

Qualitätssicherung klebmassenbasierter Verbindungstechnik für die Ausbildung der Luftdichtheitsschichten

Dipl.-Ing. Rolf Gross (1), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Anton Maas (2)

1 Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e. V. (ZUB), Kassel

2 Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel

1. Einleitung

Im Rahmen eines aktuell abgeschlossenen Forschungsprojekts wird aufbauend auf einem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben die Entwicklung einer geeigneten Prüfmethode für die Bewertung von Klebmassen betrieben. Bei dem vorangegangenen Forschungsvorhaben „Qualitätssicherung klebebasierter Verbindungstechnik für Luftdichtheitsschichten“ gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Fördernr. E 2002/05) [2] wurde ein Prüfverfahren zur Bewertung von Klebebändern entwickelt.

Luftdichtheitsschichten bestehen häufig aus Bahnen, die an Stößen, Überlappungen sowie an Anschlüssen mit klebebasierter Verbindungstechnik – ein- und zweiseitige Klebebänder sowie unterschiedlichen Klebmassen – verbunden werden. Für aus verklebten Bahnen bestehende Luftdichtheitsschichten enthält DIN 4108-7 [1] Konstruktionsempfehlungen, die neben Klebebändern auch Klebmassen erlauben, die ebenfalls ohne mechanische Sicherung auskommen sollen. Diese Empfehlung hat bereits zu massiver Unsicherheit bei beratenden Ingenieuren sowie Bausachverständigen geführt. Es ist dabei klar, dass eine unter bauüblichen Bedingungen hergestellte Verklebung nicht mit industriellen Verklebungen verglichen werden kann. Dennoch wird erwartet, dass diese Verklebungen für Standzeiten von bis zu 50 Jahren ihre Funktion erfüllen sollen.

Bei der Verarbeitung von Klebmassen gilt, wie bei jeder Verklebung, dass die Leistungsfähigkeit der Klebung umso höher ist, je sauberer, staubfreier, trockener und fettfreier die zu verklebenden Flächen sind. Für den Baubereich ist aber die Forderung nach trockenen und staubfreien Oberflächen praxisfremd. "Staubarm" könnte noch erreichbar sein, würde jedoch bereits voraussetzen, dass die Verbindungsstellen direkt vor der Verklebung mit einem sauberen Tuch abgewischt werden.

Das Versagen von in der Luftdichtheitsschicht verwendeten Verbindungsmitteln führt unweigerlich zu einer drastischen Erhöhung der Undichtigkeit der Gebäudehülle und kann durch auftretende Zugerscheinungen kurzfristig und durch Bauschäden infolge konvektiven Feuchteintrages mittel- bis langfristig zu erheblichen Regressforderungen an den Planer oder Bauherren führen [3].

Zwei Schritte sind daher notwendig für die Kennzeichnung: Erstens muss eine Festlegung erfolgen, wie einschlägige Produkte hinsichtlich ihrer langfristigen mechanischen Eigenschaften sinnvoll zu prüfen sind. Zweitens muss eine umfassende Untersuchung derzeit üblicher Kombinationen von Untergründen - Klebmassen - Bahnen hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit und Verarbeitbarkeit vorgenommen werden.

Ziel des durchgeführten Projekts ist, ein objektives Prüfverfahren von Klebmassen zu entwickeln.

Hierzu werden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Analyse vorhandener Testverfahren und Auswahl der Klebmassen, Bahnen und Untergründe
- Durchführung der Untersuchungen
- Ermittlung der Belastung der Verklebungen durch Winddruck
- Ergebnisdarstellung
- Bewertung der Ergebnisse

2. Testverfahren und Methoden

Die im Folgenden aufgeführten Verfahren und Methoden wurden auf ihre Eignung hin untersucht, modifiziert und angewendet.

- 180° Schältest dynamisch
- 180° Schertest statisch
- 90° Schältest statisch
- Beschleunigte Alterung

2.1 Auswahl von Nassklebstoffen

Um eine geeignete Auswahl an Klebmassen vornehmen zu können, wurde eine Recherche über die am Markt verfügbaren Produkte durchgeführt. Auf Grundlage dieser Recherche wurden 15 Nassklebstoffe für die Prüfung identifiziert.

Die gewählten Klebmassen sind mit einer fortlaufenden Nummerierung von M01 bis M16 gekennzeichnet. Weiterhin sind die Produkte zur besseren Vergleichbarkeit in 5 Bereiche unterteilt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Unterteilung der gewählten Testklebmassen in 5 Bereiche.

Klebmassen mit Lösungsmittelanteilen	Klebmassen ohne Lösungsmittelanteile	Reaktive Systeme (Zweikomponentenmaterialien)	Butyl	Hotmelt
I	II	III	IV	V
M01	M02	M06	M13	M08
M03	M05			
M04	M07			
M10	M09			
M11	M12			
M16	M14			

2.2 Auswahl der Bahnen und Untergründe

Die folgenden 3 Substratarten werden für die Untersuchung herangezogen:

- Bahnen für die Ausbildung der Luftdichtheitsschicht

- Holz
- Mineralische Werkstoffe

Für die Bahnen sind ausgewählt: eine 36 μ PET/P (Polyethylenterephthalat / geprimert) Trägerfolie zur Bestimmung der Klebkraft von Haftklebstoffen, eine 20 μ LDPE-Folie ohne Zusatzstoffe, eine PA-Folie (Polyamid) sowie ein PP (Polypropylen) Spinnvlies.

Stellvertretend für Holz werden Buchenholzplättchen nach DIN EN 205 [4] verwendet. Im Bereich der mineralischen Werkstoffe erfüllt die Zementfaserplatte die wichtigsten Kriterien. Auf dem Kriterium „Saugfähigkeit“ liegt hierbei die größte Wichtung weil auf nicht saugfähigen Untergründen die Massen nicht abbinden können.

Die Zusammenstellung der für die Verklebungen gewählten Bahnen und Untergründe sowie die verwendete Codierung sind in Tabelle 2 und 3 aufgeführt.

Tabelle 2: Auswahl der Bahnen.

Code	Hersteller / Bezugsquelle	Beschreibung	
S1	Folag	LDPE - Folie 0,05 mm Stärke Oberflächenenergie 32 mN/m	
S2	ISOVER	Klimamembran	PA (Polyamid)
S3	Gerlinger	PET - Folie	PET (Polyethylenterephthalat)
S4	Knauf Insulation	LDS 2	PP (Polypropylen) Spinnvlies

Tabelle 3: Auswahl der Untergründe.

Code	Hersteller	Beschreibung
U1		Buchenholz nach DIN EN 204/205
U2	Knauf	Aqua Paneel "Indoor"

3. Durchführung der Untersuchung

3.1 Vorbereitung der Proben

Für die Reproduzierbarkeit der Probenherstellung und der Verklebung ist ein Ablaufschema einzuhalten. Um einen immer gleichen Klebstoffauftrag zu gewährleisten, ist der Nassklebstoff, unter Zuhilfenahme eines Spachtels, mit einer Kleberaupenbreite von 13 mm aufzutragen. Anschließend wird das Substrat auf der Klebmasse appliziert.

3.2 Verklebung der Proben

Die Verklebung der Probe erfolgt maschinell mit einer Andruckvorrichtung in Anlehnung an DIN EN 1943: 2003 [5]. Um ein völliges Zusammendrücken des Nassklebstoffs zu verhindern und damit das Austrocknen der Masse zu ermöglichen, muss nach der Verklebung immer eine Schichtdicke von 2 mm verbleiben.

3.3 Trocknung der Proben

Für den vollständigen Aufbau der Klebkraft ist eine Trocknungsphase der Klebmasse notwendig. Um diesen Prozess zu beschleunigen, werden die Proben 4 Tage bei 40 °C im Trockenofen gelagert. Nach dem Trocknungsvorgang wird die Probe 24 Stunden bei 21 °C / 50% r.F. konditioniert und kann anschließend Tests unterzogen werden.

3.4 Alterungsbeständigkeit der Verklebung

Die Basis der Untersuchungen bilden die Ergebnisse des Forschungsprojekts E 2002/05 [2]. Auf dieser Grundlage wird die Versuchsdurchführung zur beschleunigten Alterung durchgeführt. Die verklebten Proben werden bei 65 °C Lufttemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 80% konditioniert. Der Zeitraum der maximalen Dauer der Konditionierung beträgt 210 Tage. Die Konditionierungsintervalle betragen bei der beschleunigten Alterung 40 Tage.

3.5 Auswertung der dynamischen Zugversuche

Zur Bewertung der einzelnen Verklebungen werden die maximale Schälkraft, die dazugehörige Dehnung sowie die mittlere Schälkraft betrachtet.

Im Folgenden wird anhand des Schälkraftverlaufs einer Probe die Bestimmung der Bewertungsparameter erläutert.

Die maximale Schälkraft und die dazugehörige Dehnung der Einzelprobe ist im linken Teil von Bild 1 aufgetragen. Der Mittelwert der Schälkraft wird aus den Werten der gesamten Funktion gebildet (Bild 1 rechts).

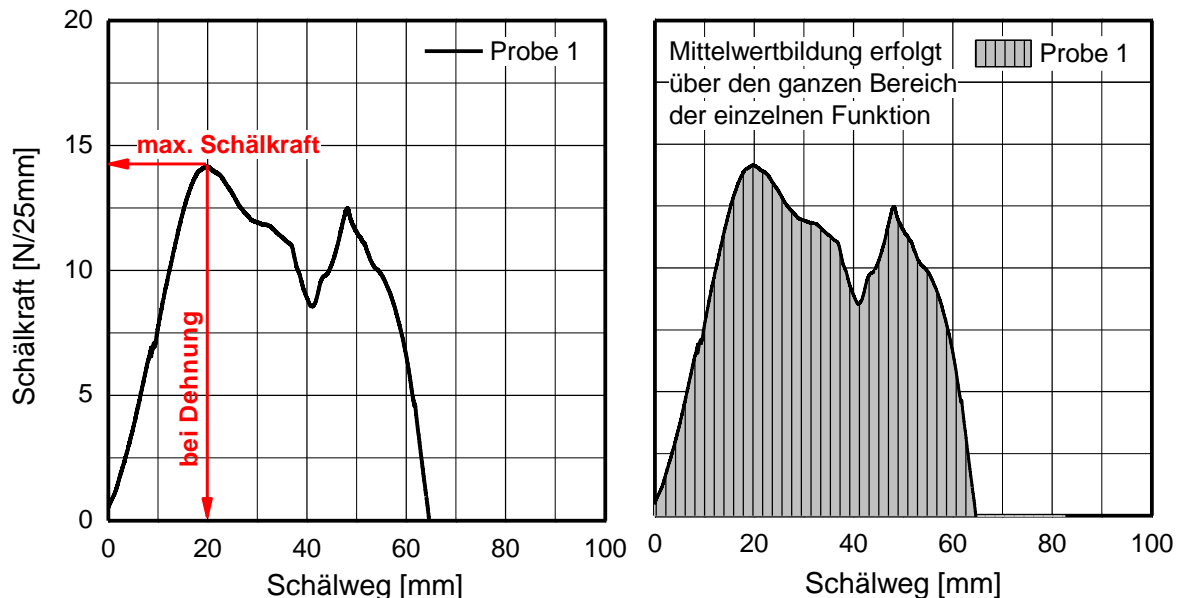


Bild 1: Darstellung der zur Auswertung herangezogenen Parameter.

3.6 Bruchbildanalyse der Verklebung

Die in Bild 2 zusammengestellten Zeichnungen zeigen mögliche Bruchbilder.

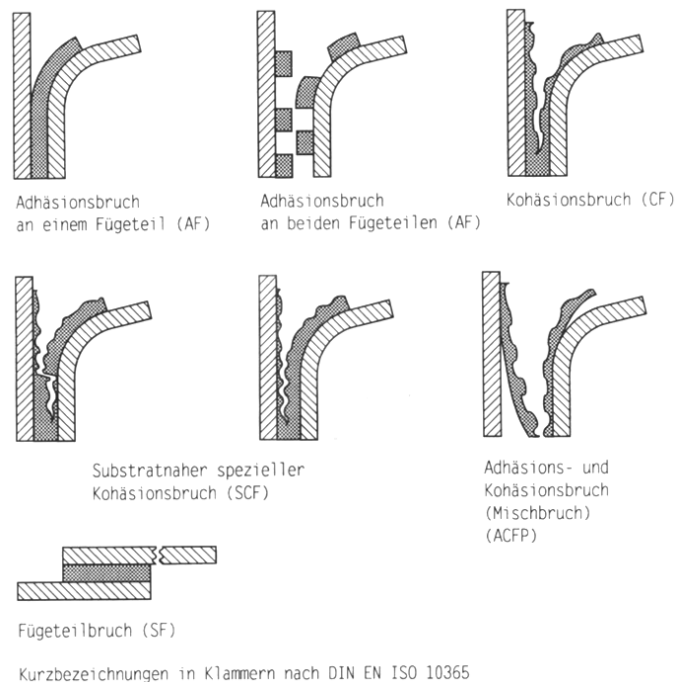


Bild 2: Brucharten von Verklebungen [6]

4. Darstellung der Ergebnisse der Zugversuche nach beschleunigter Alterung

Um die Ergebnisse der beschleunigten Alterung aufzuzeigen und um die einzelnen Klebmassen-Substratkombinationen gegenüberzustellen, wird eine Darstellung in Form von Boxdiagrammen gewählt. Das Boxdiagramm ist eine spezielle Darstellung der Häufigkeitsverteilung. Eine umfassende Erläuterung der Diagrammform findet sich im Abschlussbericht (<http://www.zub-kassel.de/projekte/kleben-und-dichten-2010/dokumente>).

Nachfolgend sind in Bild 3 beispielhaft die Ergebnisse des Versuchs zur beschleunigten Alterung mit der Verklebung von Buchenholz (U1) in Kombination mit PA-Folie (S2) dargestellt.

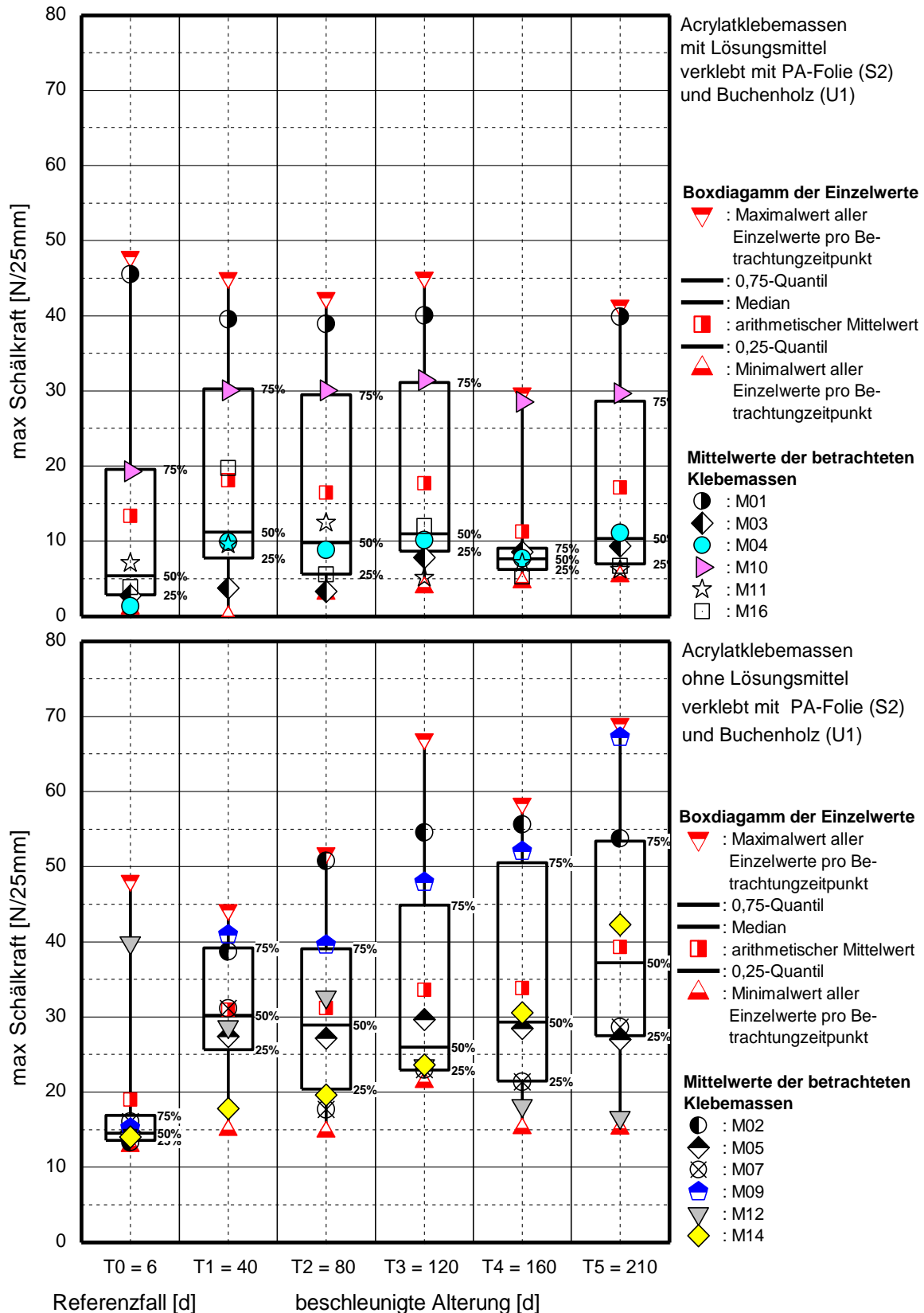


Bild 3: Für jeden Konditionierungszeitpunkt ist ein Boxdiagramm dargestellt. Unterschieden werden Klebmassen mit und ohne Lösungsmittelanteil. Die Messwerte sind nach Dauer und Art der Konditionierung gegliedert T0 = Referenzfall, T1 bis T5 sind Konditionierungszeitpunkte der beschleunigten Alterung. Verklebt ist die Bahn S2 (PA - Folie) sowie der Untergrund U1 (Buchenholz).

5. Untersuchung der auftretenden Lasten durch Winddruck

Untersuchungen zur Beanspruchung von Luftdichtheitsschichten in Dachkonstruktionen infolge von Winddruck wurden vom Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart durchgeführt. Diese Messungen erfolgten im Auftrag des am Forschungsprojekt beteiligten Industrieunternehmens Weiss Chemie + Technik GmbH & Co. KG aus Haiger. Die Untersuchungsergebnisse sollen im Rahmen des Forschungsprojekts verwendet werden, um die Beanspruchung von Klebeverbindungen bewerten zu können.

Betrachtet man den Fall eines mit Folie überdeckten und mit einer Verklebung am Sparren befestigten Dachfeldes an dem der Staudruck aufgrund eines abgedeckten Daches (ohne Windsperre) direkt anliegt, kann vereinfacht von den in Tabelle 4 dargestellten Staudrücken ausgegangen werden. Hieraus ergibt sich die Beanspruchung der einer Verklebung je Meter Fugenlänge [7].

Tabelle 4: Vereinfachte Berechnung der von den Klebefugen einer auf ein Sparrenfeld geklebten Folie aufzunehmenden Kräfte [7].

Differenzdruck an Dampfsperre/ Dampfbremssfolie	Kraft pro Fugenlänge		
	[Pa = N/m ²]	[N/m]	[N/100mm]
10	3,7	0,4	0,1
20	7,4	0,70	0,2
30	11,1	1,10	0,3
40	14,8	1,5	0,4
50	18,5	1,8	0,5
100	37	3,7	0,9
150	55,6	5,6	1,4
200	74,1	7,4	1,8
300	111,1	11,1	2,8
400	148,1	14,8	3,7
500	185,2	18,5	4,6
600	222,2	22,2	5,6
700	259,3	25,9	6,5
800	296,3	29,6	7,4
900	333,3	33,3	8,3
1000	370,4	37,0	9,3

6. Bewertung von Verarbeitungssituationen anhand statischer Scher- und Schälversuche

Ziel dieser Untersuchung ist es, die in der Praxis auftretenden Verarbeitungssituationen nachzubilden und durch Versuche die Last zu bestimmen, welche die Verklebungen in der jeweilig betrachteten Abbindezeit aufnehmen können. Ausgehend von der Belastungssituation (Dach im Ausbauzustand mit einer direkt auf der Dampfsperre anliegenden Windlast) sowie den Verarbeitungsempfehlungen der Hersteller für

unterschiedliche Klebmassen werden für die statischen Scher- und Schälversuche folgende vier Verarbeitungszustände untersucht.

1. Sofortige Nassverklebung „G1“ Nassverklebung unmittelbar nach dem Auftragen der Klebmasse.
2. Verklebung nach Hautbildung / kurzer Antrocknung „G2“ Nassverklebung nach Hautbildung auf der Klebmasse.
3. Kontaktverklebung nach bedingter Trocknung der Klebmasse „Kontaktverklebung auf noch nicht vollständig abgebundener Klebmasse.
4. Sofortige Nassverklebung, Belastung nach vollständiger Trocknung „G4“ Sofortige Nassverklebung, statische Belastung nach völliger Aushärtung der Klebmasse.

Für die Abbildung unterschiedlicher Verklebungssituationen auf der Baustelle sind zwei Versuchsanordnungen gewählt worden, der 90° Schälversuch sowie der Scherversuch. Durch Vorversuche werden die Gewichte für die einzelnen Prüfsituationen ermittelt. Näherungsweise kann dann aus der Belastung durch die Gewichte der resultierende Differenzdruck an der Dampfsperre im Bauzustand und damit die Windbelastung angegeben werden. In Tabelle 5 sind die Belastung für den 90° Schälversuch und die sich daraus ergebenden Differenzdrücke an der Dampfsperre aufgeführt. Die Gewichte für den Scherversuch sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 5: Belastung im 90° Schälversuch und der daraus resultierende Druck an der Dampfsperre.

Belastungssituation	Belastung im 90° Schälversuch [g]	Differenzdruck an Dampfsperre [Pa]	Windstärke nach Beaufort [-]	Merkmal [-]
„G1“	5	~6	2	Leichte Brise
„G2“	10	~10	2-3	Schwache Brise
„G3“	50	~50	5	Frische Brise
„G4“	200	>200	8	Stürmischer Wind

Tabelle 6: Belastung im Scherversuch und der daraus resultierende Druck an der Dampfsperre.

Belastungssituation	Belastung im Scherversuch [g]	Differenzdruck an Dampfsperre [Pa]	Windstärke nach Beaufort [-]	Merkmal [-]
„G1“	10	~10	2-3	Schwache Brise
„G2“	20	~20	4	Mäßige Brise
„G3“	100	~100	6	Starke Brise
„G4“	400	>400	10	Schwerer Sturm

Für die statischen Scher- und Schälversuche ist eine Belastungszeit von 60 Minuten festgelegt. Innerhalb des Versuchszeitraums dürfen die Verklebungen in einem Bereich von maximal 20% der Verklebungsfläche adhäsiv bzw. kohäsiv versagen. Löst sich die Verklebung bereits vorher, wird die Dauer bis zum Versagen protokolliert. Nach Ablauf der 60 Minuten wird das Bruchbild bewertet. Stellt sich mehr als 20% adhäsives bzw. Kohäsives Versagen ein, ist davon auszugehen, dass die Verklebung bei andauernder Belastung versagt.

7. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Zur Beschreibung der Qualität von Klebeverbindungen für Luftdichtheitsschichten werden im Rahmen des Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Einflüsse unterschiedlicher Verarbeitungsbedingungen und der beschleunigten Alterung vorgenommen. Vorhandene Verfahren zur Untersuchung von Verklebungen werden analysiert und angepasst.

Die Beurteilung der Klebmassen bezüglich der Eignung als dauerhaft luftdichte Verklebung unter zu Hilfenahme der im Rahmen des Forschungsprojekts angewandten Prüfmethode der beschleunigten Alterung und der statischen Versuche zeigt deutlich, dass die Größe der erreichten Schälkraft vom Material der gewählten Bahn und von der Aushärtungszeit der Verklebung abhängig ist.

Es stellt sich heraus, dass die verwendete PE-Folie ein kritisches Substrat darstellt. Betrachtet man die Ergebnisse der beschleunigten Alterung sowie die statische Belastungssituation „G4“ zeigt sich, dass die Belastbarkeit von Klebmassen in Kombination mit der PE-Folie deutlich geringer ist als bei anderen Fügepartnern. Die Verklebungen lösen sich in den meisten Fällen von der Bahn. Die Klebmassen gehen mit den verwendeten Untergründen (Buchenholz und Faserzementplatte) eine gute adhäsive Bindung ein. Ein adhäsives Versagen auf den Untergründen ist nur in einzelnen Fällen bei einer Verklebung der PET-Bahn zu beobachten.

Das entwickelte Prüfverfahren zur Dauerhaftigkeit von Verklebungen haben die meisten der untersuchten Materialkombinationen bestanden. Mit fortschreitender beschleunigter Alterung kann für den Großteil der untersuchten Massen ein Anstieg oder zumindest eine nahezu gleichbleibende Schälkraft im Vergleich zum Referenzfall gemessen werden. Ein erwarteter Rückgang der Schälkraft nach beschleunigter Alterung, wie in den vorhergehenden Untersuchungen im Forschungsprojekt „Qualitätssicherung klebmassenbasierter Verbindungstechnik für Luftdichtheitsschichten“ [2] für Klebebänder zu beobachten war, stellt sich nur bei wenigen Ausnahmen ein.

Der Vergleich lösungsmittelhaltiger mit lösungsmittelfreien Klebmassen zeigt, dass in der Gesamtbetrachtung die lösungsmittelfreien Klebmassen höhere Schälkraftwerte erreichen. Auch bei der Betrachtung der Bruchbilder ist der kohäsive Anteil am Versagen höher, was auf eine gute adhäsive Verbindung zu den Fügepartnern schließen lässt. Vom Fraunhofer Institut für Bauphysik durchgeführte Untersuchungen zur Beanspruchung von Folien in Dachkonstruktionen [7] haben gezeigt, dass nur geringe Belastungen auf die Luftdichtheitsschicht und somit auf die Verklebung einwirken. Die von den Verklebungen beim Schälversuch aufgenommenen Kräfte liegen deutlich höher als die Belastungen, die durch Wind innerhalb der Dachkonstruktionen hervorgerufen werden. Die kritische Situation ist die Bauphase. Statische Versuche zeigen, dass bei nicht abgeordneten Klebmassen das Einwirken von

kleinen Lasten zur Schädigung der Klebefuge und zum Versagen der Verbindung führen kann. Generell sollte eine Belastung während der Abbindezeit in den ersten 14 Tagen vermieden werden.

Nach vollständigem Abbinden der Verklebung können die meisten Klebmassen sehr hohe Belastungen aufnehmen.

Das im Rahmen der Untersuchung entwickelte Verfahren ist geeignet, die Leistungsfähigkeit von Verklebungen in Kombination mit den unterschiedlichen Bahnen und Untergründen zu bewerten. Mit der gewählten Darstellung der Ergebnisse zur beschleunigten Alterung können die verschiedenen Massen untereinander direkt verglichen werden. Die nach dem entwickelten Verfahren geprüften Materialien erlauben Verarbeitern und Planern die für ihre Fragestellung geeigneten Fügepartner zu finden.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4108-7: 2001-08 Wärmeschutz im Hochbau, Luftdichtheit von Gebäuden.
- [2] Hauser, G., Maas A., Gross R. „Qualitätssicherung klebebasierter Verbindungstechnik für Luftdichtheitsschichten“ Abschlussbericht von 16 Dezember 2004, Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik (E 2002/5).
- [3] Hauser, G. und Maas A.: "Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten". Aachener Bausachverständigentage 1991. Bauverlag Wiesbaden 1991, S. 88-95; DBZ 40 (1992), H. 1, S. 97-100.
- [4] DIN EN 205: 2003 Holzklebstoffe für nicht tragende Anwendungen.
- [5] DIN EN 1943: 1996-04: Messung des Scherwiderstandes unter statischer Belastung Überarbeitete Version: DIN EN 1943: 2003.
- [6] Kleben: Grundlagen, Technologie, Anwendungen; Gerd Habenicht ISBN 3-540-62445-7 3; Seite 337.
- [7] Untersuchung von Kräften an geklebten Dampfbremsfolien im Dach und Übertragung der Ergebnisse der versuche an Kleinkörper unter Berücksichtigung der Kaltflusseigenschaften vonDapfbremsdichtmassen: Prüfbericht P17-128.1/2007 Fraunhofer Institut für Bauphysik.