigkeit der VIP ist zu verbessern, v.a. bei umgelegten Ecken
 - Maßfertigung aufwendig (Standardformate ?)
 - Gewährleistungsregelung unklar
 - Methoden zur Qualitätssicherung erforderlich
- VIP funktionieren im eingebauten Zustand unter realen Klimabedingungen
 - Bisherige Erfahrung: max. 4 Jahre
 - Extrapolierende Untersuchungen erforderlich

Zusammenfassung



ZAE BAYERN

Potenzial der Vakuumdämmung ist enorm,
muss aber noch erschlossen werden

Integration von Vakuumdämmungen
in Gebäudefassaden schon heute attraktiv

Unser Dank für die Förderung gilt dem
Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft,
Verkehr und Technologie