**1 Einleitung**

Auf der Basis der Standsicherheits-Grundlagen, die u.a. von Cziesielski und Schäfer [2.2] entwickelt worden sind, wurden die Grundlagen der Nachweisführung in der Dissertation Oberhaus [2.3] weiterentwickelt. Diese und tiefergehende grundlegende Forschungen im Bereich der Mechanik und Bauphysik der Systeme von Schrepfer, Vogdt und Himburg [2.7, 2.8 und 2.11] in Berlin und experimentelle Untersuchungen von Reyer u.a. [2.12] in Bochum führten zu Grundlagen für Anforderungen und Nachweisführungen in den Zulassungsverfahren des DIBt (vormals IfBt).

Wir haben die Nachweisführungen für WDVS sukzessive weiterentwickelt und kontinuierlich in Zulassungsverfahren eingebracht. Dem DIBt haben wir als Bericht Nr. 13.5.010 erstmals im Jahr 2013 eine Struktur eines Gesamt-Nachweiskonzeptes vorgeschlagen. Hierin waren die Teilsicherheitsbeiwerte strukturell – aber noch nicht vollständig quantitativ – vorgeschlagen worden.

Anwendung fanden unsere Vorschläge – neben den Vorschlägen der weiteren beteiligten Sachverständigen im beratenden SVA – beispielsweise im Nachweis der WDVS mit großen Dämmstoffdicken. Hierbei waren auch die Vorschläge der Ingenieurgesellschaften CRP, Berlin und S&P, Leipzig eingeflossen.

Mit diesem Forschungsbericht stellen wir die experimentellen + rechnerischen Untersuchungen sowie die strukturellen Vorschläge der Fachöffentlichkeit zur Verfügung, insbesondere, weil im Zuge der Erarbeitung der europäischen Normen derartige Grundlagen benötigt werden und unsererseits auch dort vorgeschlagen wurden.

**5 Beurteilung der Standsicherheit in der Lastfallkombination**

# Eigenlast, hygrothermische Einwirkungen und Wind

## 5.1 Lastfallkombination Eigenlast, hygrothermische Einwirkungen

Im Folgenden werden geklebte sowie geklebte + gedübelte Systemaufbauten diskutiert. Die Dämmschicht ist in diesen Systemaufbauten lastabtragend bzw. verformungsbehindernd. In größeren Feldern treten nur noch in den Randzonen Verformungen auf. In Innenbereichen größerer Felder entstehen im Putzsystem bzw. in der Bekleidung eine entsprechende Zwängungsbeanspruchung.

Infolge der hygrothermischen Einwirkungen (Schwinden der Mörtel und Temperatur- sowie Feuchteschwankungen) treten Zwängungsspannungen im Putzsystem sowie Verschiebungen der Putzebene in Fassadenrandbereichen auf. Im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit des Systems ist daher bedeutsam, ob die Zwängungsspannungen schädliche Risse verursachen können und im Hinblick auf die Standsicherheit ist nachzuweisen, dass die hygrothermisch bedingten Verschiebungen nicht zu Ablösungen bzw. zum Abscheren des Systems in Fassadenrand- und Fassadeneckbereichen führen. Die hygrothermisch bedingten Verschiebungen sind auch relevant für die Ausbildung der Anschlussdetails, welche die auftretenden Verformungen aufnehmen können müssen, ohne die Schlagregendichtheit einzubüßen.

Die Kraftübertragung erfolgt sowohl beim geklebten als auch beim geklebten + gedübelten System im Wesentlichen über den Dämmstoff, da die in WDVS eingesetzten Dübel i. A. für die Übertragung von Schubkräften nicht geeignet und sehr biegeweich sind. Schubkräfte würden in den Dübeln Querlasten und Biegemomente in den Dübelschrauben bzw. -spreizstiften erzeugen. Die für die Verwendung in WDVS nach ETAG 014 zugelassenen Dübel sind aber nicht mehr für die Aufnahme derartiger Kräfte zugelassen.

In der Anlage 2 zu dieser Stellungnahme wird auf den Abtrag der Eigenlasten und das hygrothermische Verformungsverhalten der geklebten bzw. geklebten + gedübelten WDVS eingegangen. Es wird ein Berechnungsmodell beschrieben, das im Rahmen der Zulassungen der Systeme und für Zustimmungen im Einzelfall zur Anwendung kommt.

Eine grundlegende Ausarbeitung zum Verformungsverhalten der WDVS ist der Beitrag [2.3], aus dem einige Sachverhalte in den Anlagen beschrieben sind. In [2.3] ist weitere relevante Fachliteratur zu Spannungen und Verformungen der WDVS aufgeführt (z.B. die profunde Veröffentlichung [2.5], die ermöglicht, Spannungskonzentrationen über Dämmplattenstößen von Hartschaum-Dämmplatten zu ermitteln).

Die im Hinblick auf den Abtrag der Schubkräfte aus Eigenlast und Hygrothermische Einwirkungen besonders relevante Eigenschaft des Dämmstoffes ist die Schubsteifigkeit. MW-Lamellendämmplatten werden beispielweise in den AbZ wie folgt definiert:

* Mittelwerte des Schubmoduls (Tangentenmodul) ∅ G ≥ 1,00 N/mm2
* Mindestscherfestigkeit min τu ≥ 0,020 N/mm2 (SS20)

Da die MW-Lamellendämmplatten sowohl in geklebten und gedübelten WDVS als auch in ausschließlich geklebten WDVS verwendet werden, werden i. a. die vorgenannten Werte für den Fall „bei ausschließlich geklebten WDVS“ erfüllt. Die Schubsteifigkeit (Schubmodul) und Scherfestigkeit werden für beide Richtungen (Längs- und Querrichtung der Lamellen) bestimmt.

Eine besondere Betrachtung des Systems mit MW-Lamellen ist von Bedeutung, weil die Dämmschicht aus MW-Lamellen großer Dämmschichtdicke aus einzelnen, am Untergrund „eingespannten Kragarmen“ besteht, vgl. Abb. 5.1. Diese sind durch die einwirkenden Kräfte aus Eigenlasten und Hygrothermischen Einwirkungen (Erstschwinden des Putzes, Temperatur- und Feuchteschwankungen) der Schub- und Biegeverformung unterworfen. Insoweit unterscheiden sich Mineralwolle-Lamellendämmplatten von anderen Dämmplatten: Das „Schubtragverhalten“ ist deutlich komplizierter und nicht ausschließlich – wie in den Anlagen beschrieben – eine Frage des Schubmoduls, der Dicke und des Klebeflächenanteils. Aus diesem Grund folgen die Bettungssteifigkeiten und die Verformungen der Systeme mit MineralwollelamellenDämmplatten unterschiedlicher Dicken nicht einer linear Gesetzmäßigkeit.

|  |  |
| --- | --- |
| **Abb. 5.1a:** Prinzipsskizze der am tragenden Untergrund verklebten MineralwolleLamellendämmplatten; aufgrund der großen  Dämmstoffdicke entsteht ein auf Biegung beanspruchtes gedrungenes Bauteil. |  |
| **Abb. 5.1b:** Systemskizze des statischen Systems und (die üblichen) Schnittgrößendefinitionen.      Anmerkung: Ein wie in Abb. 5.1a gezeigter Spalt zwischen den Lamellen darf so nicht ausgeführt werden. Der Spalt wird gezeigt, um die Systematik im Hinblick auf den  Lastabtrag zu verdeutlichen |  |

Analog zum im Abs. 4 beschriebenen Konzept zur Beurteilung der Standsicherheit im Lastfall Windsog müssen für die Beurteilung in der Lastfallkombination Eigenlast + hygrotherm. Einwirkungen die verschiedenen Ebenen des Systems betrachtet werden:

1. Kohäsionsversagen im Putzsystem
2. Adhäsionsversagen Unterputz-Dämmstoff
3. Kohäsionsversagen im Dämmstoff
4. Adhäsionsversagen Dämmstoff-Kleber
5. Kohäsionsversagen im Kleber
6. Adhäsionsversagen Kleber-Untergrund
7. Kohäsionsversagen im Untergrund

Erfahrungsgemäß tritt das Versagen bei Schubversuchen meist in der Adhäsionsebene Dämmstoff-Kleber bzw. in der Kohäsionsebene Dämmstoff auf. Daher kann u. E. hier auf die Betrachtung der weiteren Ebenen verzichtet werden.

An dieser Stelle wird die gesonderte Betrachtung der Lastfallkombination Eigenlast + hygrotherm. Einwirkungen nicht geführt. Sie würde analog zur Betrachtung der Lastfallkombination Eigenlast, hygrotherm. Einwirkungen + Wind erfolgen, vgl. Abs. 5.2.

## 5.2 Lastfallkombination Eigenlast, hygrothermische Einwirkungen und Wind

### 5.2.1 Einwirkungen, Versagensarten bzw. -ebenen und zu berücksichtigende Einflüsse

Es kann eine gegenseitige Beeinflussung der Tragfähigkeiten – Windsog zum Einen und Tragverhalten in Scheibenebene zum Anderen – geben, dies kann rechnerisch mit der nachfolgenden "Interaktion" berücksichtigt werden.

Es kann der Nachweis der kombinierten Beanspruchung mit folgender Bedingung geführt werden (quadratische Interaktion)

 *Z ED* 2 + *QQEDRD* 2 ≤ 1

 *Z RD*  

wobei die Quotienten die jeweiligen Ausnutzungsgrade sind.

Es kann dagegen allerdings auch sinnvoll, das kombinierte Tragverhalten in Kombiversuchen zur Ermittlung des Windsogwiderstandes bei einer gleichzeitig einwirkenden Schubkraft zu untersuchen. Damit wird eine mögliche Beeinflussung der Tragfähigkeiten untereinander berücksichtigt, vgl. Abb. 5.2.

|  |
| --- |
|  |
| **Abb. 5.2:**  Interaktionsdiagramm Schubtragfähigkeit – Windsogtragfähigkeit – Tragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung |

Eine derartige Untersuchung wäre am System für die Bandbreite der vorgesehenen Dämmstoffdicken durchzuführen (z. B. mit kleinster und größter Dämmstoffdicke). Die Ergebnisse der Versuche zur Schubtragfähigkeit, zur Windsogfähigkeit bzw. Haftzugfestigkeit und zur Tragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung können in einem Interaktionsdiagramm dargestellt werden (Abb. 5.2), das ein Hilfsmittel für den Nachweis der Standsicherheit darstellt.

Für die Bewertung der Schubtragfähigkeit wird wie in Abs. 5.1 beschrieben hier nur die Adhäsionsebene Dämmstoff-Kleber betrachtet.

Der Gesamt-Sicherheitsfaktor setzt sich wie folgt zusammen:

γglobal = γL ⋅ γM,oo = γL ⋅ γM,1 ⋅ γM,2 ⋅ γM,3 ⋅ γM,4 ⋅ γM,5 ⋅ γM,6 ... (Gl. 1) Darin sind:

γL Teilsicherheitsbeiwert für Last, hier: γL = 1,5 für Lastfall Wind

Der Teilsicherheitsbeiwert γL für Last wird im hier vorliegenden Fall wie folgt ermittelt. Die Grundlagen hierzu sind oben beschrieben.

Ed = ∑γG,j ⋅Gk,j ⊕ γQ,1 ⋅Qk,1 ⊕∑γQ,j ⋅ψ0,i ⋅Qk,i ... (Gl. 2)

|  |  |
| --- | --- |
| j 1≥ mit | i 1> |
| ⊕ | „in Kombination mit“ |
| ∑ | „Kombination der unabhängigen Einwirkungen infolge von“ |
| Gk,j | charakteristische Werte der ständigen Einwirkungen |
| Qk,1; Qk,i | charakteristische Werte der ersten, der weiteren veränderlichen Einwirkungen |
| γG,j | Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen, hier: γG = 1,35 |
| γQ,1; γQ,i | Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen, hier: γQ = 1,5 |

ψ0, ψ1, ψ2 Kombinationsbeiwerte für seltene, häufige und quasi-ständige Einwirkungen, hier ψ = 0,8

Der gewichtete Teilsicherheitsbeiwert γL\* wird hier mit γL\*= 1,25 angenommen.

γM,1 Streuung der Versuchsergebnisse (Variationskoeffizient), γM,2 Einfluss einer Dauerlasteinwirkung auf die Festigkeit,

γM,3 Temperatureinfluss (z.B. Temperaturschwankung im äußeren Bereich des WDVS), γM,4 Berücksichtigung der Last-Verformungs-Charakteristik des Systems im

Windsogversuch, somit der Duktilität (Zähigkeit - Sprödigkeit) des Systems, γM,5 Einfluss einer Einbauungenauigkeit auf die Tragfähigkeit, Fehlerempfindlichkeit des Systems oder der Systemkomponente,

γM,6 Alterung / Medieneinfluss (Widerstand nach Lagerung unter Wasser oder nach Konditionierung des Systems).

### 5.2.2 Berücksichtigung der Streuung der Versuchsergebnisse (gM,1)

Die Schubtragfähigkeiten sind meist keinen größeren Streuungen unterworfen als die

Windsogtragfähigkeiten. Mit dem Ansatz γM,1 = 1,2 würde man eine für die meisten Fälle hinreichend große Streuung erfassen (Variationskoeffizient 7 % bei der Probenanzahl n = 5 bzw. 9 % bei der Probenanzahl n = 10, vgl. Abb. 4.1) und bräuchte dann nicht mehr jede einzelne Versuchsserie zu bewerten. Ferner wird bei der Bewertung der Schubtragfähigkeiten vom Mittelwert der Versuchsergebnisse ausgegangen. Die Kräfte in Scheibentragwirkung können sich zudem umlagern.

### 5.2.3 Berücksichtigung der Dauerlast auf die Tragfähigkeit (gM,2)

Die Eigenlast ist als einzige Einwirkung als Dauerlast anzusehen. Hygrothermische Einwirkungen können jedoch auch über einen größeren Zeitraum auftreten und sind zusätzlich durch ihre „dynamische“ Wiederkehr relevant. An dieser Stelle wird darauf verzichtet, einen Teilsicherheitsbeiwert hierfür zu berücksichtigen, weil die Dauerlast einen sehr kleinen Anteil an der Gesamtbelastung hat (i.a. < 10 %).

### 5.2.4 Berücksichtigung des Temperatureinflusses (gM,3)

Temperaturschwankungen treten im äußeren Bereich des WDVS auf. Ein negativer Einfluss auf die Schubtragfähigkeit ist nicht bekannt.

### 5.2.5 Berücksichtigung der Duktilität des Last-Verformungs-Verhaltens (gM,4)

Vergleichsweise steife Systemaufbauten haben auch in Bezug auf diese Einwirkungen den Nachteil, dass Kräftekonzentrationen auftreten können und ein solcher Aufbau Zwängungseinwirkungen weniger abbauen bzw. verteilen kann. Steife bzw. spröde Systemaufbauten sollten daher mit einem erhöhten Sicherheitsfaktor beurteilt werden. Hierzu wird vorgeschlagen, einen diesbezüglichen Teilsicherheitsbeiwert einzuführen.

Von Relevanz ist das Verformungsverhalten des gesamten Systemaufbaus (mit Dübelung und ggfls. Klebung). Maßgeblich ist das Verformungsverhalten bis zum Erreichen der Maximalkraft (Schubkraft in Scheibenebene).

Wir schlagen vor, auch hier den qualitativen Ansatz zu wählen, die Verformung u bei Erreichen der Tragfähigkeit (Schubtragfähigkeit) im Versuch am gesamten System zur Festlegung der Duktilität heranzuziehen (Schub- oder Kombinationsversuch). Als quantitativer Ansatz ist eine Stufeneinteilung sinnvoll, wobei wir eine 4-stufige Teilung für hinreichend halten. Diese schlagen wir wie folgt vor:

1. sehr geringe Duktilität: Verformung ux,y: 0,0 ≤ ux,y < 1,0 mm γM,4 = 1,3
2. geringe Duktilität: Verformung ux,y: 1,0 ≤ ux,y < 2,0 mm γM,4 = 1,2 3. mittlere Duktilität: Verformung ux,y: 2,0 ≤ ux,y < 3,0 mm γM,4 = 1,1

4. hohe Duktilität: Verformung ux,y: ux,y ≥ 3,0 mm γM,4 = 1,0

**5.2.6 Berücksichtigung des Einflusses einer Einbauungenauigkeit auf die Tragfähigkeit – Fehlerempfindlichkeit des Systems (gM,5):**

Da sich die Kräfte in Scheibenebene umlagern können, ist die exakte Einhaltung des Klebeflächenanteils nicht von Bedeutung. Es wird von einem Materialsicherheitsbeiwert γM,5 = 1,0 ausgegangen.

### 5.2.7 Berücksichtigung des Medien-Einflusses u. einer Alterung (gM,6)

Mit γM,6 Medieneinfluss (z. B. Widerstand nach Lagerung unter Wasser) und Alterung (Widerstand nach Lagerung unter Wasser oder nach Konditionierung des Systems).

werden im Grunde ähnliche Effekte erfasst. Zum Einen würde man den feuchten Zustand selbst erfassen, zum Anderen den durch Feuchte veränderten Zustand – jedoch die Tragfähigkeit des trockenen Systems. Es kann nötig sein, diese beiden Effekte zu berücksichtigen. Das Nachweiskonzept könnte jedoch mit Berücksichtigung der Alterung den Feuchteeinfluss als insgesamt hinreichend erfasst ansehen. Nachstehend werden für beide Einflüsse (in Überlagerung) Ansätze gewählt.

### 5.2.8 Ergebnis für die Bewertung des Systems

In Tab. 5.1 werden die verschiedenen Sicherheitsbeiwerte für die Versagensebene Dämmstoff-Kleber aufgeführt. Wenn die Versuche an gealterten Proben durchgeführt wurden, kann der Sicherheitsbeiwert γM,6 zu 1 gesetzt werden.

Die Bewertung der Windsogtragfähigkeit erfolgt analog auf Basis der in Abs. 4 beschrieben Sicherheitsbeiwerte.

**Tab. 5.1:** Teilsicherheitsbeiwerte zur Beurteilung eines geklebten + gedübelten WDVS in der Lastfallkombination Eigenlast und hygrothermische Einwirkungen. Darin sind:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| γL | Teilsicherheitsbeiwert für Last, hier: gewichteter Teilsicherheitsbeiwert aus den  Einwirkungen Eigenlast (γL = 1,35) und hygrothermische Einwirkungen (Zwang, γL =  1,5 abgemindert mit dem Kombinationsbeiwert 0,8), | | | | | | | |
| γM,1 | Streuung der Versuchsergebnisse (Variationskoeffizient), | | | | | | | |
| γM,2 | Einfluss einer Dauerlasteinwirkung auf die Tragfähigkeit, | | | | | | | |
| γM,3 | Temperatureinfluss (z. B. Temperaturschwankung im äußeren Bereich des WDVS), | | | | | | | |
| γM,4 | Berücksichtigung der Last-Verformungs-Charakteristik des Systems im Schubversuch, somit der Duktilität (Zähigkeit-Sprödigkeit) des Systems, | | | | | | | |
| γM,5 | Einfluss einer Einbauungenauigkeit auf die Tragfähigkeit, Fehlerempfindlichkeit des Systems oder der Systemkomponente, | | | | | | | |
| γM,6 | Alterung / Medieneinfluss (Widerstand nach Lagerung unter Wasser und/oder nach Konditionierung des Systems). | | | | | | | |
| Versagensart, -ebene | | γL\* | γM,1 | γM,2 | γM,3 | γM,4 | γM,5 | γM,6 | γglobal |
| Prüfung an nicht gealterten Proben:  Adhäsionsversagen Dämmstoff-Kleber | | **1,25** | **1,2** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1,3** | **2,0** |
| Prüfung an gealterten Proben:  Adhäsionsversagen Dämmstoff-Kleber | | **1,25** | **1,2** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1,5** |

**5.3 Materialtechnologische Grundlagen und Berechnungsverfahren für die Standsicherheitsbetrachtung in der Lastfallkombination Eigenlast und**

## hygrothermische Einwirkungen

### 5.3.1 Beispielhafte Putzsysteme – Möglicher Ansatz von Putzeigenschaften

Nachstehend werden Hinweise gegeben, die jedoch nicht ungeprüft verallgemeinerbar sind.

**Standardsystem mit Strukturputz (5+2):** Bei mittlerer Unterputzdicke 5 mm und rechnerischer (effektiver) Oberputzdicke 2 mm (Korn 2 - 3 mm) werden etwa folgende Gewichte erreicht:

Festmörtelgewichte: Unterputz 7,5 kg/m², Oberputz 3,2 kg/m²

Nassmörtelgewichte: Unterputz 8,5 kg/m², Oberputz 3,7 kg/m²

Das gesamte Nassgewicht beträgt somit ca. 12 - 13 kg/m², das gesamte Putzsystem im ausgehärteten Zustand wiegt ca. 10 - 11 kg/m².

**"Edelkratzputz"-System (7+12):** Bei mittlerer Unterputzdicke 7 mm und mittlerer Oberputzdicke 12 mm werden folgende Gewichte erreicht:

Festmörtelgewichte: Unterputz 10,5 kg/m², Oberputz 19,2 kg/m²

Nassmörtelgewichte: Unterputz 11,9 kg/m², Oberputz 22,0 kg/m²

Das gesamte Nassgewicht beträgt somit ca. 33 - 34 kg/m², das gesamte Putzsystem im ausgehärteten Zustand wiegt ca. 30 kg/m².

Wenn keine systemspezifischen Kenntnisse über das Putzsystem vorliegen, kann für mineralische Putze mit geringer Kunstharzvergütung mit folgenden Eigenschaften gerechnet werden:

**-** **Unterputz**, Eigenschaften aus Erfahrungswerten

Mittlere Dicke d = 5 - 8 mm E-Modul E = 7000 N/mm²

Schwindmaß εs,∞ = -0,95 ‰

Wärmedehnkoeffizient αT = 8,0 \* 10-6 1/K

Rissdehnung εR = 0,15 - 0,25 ‰ im Mittel 0,20 ‰

## - Strukturputz als Oberputz = Werte wie Unterputz

**-** **Oberputz 6 bis 12 mm, Kratzputz,** Eigenschaften aus Erfahrungswerten

Mittlere Dicke d = 6 - 12 mm E-Modul E = 3500 N/mm²

Schwindmaß εs,∞ = -0,5 ‰

Wärmedehnkoeffizient αT = 8,0 \* 10-6 1/K

Rissdehnung εR = 0,10 - 0,20 ‰ im Mittel 0,15 ‰

Das Schwindmaß des Unterputzes wird in der Verformungsberechnung zu

-εs,∞ = 0,95 ‰ zugrunde gelegt, auch wenn es sich in experimentellen Untersuchungen als größer erweisen sollte, weil mit diesem Schwindmaß bereits die Rissdehnung erreicht wird. Der Wärmedehnkoeffizient wird zu αT = 8,0 \* 10-6 1/K zugrunde gelegt. Für den Strukturputz wird von denselben Eigenschaften ausgegangen. Dessen Dicke wird zu effektiv d = 2 mm bzw. 3 mm zugrunde gelegt, damit ist der Auftrag in Kornstärke bis Größtkorn 5 mm abgedeckt.

Das Schwindmaß eines dickschichtigeren Oberputzes (Edelkratzputz) kann in der Verformungsberechnung zu -εs,∞ = 0,5 ‰ zugrunde gelegt, auch wenn es sich in experimentellen Untersuchungen als größer erweisen sollte, weil mit diesem Schwindmaß bereits die Rissdehnung erreicht wird. Der Wärmedehnkoeffizient wird zu αT = 8,0 \* 10-6 1/K zugrunde gelegt.

Die Eigenschaften eines mineralischen Putzsystems sind im Hinblick auf die Systemverformungen ungünstiger als die eines organisch gebundenen Putzsystems, mit der Betrachtung eines mineralischen Putzsystems dürfte ein System mit organischem Oberputz abgedeckt sein.

In die Berechnung der Verformung in Scheibenebene fließen die hygrothermischen Eigenschaften sowie die Dehnsteifigkeit des Putzsystems (Unter- und Oberputz) ein. Die Dehnsteifigkeit ist definiert als das Produkt aus Elastizitätsmodul E und Schichtdicke d, bei mehrschichtigen Bekleidungen/Putzsystemen ergibt sich die Gesamt-Dehnsteifigkeit aus der Summe der Einzelsteifigkeiten, vgl. auch die Ausführungen in der Anlage 2.

Für ein WDVS mit mineralischem Putzsystem wird gemäß Erfahrungswerten der größte E-Modul des Unterputzes zu E ≅ 7.000 N/mm² angenommen (Prüfung im KurzzeitZugversuch). Der E-Modul des Edelkratzputzes wird zu E ≅ 3.500 N/mm² angenommen.

Im Lastfall Temperaturschwankungen kann gemäß den in Abs. A2.10 der Anlage 2 beschriebenen Untersuchungen zur Erfassung gleichzeitig wirkender hygrischer Effekte und zeitabhängiger Einflüsse mit der effektiven Steifigkeit Eeff. = 0,4 E (40 % der experimentell ermittelten Steifigkeit) gerechnet werden.

Gemäß [2.1] und [2.2] ist das Erstschwinden des Putzes erheblich größeren Relaxationseffekten unterworfen (Spannungen des „grünen“ Putzes, wie Schäfer in [2.1] schreibt; es entsteht ein „Wettlauf“ zwischen der schwindbedingten Zugspannung im Putz und der Putz-Zugfestigkeit). Dies kann durch den rechnerisch verminderten E-Modul Eeff. = E/9 erfasst werden.

Mit der größten Schwindverkürzung entstehen bei Überlagerung mit Temperaturabsenkung die größten Zugspannungen bzw. Verkürzungen der Fassade. Auf der sicheren Seite liegend wird in der Lastfallkombination Schwinden und Temperaturerhöhung das Erstschwinden nur zu einem Drittel des jeweils größten Schwindmaßes

-εs,∞ = 0,317 ‰ (Unterputz und Strukturputz) bzw. -εs,∞ = 0,167 ‰ (Edelkratzputz) zugrunde gelegt. Die insgesamt zugrunde gelegten hygrothermischen Einwirkungen ergeben sich durch die vorstehenden Ansätze und die Begrenzung durch die PutzZugfestigkeit gemäß Tab. 5.2.

Mit diesem rechnerischen Ansatz wird das Putzsystem mit Strukturputz durch hygrothermische Einwirkungen durch Zwängung in einer Höhe beansprucht, die einer Dehnung von ca. 0,20 ‰ entspricht. Dies ist vergleichsweise hoch, nämlich in der Höhe der mittleren Rissdehnung mineralischer Unterputze von WDVS (Erfahrungswerte).

In Tab. 5.3 sind die Putzeigenschaften zusammengestellt.

# 6 Beispiele

## 6.1 System mit Mineralwolle-Lamellen-Dämmplatten – nur geklebt

In einer gemeinschaftlichen Arbeit mehrerer Institute wurde im Auftrag des Fachverbandes Wärmedämm-Verbundsysteme eine Untersuchung am Systemaufbau mit Mineralwolle-Lamellendämmplatten großer Dicke die Standsicherheit des ausschließlich geklebten Systems untersucht. Dabei wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, wobei die wesentlichen Untersuchungen die Kombinationsversuche waren, mit denen die Systemtragfähigkeit am Systemaufbau der

Dämmstoffdicke 40 cm untersucht wurde. Bei Einwirkungen von horizontalen Verschiebungen in Höhe von ca. 8 mm entstanden erhebliche Verformungen des Putzsystems, jedoch ist hierbei das System noch intakt geblieben. Es handelt sich bei dieser Verformungseinwirkung um eine Schubverformung, die im Vergleich zu dem Verhalten am Bauwerk das gewünschte Sicherheitsniveau als Aufschlag auf die Einwirkungen beinhaltet, um an einer Kombinationsuntersuchung die dann noch aufnehmbare Windsogtragfähigkeit zu ermitteln. Dabei wurde festgestellt, dass ein Versagen bei Zugkräften der Größenordnung 10,0 bis 15,0 kN/m² auftrat, hierbei handelt es sich um eine deutliche Unterschreitung der in ETAG 004 gewünschten Haftzugfestigkeit in Höhe von 30 kN/m².

Unter Berücksichtigung der vorstehend beschriebenen Sachverhalte, nämlich beispielsweise auch der handwerklichen Imperfektionen, der Streuung der Versuchsergebnisse, möglicher Alterungseffekte etc. wurde im Rahmen des Zulassungsverfahrens eine Anwendung als ausschließlich geklebtes System dennoch befürwortet. Insoweit sind vorstehend genannte Grundgedanken im Zulassungsverfahren umgesetzt worden, wobei zusätzliche – hier nicht beschriebene – Nachweise in der Fragestellung der Dauerlasteinwirkung geführt worden sind.

## 6.2 System mit Polystyrol-Hartschaum-Dämmplatten – nur geklebt

Wir haben die Standsicherheit eines Systems mit EPS-Dämmplatten an einem Gebäude der Höhe 26 m (Windzone 1) untersucht. Das Gebäude wird mit maximaler Windsogeinwirkung in Höhe von 1,086 kN/m² belastet. Betrachtet man einen ausschließlich geklebten Systemaufbau mit unterschiedlichen Klebeflächenanteilen, so ergibt sich folgendes Bild:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Klebeflächenanteil | Haftzugfestigkeit | Windsogkraft | Sicherheitsfaktor | Ausnutzungsgrad |
| [%] | [kN/m²] | [kN/m²] | [-] | [%] |
| 20 | 16,000 | 1,086 | 3,00 | 20,36 |
| 25 | 20,000 | 1,086 | 3,00 | 16,29 |
| 30 | 24,000 | 1,086 | 3,00 | 13,58 |
| 35 | 28,000 | 1,086 | 3,00 | 11,64 |
| 40 | 32,000 | 1,086 | 3,00 | 10,18 |

Da das hier vorhandene System hinsichtlich der Windsogbeanspruchung mit unterschiedlichen Klebeflächenanteilen untersucht wurde, braucht die Fragestellung des Klebeflächenanteils nicht im anzusetzenden Sicherheitsfaktor, der sämtliche Teilsicherheitsbeiwerte beinhaltet, berücksichtigt zu werden. Nach unserer Auffassung bzw. nach oben aufgeführten Ansätzen ist ein Sicherheitsfaktor in Höhe von 3,0 sinnvoll, unter Berücksichtigung der handwerklichen Imperfektion in Höhe von 6,0. Da die Fragestellung des Klebeflächenanteils gesondert betrachtet wurde, ist somit rechnerisch der Sicherheitsfaktor 3,0 ausreichend.

Es wurde ferner das Tragverhalten des Systems in Scheibenebene untersucht, wobei große Fassadenfelder sowie das vorhandene Putzsystem mit ca. 7 mm Gesamtdicke betrachtet wurden. Gegenübergestellt werden in der nachfolgenden Tabelle die aus Versuchen abzuleitenden maximalen Schubverformungen, die darauf ermittelten zulässigen Verformungen sowie der Ausnutzungsgrad des Systems entsprechend der nachfolgenden Tabelle.