
Untersuchungsergebnisse zur Dauerhaftigkeit von Verbindungen und Anschlüssen bei Luftdichtheitsschichten mittels Klebmassen und Klebebändern

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Ackermann, Fachhochschule Bielfeld, Abteilung Minden,
Institut für Bauphysik und Baukonstruktion

1. Einleitung

Damit ein Gebäude seinen Anforderungen hinsichtlich der Standsicherheit, der Energieeinsparung und der Hygiene gerecht wird, ist es nicht nur erforderlich, dass die Luftdichtheitsschicht in ihrer ebenen Ausbildung dicht ist, sondern auch, dass die Funktionalität im Bereich von Platten- oder Bahnenstößen sowie bei An- und Abschlüssen gegeben ist.

Mit dem vorliegenden Beitrag sollen neue Erkenntnisse hinsichtlich der Dauerhaftigkeit von Klebmassen und Klebebändern an verschiedenartige angrenzende Bauteile und bei Bahnenübergängen von Luftdichtheitsschichten dargestellt werden. Da sich die Tauglichkeit dieser Verbindungen auf die Lebensdauer eines Bauteils erstrecken sollte, wurden außerdem die Haftfähigkeit der Verbindungsmittel unter Berücksichtigung verschiedener Methoden der künstlichen Alterung der verwendeten Stoffe untersucht. Es werden außerdem die Ergebnisse einer neu entwickelten, an der Realität orientierten Prüfmethode präsentiert.

Durchgeführt wurden die vorliegenden Untersuchungen am Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) in München.

2. Belastungsarten

Klassischerweise unterscheidet man bei der Belastung von An- und Abschlüssen der bei Luftdichtheitsschichten und beim Wechsel verschiedener Bahnen untereinander zwischen

- Scherbelastung
- Schälbelastung
- Querkzugbelastung.

Bei einer Scherbelastung wirken die angreifenden Kräfte an den begrenzenden Bauteilen oder Materialien in entgegengesetzter Richtung. Eine Schälbelastung liegt dann vor, wenn eine der verwendeten Substanzen um 180 ° zurückgeklappt wird und dann Kräfte analog der Scherbelastung, nämlich in entgegengesetzte Richtungen, angesetzt werden. Hierbei entsteht nicht nur eine Scherbeanspruchung im Verbindungselement, sondern auch eine Beanspruchung als Zugkraft. Von einer Querkzugbelastung spricht man dann, wenn die einwirkenden Kräfte senkrecht auf die Verbindungsebene einwirken. Die verbindende Substanz wird dabei auf Zug beansprucht.

3. Versagensarten bei Verklebungen

Wird die Klebeverbindung durch Krafteinwirkung zerstört und betrachtet man anschließend die als Schadensbild entstandenen Rückstände und Bruchbilder, dann kann man drei verschiedene Versagensarten unterscheiden:

- Adhäsionsversagen

- Kohäsionsversagengemischter Versagensfall.

Beim Adhäsionsversagen tritt das Bruchbild an der Grenzschicht zwischen dem Substrat bzw. der Bahn und der Klebmasse auf. Es verbleiben keine sichtbaren Rückstände auf dem Substrat bzw. der Bahn. Im Fall des Kohäsionsversagens liegt der kritische Bereich in der Klebmasse. Bei der Lösung der Verklebung verbleiben Rückstände sowohl auf dem Substrat als auch auf der Bahn. Das gemischte Versagen setzt sich aus einem teilweisen Adhäsionsversagen und Kohäsionsversagen zusammen. Für die Gewichtung ist dabei die Haftzugfestigkeit auf den Substraten bzw. innerhalb der Klebmasse oder des Klebers eines Klebebandes bestimmend.

4. Probekörper

4.1 Substrate

Um eine möglichst große Bandbreite der im Baubereich verwendeten Materialien zu erfassen, wurde die Haftfähigkeit auf folgenden Substraten getestet:

- Beton
- Putz
- Ziegel
- Porenbeton
- Bauholz
- OSB-Platte
- Sperrholz

Gemäß den Vorgaben in den Prüfvorschriften des Fachverbandes Luftdichtheit im Bauwesen e. V. (FLiB) [1], werden von den Substraten Probekörper mit einer Breite von 25 mm und einer Länge von 200 mm hergestellt.

4.2 Verbindungsmittel

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden Klebmassen von acht verschiedenen Herstellern und Klebebänder von sieben Produzenten geprüft. Die Klebmassen und Klebebänder wurden entsprechend den Herstellerangaben auf den Probekörpern aufgebracht und mit den von den Herstellern empfohlenen Luftdichtheitsbahnen verbunden.

5. Prüfverfahren

5.1 Schältest

Betrachtet man die in Kapitel 3 beschriebenen Versagensarten, dann erkennt man, dass sich bei einer Prüfanordnung, bei der die Bahnen nach Art einer Schälbelastung von den Substraten abgezogen werden, sowohl Adhäsions- als auch Kohäsionsversagen auftreten können. Die Prüfung der maximalen Belastung im Rahmen eines Schältests erfolgt analog den Maßgaben des FLiB. Dabei wird das Substrat in einer Halterung fest eingespannt, die Luftdichtheitsbahn um 180 ° zurückgeklappt und im den Kopf der Prüfmaschine arretiert. Die Prüfmaschine bewegte sich bei den vorliegenden Prüfungen mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/Minute. Die aufgenommene Kraft wird über den Messkopf aufgezeichnet.

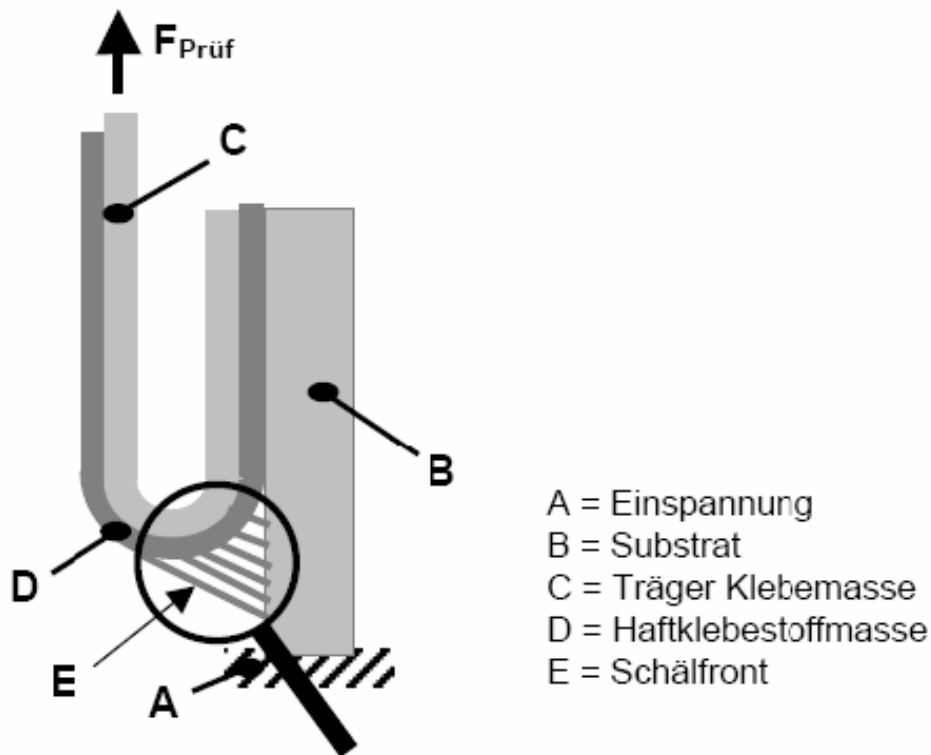


Bild 1: Prinzipdarstellung des Schältests [1]

5.2 Wechselbelastung

Betrachtet man die Belastungsart denen Luftdichtheitsbahnen im Einbauzustand unterworfen werden, so zeigt sich, dass durch Windeinwirkung vorwiegend mit ruckartigen kurzzeitigen Krafteinwirkungen zu rechnen ist. Daraus resultieren in den Verbindungsmitteln und an den Haftflächen Scherkräfte. Zur Simulation dieser Situation, wurde am FIW ein Prüfgerät entwickelt, bei dem die Substratprüfkörper in einer Halterung fest eingespannt und die Luftdichtheitsbahn mittels der zu untersuchenden Verbindungsmittel befestigt werden. Am unteren Ende Bahn wurde ein Gewicht befestigt welches im Fall ohne Lasteinwirkung auf das Verbindungsmittel auf einer Auflagerplatte steht. Im Lastfall wird die Auflagerung der Gewichte weggezogen, so dass in der Bahn eine Zugkraft entsteht, die im Verbindungsmittel und an den Haftflächen zu einer Scherbelastung führt. Um die Dauerhaftigkeit der Verbindungsmittel zu prüfen, erfolgen die Be- und Entlastungszyklen solange bis sich die Bahn vollständig vom Substrat löst oder die Verklebung so gedehnt ist, dass sie dauerhaft auf der Auflagerung steht. Die Masse der Gewichte betrug bei den durchgeführten Prüfungen 500 g. Dieses Gewicht resultierte aus Lastannahmen die DIN 1055-4 „Lastannahmen für Bauten – Windlasten“ [2] entnommen wurden und auf die Breite der Prüfkörper von 25 mm umgerechnet wurde. Die zur Bestimmung der Windlast erforderlichen Gebäudehöhe wurde mit einem Maß zwischen 8 und 20

m angesetzt. Gemessen wurde die Anzahl der Lastwechsel bis es zu einem Versagen der Verbindung kam.



Bild 2: Prüfeinrichtung der Wechselbelastung



Bild 3: Probekörper während der Wechselbelastung

5.3 Dauerbelastung

Um zu testen, ob das zu erwartende Versagen auf die reine Gewichtsbelastung oder den ruckartigen Lasteintrag zurückzuführen ist, wurden die Proben zusätzlich einer Dauerbelastung unterworfen. Dabei hingen die Gewichte frei an den Bahnen. Gemessen wurde die Zeitspanne bis dem Versagen der Verbindung eintrat.

6. Konditionierung

Zur Gewährleistung der Funktionsfähigkeit von Verbindungsmitteln der Luftdichtheitsebene ist es notwendig auch deren Dauerhaftigkeit in die Betrachtungen einzubeziehen. Hierzu wurden die Prüfkörper durch Feuchte- und Temperatureinwirkungen einer künstlichen Alterung unterworfen. Da bislang keine der zur Verfügung stehenden Methoden hinsichtlich der daraus abzuleitenden künstlichen Alterung eindeutig belegbar sind, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen verschiedenartige Verfahren verwendet und ausgewertet. Im folgenden werden die Methoden der Konditionierung in Abhängigkeit vom Prüfverfahren dargestellt:

6.1 Schältest

6.1.1 Referenzfall

Zum Vergleich der Messergebnisse mit künstlicher Alterung wurde jeweils ein Referenzfall entwickelt. Die verwendeten Randbedingungen wurden den Angaben des Prüfverfahrens des FLiB entnommen. Dabei erfolgt vor der Prüfung eine Lagerung der Probekörper über eine Zeitdauer von 48 Stunden bei einem konstanten Klima von $\vartheta = 23 \text{ °C}$ und einer relativen Feuchte von $\phi = 50 \text{ %}$.

6.1.2 Niedertemperaturfall

Nicht nur bei günstigen, sondern auch bei klimatisch kritischen Bedingungen sollten die Verbindungsmittel ausreichende Ergebnisse erzielen. Zu diesem Zweck erfolgte eine Messreihe, bei der die Probekörper bei einer Temperatur von $\vartheta = -5 \text{ °C}$ und einer relativen Feuchte $\phi = 85 \text{ %}$ erstellt und anschließend vor der Prüfung in diesem Klima über 24 Stunden gelagert wurden.

6.1.3 Wechselklima

Bei der ersten Variante der künstlichen Alterung wurden die Probekörper wechselweise über einen Zeitraum von 6 Stunden einem Klima mit $\vartheta = 5 \text{ °C}$ und $\phi = 80 \text{ %}$ und dann weitere 6 Stunden bei $\vartheta = 55 \text{ °C}$ und $\phi = 80 \text{ %}$ unterworfen. Dabei stellt die Zeitspann von 12 Stunden einen Zyklus dar. Zu Prüfzwecken wurden Proben verwendet die entweder 120, 360 oder 560 Zyklen absolviert hatten.

6.1.4 Konstantklima 1

In diesem Fall erfolgte eine Lagerung der Prüfkörper während 60, 180 bzw. 220 Tagen bei einem konstanten Klima von $\vartheta = 65 \text{ °C}$ und $\phi = 80 \text{ %}$. Diese Randbedingungen wurden dem Prüfverfahren des FLiB entnommen.

6.1.5 Konstantklima 2

Die Probekörper wurden während 60, 120 bzw. 168 Tagen einem konstanten Klima von 100 °C ausgesetzt.

6.2 Wechselbelastung

6.2.1 Referenzklima

Nach der Anfertigung der Probekörper erfolgte vor der Testphase über einen Zeitraum von 7 Tagen eine Lagerung bei einem konstanten Klima von $\vartheta = 23 \text{ °C}$ und $\phi = 50 \text{ %}$.

7. Prüfergebnisse

Die Ergebnisse der Prüfungen zur Schäl- und Wechselbelastung werden in den folgenden Tabellen wiedergegeben. Zur Verdeutlichung der Effekte die sich aus den verschiedenen Prüfmethode und Alterungsverfahren ergeben wird im Folgenden nur eine Auswahl verschiedenen Untersuchungen präsentiert.

7.1 Schältest mit Klebemassen

Klebemasse Hersteller 2:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
60	180	280	60	180	220	60	120			
Beton	1,0	0,2	11	10	-	-	-	1,4	-	0,7
Putz	1,0	0,2	9	13	7	-	-	1,8	-	3,0
Ziegel	1,0	0,2	13	7,5	7	-	-	1,1	-	-
Porenbeton	1,0	0,2	10	-	-	-	-	0,6	-	-
Bauholz	-	-	10	19	6	-	-	1,1	-	-
OSB	1,0	0,2	-	-	-	-	-	2,2	1	2,6
Sperrholz	1,0	0,2	14	5,6	9	-	-	1,1	1	3,0

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

Klebemasse Hersteller 3:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
60	180	280	60	180	220	60	120			
Beton	8	-	8,1	4	1	0,8	1,2	-	-	-
Putz	8	-	13	3	-	0,8	-	-	-	-
Ziegel	7	-	8,6	-	-	-	-	-	-	-
Porenbeton	8	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-
Bauholz	-	-	8,4	0,2	1,2	3,1	-	-	-	-
OSB	14	-	16	-	0,7	2,1	0,8	0,1	-	-
Sperrholz	13	-	15	-	1	2,1	1,3	0,2	-	-

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

Klebemasse Hersteller 4:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
		60	180	280	60	180	220	60	120	
Beton	16	14	30	27	24	33	19	16	12,2	18
Putz	21	18	29	21	26	28	19	17	10,1	16
Ziegel	21	3	25	19	21			16	14,4	
Porenbeton	22	14	18		10			9,3		
Bauholz	19		26	34	29	35	24	22		
OSB	17	3	35		25	30	23	18	16,3	18
Sperrholz	18		32	28	31	30	26	22	15,8	16

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

7.2 Schältest mit Klebebändern

Klebeband Hersteller 2:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
		60	180	280	60	180	220	60	120	
OSB	16,0							13,8		2,4
Sperrholz	19,0							7,7		2,5
Bauholz	16,0							16,0		
2 KB1 auf 2 Bahn 1	6,0	3,0	3,0		0,7					

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

Klebeband Hersteller 3:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
60	180	280	60	180	220	60	120			
OSB	23,0							-		5,0
Sperrholz	27,0							-		4,9
Bauholz	8,0									
3 KB2 auf 3 Bahn 1	23,0	-	4,0		11,0					

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

Klebeband Hersteller 4:

Substrate	Schälwiderstände in N									
	Referenzfall	-5 °C Fall	Künstliche Alterungen							
			Wechselklima			65 °C / 80% r. F.			100 °C	
			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen			Konditionierung in Tagen	
60	180	280	60	180	220	60	120			
OSB	21,0						15,5			7,3
Sperrholz	26,0									8,2
Bauholz	11,0									
4 KB1 auf 4 Bahn 1		11,0	6,0	14,0		12,0				

Erläuterung: - = keine Messung möglich; freie Felder = es wurden keine Probekörper erstellt.

7.3 Wechselbelastung mit Klebmassen

Her- steller	Bahn / Klebe- masse	Substrat	Masse [g]	Belastungen und Entlastungen (in Wiederholungen)								
				50	100	150	200	350	500	1000	5000	10000
2	2 B1 / 2 KM1	Beton	500	X	X							
		Putz	500	X	X							
		Sperrho- lz	500	X	X							
	3 B1 / 3 KM1	Beton	500	X	X	X	X	X	X	X ^a		
		Putz	500	X	X	X	X	X	X	X ^a		
		Sperrho- lz	500	X	X	X	X	X	X	X ^a		
	4 B1 / 4 KM1	Beton	500	X	X	X	X	X	X	X	X	XX
		Putz	500	X	X	X	X	X	X	X	X	XX
		Sperrho- lz	500	X	X	X	X	X	X	X	X	XX

Erläuterung: ^a = Bahn gerissen; - = 50 Belastungen wurden nicht erreicht.

7.4 Klebmassen im Vergleich Wechselbelastung / Dauerbelastung

Her- steller	Bahn / Klebe- masse	Substrat	Masse [g]	Belastungsarten und Zeitangaben		
				Anzahl der Lastwechsel	Andauer der Wechsel- belastung (in Minuten : Sekunden) Bis zum Versagen	Andauer der Dauer- belastung (in Minuten : Sekunden) Bis zum Versagen
2	2 B1 / 2 KM1	Beton	500	100	3:18	0:18
		Putz	500	100	3:18	0:32
		Sperrho- lz	500	100	3:18	0:43
	3 B1 / 3 KM1	Beton	500	1000 ^a	33:18	nicht abgefallen
		Putz	500	1000 ^a	33:18	nicht abgefallen
		Sperrho- lz	500	1000 ^a	33:18	nicht abgefallen
	4 B1 / 4 KM1	Beton	500	> 10000	> 333:00 nicht abgefallen	nicht abgefallen
		Putz	500	> 10000	> 333:00 nicht abgefallen	nicht abgefallen
		Sperrho- lz	500	> 10000	> 333:00 nicht abgefallen	nicht abgefallen

Erläuterung: ^a = Bahn gerissen; - = 50 Belastungen wurden nicht erreicht.

8. Analyse

Eine Analyse der Prüfergebnisse aus den Schältests zeigt, dass bei der Anbindung von Luftdichtheitsbahnen mittels Klebmassen an angrenzende Baustoffe Tendenzen zwischen der Alterung und der Haftfestigkeit zu erkennen sind. Auch die Auswertung der Schältests bei Klebebändern als Verbindungsmittel lässt eine solche Korrelation sichtbar werden.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Haftung von Klebmassen auf unterschiedlichen Substraten unter Wechselbelastung - im Vergleich zum Schältest - teilweise zu einer deutliche abweichenden Einschätzungen der Dauerhaftigkeit führt.

Neben einer Diskussion der vorliegenden Resultate mit den Herstellern von Klebebahnen und Klebmassen sowie den betroffenen Fachkreisen, sollten auch weitere Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Klebeverbindungen und der Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitsbahnen an angrenzende Baustoffe unter Wechselbelastung durchgeführt werden.

Literaturangaben

- [1] Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V.
Haftklebebänder, Prüf- und Kennzeichnungsvorschrift (PKV)
Stand 13. April 2005, Kassel
- [2] DIN 1055-4 : 1986-08; Lastannahmen für Bauten – Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken