

Gutachterliche Stellungnahme

zur Eignung einer folienverstärkten, absturzsichernden Vertikalverglasung

Bauvorhaben: Klinikum Ludwigshafen

Auftraggeber: 3M Deutschland GmbH Industrial Business
Carl-Schurz-Straße 1
41453 Neuss

Aktenzeichen: 08-G-16904

Datum: 20. Januar 2008

Umfang: 13 Seiten

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Auftrag und Veranlassung | 3 |
| 2 | Unterlagen | 4 |
| 3 | Beschreibung der baulichen Situation..... | 5 |
| 4 | Beurteilung der absturzsichernden Verglasung | 8 |
| 4.1 | Beurteilung der Absturzsicherheit..... | 8 |
| 4.1.1 | Anforderungen an absturzsichernde Verglasungen..... | 8 |
| 4.1.2 | Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartiger Belastung..... | 8 |
| 4.2 | Beurteilung der Resttragfähigkeit..... | 9 |
| 4.2.1 | Windsoglast für den Nachweis der Resttragfähigkeit..... | 9 |
| 4.2.2 | Versuchsauswertung..... | 11 |
| 4.3 | Abschließende Beurteilung..... | 12 |
| 5 | Zusammenfassung | 13 |

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

1 AUFTRAG UND VERANLASSUNG

Die Fa. 3M Deutschland GmbH hat die Fassade des Klinikums Ludwigshafen, bestehend aus punktförmig gehaltenen Glasscheiben mit abstursichernder Funktion saniert.

Um eine Gefährdung von Personen durch herabfallende Bruchstücke auf ein akzeptables Risiko zu begrenzen, hatte sich der Bauherr entschlossen, die Scheiben mit einer Folie zu verstärken. Im Falle eines Bruches soll die Folie eine Resttragfähigkeit der zerstörten ESG Scheibe sicherstellen und das Herabfallen gefährlicher Bruchstücke verhindern.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Folienanwendungen wurden 2006 an der TU Darmstadt Versuche zur Resttragfähigkeit an Scheiben der Glasfassade durchgeführt. 2007 wurden darüber hinaus vom Deutschen Glasbau Institut Versuche zur Absturzsicherheit durchgeführt.

Im Rahmen dieses Gutachtens sollen die Versuche ausgewertet und Empfehlungen für die Anwendung der Folienverstärkung ausgesprochen werden.



Abbildung 1: Ansicht der Fassade

Sachverständigengutachten

zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

2 UNTERLAGEN

- [1] DIN 1055: *Lastannahmen für Bauten*, T 100, 03.2001, T4 Wind, 03.2005, T5 Schnee 07.2005.
- [2] Norm DIN 1249 Teil 10: *Flachglas im Bauwesen, chemische und physikalische Eigenschaften*. August 1990.
- [3] Norm DIN 1249 Teil 12: *Flachglas im Bauwesen, Einscheiben- Sicherheitsglas*. August 1990.
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): *Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen*. Berlin, August 2006.
- [5] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): *Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen*. Berlin, Januar 2003.
- [6] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: *Anwendung von nicht geregelter Bauarten nach §20 der Hessischen Bauordnung im Bereich der Glaskonstruktionen*, AZ: VI 2-2-64 b 16/01- 8/2004; vom 21. Dezember 2004
- [7] DIN V18008: *Glas im Bauwesen; Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil1:Grundlagen*, Manuskript 2004
- [8] Wörner und Partner GbR, Gutachterliche Stellungnahme zum Scheibenbruch an einer ESG-Scheibe der Fassade Klinikum Ludwigshafen, Bremserstr., AZ.: 06-G-16033 vom 2.11.2005.
- [9] TU Darmstadt, FG Statik der Hochbaukonstruktionen, Bericht zur Resttragfähigkeitsversuchen an punktgehaltenen Glasscheiben aus ESG vom Gebäude Klinikum der Stadt Ludwigshafen vom 12.10.2006.
- [10] Deutsches Glasbau Institut, Pendelschlagversuche (weicher Stoß) an einer Sicherheitsglasscheibe in Anlehnung an TRAV und DIN EN 12600, AZ.: P-07-117 vom 26.11.2007.

Sachverständigengutachten

zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

3 BESCHREIBUNG DER BAULICHEN SITUATION

Die Fassade des Klinikums Ludwigshafen besteht aus punktförmig gehaltenen ESG-Scheiben mit einer rechteckigen Geometrie mit den Feldgrößen von H x B 1300 mm x 1940 mm (s. Abbildung 2). Je Geschosshöhe sind 3 Reihen der Scheiben übereinander angebracht.

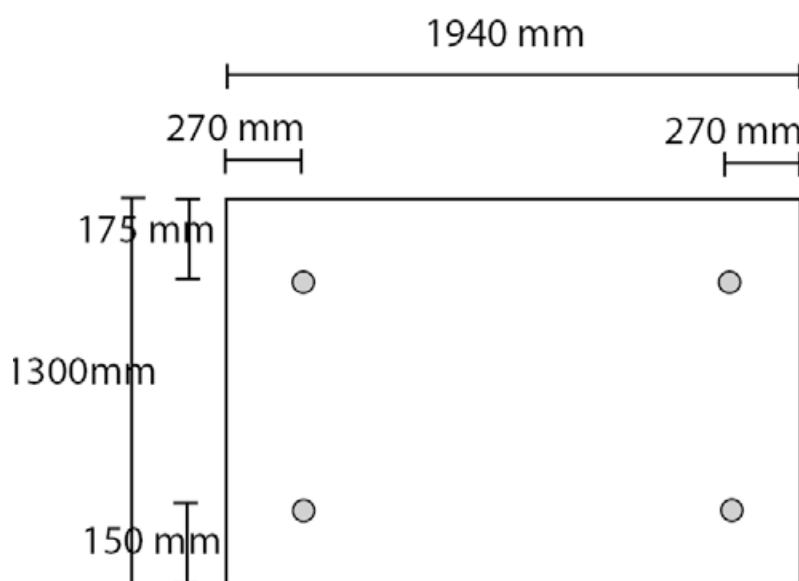


Abbildung 2: Abmessungen der Scheibe mit Punkthaltern

Jede Scheibe wird mit 4 Punkthaltern über Stahlhalter mit einer Rundstütze aus Stahl verbunden (siehe Abbildung 3). Zwischen der unteren und der mittleren Reihe der Verglasung befindet sich ein tragender Holm, der mit der Stahlstütze verbunden ist.

Die Punkthalter haben einen Tellerdurchmesser von 50 mm und ein zylindrisches Bohrloch mit einem Durchmesser von 20 mm. Die starren Punkthalter sind in den vier Ecken der Verglasung mit Randabständen von horizontal 270 mm und vertikal 150 mm (von unten) bzw. 175 mm (von oben) angeordnet (siehe Abbildung 2).

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

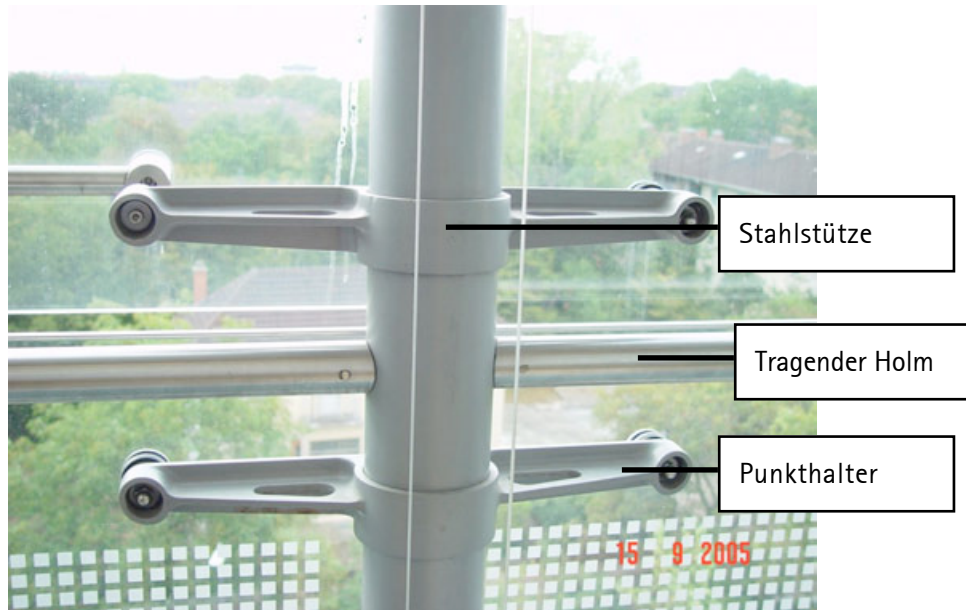


Abbildung 3: Punkthalter und Unterkonstruktion

Die Scheiben sind hinsichtlich der Absturzsicherheit in die Kategorie C1 einzustufen. Da gemäß TRAV seit 2003 absturzsichernde Verglasungen der Kategorie C1 aus VSG sein müssen, wenn sie punktförmig gelagert sind, sollten die eingebauten Scheiben mit einer Splitterschutzfolie nachgerüstet werden, um den Anforderungen an die Resttragfähigkeit gerecht zu werden.

Alle Scheiben wurden auf der Innenseite mit einer Folie „Ultra600“ und zwei Scheiben auf der Außenseite mit einer Sonnenschutzfolie „ RE35NEARXL“ der Firma 3 M beklebt (Folienstärke 0,15 mm).

| | | |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| absturzs. Verglasung Kat C1 | B x H: 1940mm x 1300mm | 12 mm ESG 0,15 mm Ultra 600 (innen) RE35NEARXL (teilw. außen Sonnenschutz) |
|--------------------------------|---------------------------|--|

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

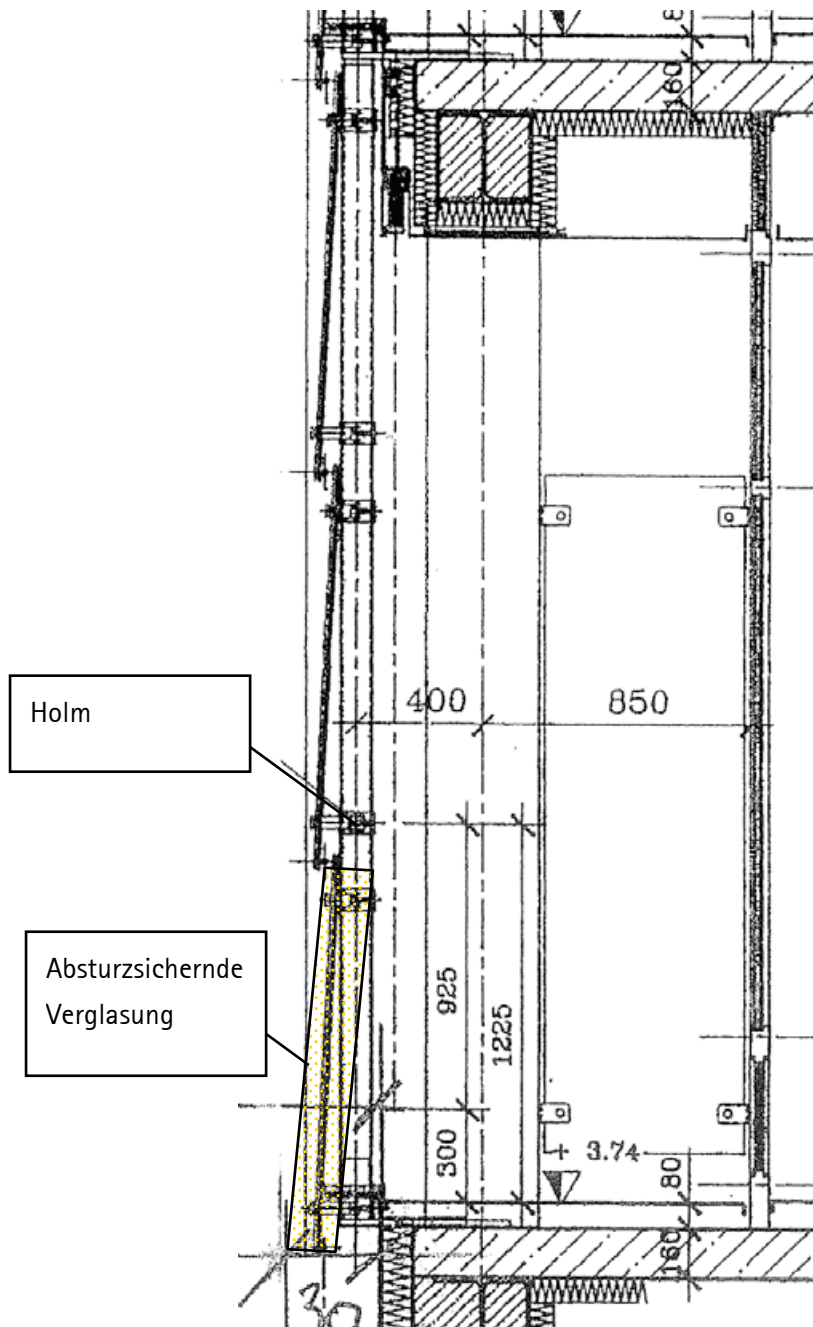


Abbildung 4: Schnitt durch die Fassade

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

4 BEURTEILUNG DER ABSTURZSICHERNDEN VERGLASUNG

4.1 Beurteilung der Absturzsicherheit

4.1.1 Anforderungen an absturzsichernde Verglasungen

Für die Beurteilung absturzsichernder Verglasungen sind die Standsicherheit unter statischer Belastung sowie die Tragfähigkeit unter stoßartiger Belastung nachzuweisen.

Der Standsicherheitsnachweis unter statischer Last wird immer als rechnerischer Spannungsnachweis unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Holmlast geführt. Die zulässigen Spannungen sind den „Technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen“ [4], Abschnitt 5.2, Tabelle 2 zu entnehmen.

Der Nachweis der Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit erfolgt in der Regel experimentell.

Die Scheibe ist aufgrund ihres vorgelagerten Handlaufes der Kategorie C1 nach TRAV [5] einzuordnen.

4.1.2 Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartiger Belastung

Neben dem Standsicherheits- und Durchbiegungsnachweis unter statischer Belastung ist auch ein Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartiger Belastung (Anprall von Personen) erforderlich. Der Nachweis ist in der Regel experimentell zu führen. Zum experimentellen Nachweis dieser Einwirkung ist ein Pendelschlagversuch mit einem 50 kg schweren Zwillingsreifen nach DIN EN 12600 als Stoßkörper erforderlich. Dabei ist die Fallhöhe von der Kategorie der Verglasung abhängig.

Bei der Einstufung der Verglasung in die Kategorie C1 ist eine Fallhöhe von 450 mm erforderlich. Der Pendelschlagversuch gilt als bestanden, wenn die Verglasung vom Stoßkörper nicht durchschlagen wird und die Scheibe oder gefährdende Glasbruchstücke nicht herabfallen.

Die Versuche wurden vom Deutschen Glasbau Institut durchgeführt. Es wurden zwei Probekörper untersucht.

Die Probekörper hatten folgende Geometrie:

12 mm ESG

Breite B = 1940 mm, Höhe H = 1300 mm

Sachverständigengutachten

zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

Die Punkthalter wurden auf einen steifen, geschweißten Stahlrahmen geschraubt. Die Auflagerung ist damit steifer – und damit auf der sicheren Seite liegend ungünstiger – als es am Bauwerk zu erwarten ist.

Beide Scheibe wurden bei den Pendelschlagversuchen mit einer Pendelfallhöhe von 450mm nicht zerstört. Die Unterkonstruktion wies darüber hinaus keine sichtbaren Beschädigungen nach dem Stoß auf. Die genaue Durchführung ist dem Versuchsbericht zu entnehmen [10].

Die absturzsichernde Funktion der Konstruktion, bestehend aus 12mm ESG-Scheibe, Punkthaltern und Unterkonstruktion ist damit nachgewiesen.

4.2 Beurteilung der Resttragfähigkeit

4.2.1 Windsoglast für den Nachweis der Resttragfähigkeit

Auf die Scheibe wirken Windlasten in horizontaler Richtung und Eigengewichtslasten in vertikaler Richtung.

Die Folie wird auf die Innenseite vollflächig aufgetragen. Im gebrochenen Zustand wirkt die Folie bei Winddruck wie eine Zugband, während die Glasbruchstücke als Druckzone wirken können. Für die Resttragfähigkeit im Bruchzustand ist daher der Windsog der maßgebende Lastfall. Bei Windsog muss die Folie die Belastung alleine ohne Zuhilfenahme einer Druckzone aus Glasbruchstücken aufnehmen.

Für die Bemessung der Scheiben kann auf DIN 1055, Teil 4 (s. Tabelle 2) zurückgegriffen werden. Für den Nachweis der Resttragfähigkeit sind die Bemessungslasten angemessen abzumindern.

Tabelle 2: Geschwindigkeitsdruck nach DIN 1055-4

| Windzone | | $h \leq 10\text{m}$ | $10\text{m} < h \leq 18\text{m}$ | $18\text{m} < h \leq 25\text{m}$ |
|----------|------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Binnenland | 0,50 | 0,65 | 0,75 |

Der aerodynamische Beiwert c_p wird nach DIN 1055-4 mit +0,6 bzw. -0,8 angenommen..

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

Unter Voraussetzung, dass im Bereich einer gebrochenen Scheibe zügig und spätestens 12h Stunden nach Schadensfeststellung Sicherungsmaßnahmen gegen herabfallende Bruchstücke getroffen werden, können Abminderungen für vorübergehende Zustände berücksichtigt werden. Der abgeminderter Geschwindigkeitsdruck zur Untersuchung vorübergehender Zustände nach DIN 1055-4 kann Tabelle 3 entnommen werden:

Tabelle 3: Abgeminderter Geschwindigkeitsdruck gemäß DIN 1055-4

| Dauer des vorübergehenden Zustands | Mit schützenden Sicherungsmaßnahme* | Mit verstärkenden Sicherungsmaßnahme | Ohne Sicherungsmaßnahme |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Bis zu 3 Tagen | 0,1 x q | 0,2 x q | 0,5 x q |
| Bis zu 3 Monaten (Mai bis August) | 0,2 x q | 0,3 x q | 0,5 x q |
| Bis zu 12 Monaten | 0,2 x q | 0,3 x q | 0,6 x q |
| Bis zu 24 Monaten | 0,2 x q | 0,4 x q | 0,7 x q |

*Schützende Sicherungsmaßnahmen sind z.B.: Niederlegen von Bauteilen am Boden, Einhausung oder Einschub in Hallen.

Der gemäß DIN 1055-4 für vorübergehende Zustände abgeminderte Geschwindigkeitsdruck ist ein Böengeschwindigkeitsdruck. Diese Böenwerte beinhaltet kurzfristige Spitzenwerte, die nach unserer Ansicht den Nachweis der Resttragfähigkeit unrealistisch beeinflussen, da sie entweder im vereinbarten Zeitraum nicht auftreten oder von Systemreserven getragen werden können. Zur weiteren Abminderung von einer unangemessenen Böenwirkung auf den Nachweis schlagen wir eine Abminderung um 20% vor.

Die Windsoglast für den Nachweis der Resttragfähigkeit berechnet sich damit zu:

$$w_{sog} = 0,5 \cdot c_p \cdot q \cdot 0,80 = 0,5 \cdot -0,8 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 = -0,208 \text{ kN/m}^2$$

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

4.2.2 Versuchsauswertung

2006 wurden Versuche zur Resttragfähigkeit der Scheiben durch die TU Darmstadt unter unserer Leitung durchgeführt. Die Versuche sind detailliert in einem Versuchsbericht dokumentiert [9]. Die Versuche wurden an 6 Scheiben mit den Abmessungen gemäß Abbildung 2 durchgeführt. Alle Scheiben waren auf der Innenseite vollflächig mit der Folie Typ Ultra 600 der Fa. 3M verklebt.

Bei den Versuchen 1-4 wurde die Folie in Scheibenmitte ohne Überlappung gestoßen, bei den Versuchen 5 und 6 war die Folie durchgehend.

Die thermischen Längsausdehnungskoeffizienten für Glas und Folie betragen ca. :

$$a_{T,20/30, \text{Glas}} = 9,0 \cdot 10^{-6} 1/K$$

$$a_{T, \text{Folie}} = 1,7 \cdot 10^{-5} 1/K$$

Eine Behinderung der Temperaturexpansion der Scheibe durch die Folie ist daher nicht zu erwarten. Der angegebene Anwendungsbereich der Folie lässt auf keine Einschränkungen durch Temperatureinwirkungen schließen.

Mittels eines Luftkissens wurde von der Rückseite der Scheibe eine horizontale Windsoglast simuliert. Die Scheiben wurden jeweils mit einer Last $w > 0,21 \text{ kN/m}^2$ beaufschlagt. Die Scheiben wurden vertikal an den Punkthaltern aufgehängt.

Die Versuche wurden in einer beheizten Halle bei Temperaturen zwischen 17° und 19° durchgeführt. Die Resttragfähigkeitsversuche liefen jeweils über eine Zeitspanne von 72h.

Es konnte festgestellt werden, dass durch die Folienapplikation eine Resttragfähigkeit der gebrochenen, punktförmig gehaltenen ESG Scheibe hergestellt werden kann.

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

4.3 Abschließende Beurteilung

Beide Versuchsberichte (Stoßtragfähigkeit [10] und Resttragfähigkeit [9]) zeigen, dass die Scheiben im Hinblick auf die Anforderungen an absturzsichernde Verglasungen die Kategorie C1 erfüllen. Die Tragfähigkeit bei stoßartiger Belastung wurde anhand des Versuches, auf der sicheren Seite liegend ohne Folie durchgeführt. Beide getesteten Scheiben haben diesen Versuch bestanden.

Die Resttragfähigkeit beim Zerstören der Scheibe wurde anhand des an der TU Darmstadt durchgeführten Versuches [9] nachgewiesen.

Die Scheiben mit Punkthalter und Unterkonstruktion sind als absturzsichernd einzustufen.

Unter Anwendung einer vollflächig verklebten Folie des Typs Ultra 600 der Fa. 3M kann die Resttragfähigkeit von gebrochenen punktgehaltenen ESG Scheiben hergestellt werden.

Da die Ursache von Scheibenbrüchen bei den Verbindungsbrücken nicht abschließend geklärt ist und nicht ausgeschlossen werden kann, dass Brüche ohne Anzeichen oder Vorankündigung auftreten, sind regelmäßige Sichtkontrollen der Fassade notwendig.

Die Häufigkeit der Kontrollen sollte von der Resttragfähigkeit der Scheiben abhängig sein. Aufgrund der Versuche ergibt sich damit ein Überwachungsintervall von 72h, was aufgrund der freien Zugänglichkeit der Fassade und des permanent anwesenden Personals kein Problem darstellt.

Im Falle eines Bruches sind Gefahrenstellen zügig zu sichern, spätestens 12h nach Schadensfeststellung. Die Resttragfähigkeit darf nicht zum Anlass genommen werden, notwendigen Maßnahmen zur Sicherung der Wege im Bereich herabfallender Bruchstücke zu verzögern.

Für die Folienapplikation müssen die Scheiben aus- und eingebaut werden. Hierbei sind folgende Grundsätze zu beachten:

1. Alle Scheiben sind hinsichtlich Kantenverletzung o. ä. auf der Baustelle zu überprüfen und dürfen erst nach entsprechender Freigabe eingesetzt werden.
2. Beschädigte Scheiben sind umgehend auszutauschen und entsprechende Sicherheitsvorkehrungen vorzunehmen.
3. Der Kontakt Stahl - Glas ist überall wirksam und dauerhaft zu vermeiden.

Sachverständigengutachten
zur Eignung einer folienverstärkten, punktförmig gehaltenen Vertikalverglasung

5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser gutachterlichen Stellungnahme wurde eine vierfach punktförmig gelagerte absturzsichernde Verglasung für das Bauvorhaben „Klinikum Ludwigshafen Haus A“ im Hinblick auf ihre Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit untersucht.

Als Ergebnis der Beurteilung aller vorliegenden Unterlagen kann unter Berücksichtigung folgender Punkte von einer ausreichenden Tragfähigkeit der begutachteten Verglasung ausgegangen werden:

1. Alle Scheiben aus ESG müssen den Anforderungen nach DIN 1249 Teil 12 entsprechen.
2. Die verwendeten Folien müssen für die absturzsichernde Verglasung aus Ultra600 (Dicke = 0,15 mm) der Firma 3M sein.
3. Die Durchbiegung der Unterkonstruktion darf nicht mehr als $1/200$ der aufzulagernden Scheibenlänge, höchstens jedoch 15 mm betragen.
4. Der Kontakt zwischen Stahl und Glas ist überall wirksam und dauerhaft zu vermeiden.
5. Um ungünstige Wechselreaktionen auszuschließen, ist für alle Materialien die Verträglichkeit mit den in Kontakt stehenden Materialien zu überprüfen.

Die vorliegende Stellungnahme basiert auf den uns zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Unterlagen (s. Abschnitt 2). Sollten sich im Laufe der Sanierung Änderungen an der Belastung, am Scheibenaufbau, an den Scheibenabmessungen, der gewählten Glasart oder einzelnen Detailpunkten ergeben, bedürfen diese Änderungen einer weiteren Begutachtung. Diese gutachterliche Stellungnahme gilt nur für die Glaskonstruktion der Fassade im Klinikum Ludwigshafen Haus A und darf ohne eine erneute Überprüfung nicht auf andere Bauvorhaben übertragen werden.

Darmstadt, den 20. Februar 2008

Dr.-Ing. H.-W. Nordhues
Wörner und Partner GbR

ö.b.u.v. Sachverständiger für
Konstruktiver Glasbau sowie
Betonbau beim Umgang mit
wassergefährdenden Stoffe