

Gutachterliche Stellungnahme

**zu den Berechnungsergebnissen des Programms
GLASTIK 5.0 (Stand 02.12.2011) - Standard auf Grundlage
von stichprobenhaften Vergleichsberechnungen**



Auftraggeber: mkt GmbH
Edelweißstraße 11-13
52477 Alsdorf

Firma: SDA-engineering GmbH
Kaiserstraße 100
TPH III – Raster 135
52134 Herzogenrath

Bearbeiter: Dr.-Ing. Christoph Butenweg (Dozent RWTH Aachen)
Dipl.-Ing. Daniel Schmitt

Revision: R-2

Datum: 02.12.2011



Inhalt

1	Einleitung und prinzipielle Vorgehensweise	3
2	Verwendete Normen.....	3
3	Programme.....	3
4	Variablen	4
5	Materialkennwerte	4
6	Sicherheitskonzept	5
6.1	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Lastseite	5
6.2	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite	6
6.3	Kombinationsbeiwerte	7
7	Vergleichsberechnungen: Einfachglas	9
7.1	Rechteckscheibe, Einbauwinkel 0°, EG+W.....	9
7.2	Rechteckscheibe, Einbauwinkel 0°: EG+S+W+EL.....	12
7.3	Quadratscheibe, Einbauwinkel 45°: EG+S+W+EL.....	15
8	Vergleichsberechnungen: Doppelglas.....	17
8.1	Trapezscheibe, Einbauwinkel 90°, EG+W.....	17
8.2	Rechteckscheibe, Einbauwinkel 90°, W+K.....	19
9	Überprüfung der Lastfallkombinationen.....	22
10	Zusammenfassung.....	23

1 Einleitung und prinzipielle Vorgehensweise

In der vorliegenden gutachterlichen Stellungnahme erfolgt eine stichprobenartige Prüfung des Berechnungsprogramms „GLASTIK 5.0 – Standard“ durch Vergleichsrechnungen mit dem FE-Programm InfoCAD. Hierfür wurde Glastik in der Programmversion v 5.0.0.16. vom 02.12.2011 verwendet. Die Überprüfung erfolgt nach DIN 18008, Teil 1 und 2 [1], [2] an ausgewählten Berechnungsbeispielen. Verglichen werden die berechneten Spannungen und Durchbiegungen der betrachteten Glasscheiben. Zusätzlich werden für die Berechnungsbeispiele die von GLASTIK angesetzten Lastannahmen auf die Glasscheiben stichprobenartig überprüft.

2 Verwendete Normen

- [1] DIN 18008-1: Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen, Dezember 2010.
- [2] DIN 18008-2: Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen, Dezember 2010.
- [3] DIN 1055-4: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 4: Windlasten. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, März 2005.
- [4] DIN 1055-5: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 5: Schnee- und Eislasten. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, Juli 2005.
- [4] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, März 2001.
- [5] Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV), Schlussfassung August 2006, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt).
- [6] DIN 18008-2 Berichtigung 1: Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen, Berichtigung zu DIN 18008-2:2010-12, April 2011.

3 Programme

- GLASTIK 5.0 - Standard (Version 5.0.0.16; Module: DACLPK3RSEF), mkt GmbH, Alsdorf.
- InfoCAD, Version 11.10a, InfoGraph GmbH, Aachen.

4 Variablen

d:	Glasdicke [m]
p _i :	Gleichlast [kN/m ²] (Index i: EG = Eigengewicht, W = Wind, S = Schnee, K = Klima)
H:	Höhe [m]
B:	Breite [m]
σ _z :	maximale Hauptzugspannung (σ ₁ bzw. σ ₂) an der Glasoberfläche [kN/m ²]
u:	maximale Durchbiegung [m]
LF	Lastfall (EG = Eigengewicht, W = Wind, S = Schnee, K = Klima, EL = Einzellast)
SZ:	Scheibenzwischenraum
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
EZG	Einzelglasscheibe
DZG	Doppelglasscheibe
e, g, f:	Rand: eingespannt, gelenkig, frei

5 Materialkennwerte

Für die Vergleichsberechnungen mit dem Programm InfoCAD wurden als Rechenwerte die in DIN 18008-1, Tabelle 2 [1] angegebenen Materialkennwerte für Kalk-Natronsilicatglas angesetzt:

E _G :	70.000 N/mm ² (Elastizitätsmodul)
ν _G :	0,23 (Querdehnzahl)
γ:	25 kN/m ³

6 Sicherheitskonzept

6.1 Teilsicherheitsbeiwerte auf der Lastseite

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind nach DIN 1055-100, Tabelle A.3 [4] anzusetzen (Tabelle 1). Maßgebend sind die Teilsicherheitsbeiwerte für das Versagen des Tragwerks oder von Teilen des Tragwerks.

Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1055-100 [4]

Tabelle A.3 — Teilsicherheitsbeiwerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Nachweiskriterium	Einwirkung	Symbol	Situationen	
			P/T	A
Verlust der Lagesicherheit des Tragwerks siehe Gleichung (11)	Ständige Einwirkungen: Eigenlast des Tragwerks und von nicht tragenden Bauteilen, ständige Einwirkungen, die vom Baugrund herrühren, Grundwasser und frei anstehendes Wasser			
	ungünstig	$Y_{G,sup}$	1,10	1,00
	günstig	$Y_{G,inf}$	0,90	0,95
	Bei kleinen Schwankungen der ständigen Einwirkungen, wie z. B. beim Nachweis der Auftriebssicherheit			
	ungünstig	$Y_{G,sup}$	1,05	1,00
	günstig	$Y_{G,inf}$	0,95	0,95
Versagen des Tragwerks, eines seiner Teile oder der Gründung durch Bruch oder übermäßige Verformung siehe Gleichung (12)	unabhängige ständige Einwirkungen (siehe oben)			
	ungünstig	$Y_{G,sup}$	1,35	1,00
	günstig	$Y_{G,inf}$	1,00	1,00
	unabhängige veränderliche Einwirkungen			
Versagen des Baugrundes durch Böschungs- oder Geländebruch	ungünstig	Y_Q	1,50	1,00
	außergewöhnliche Einwirkungen	Y_A		1,00
	unabhängige ständige Einwirkungen (siehe oben)			
	ungünstige	Y_G	1,00	1,00
Versagen des Baugrundes durch Böschungs- oder Geländebruch	günstige	Y_G	1,00	1,00
	unabhängige veränderliche Einwirkungen			
	ungünstig	Y_Q	1,30	1,00
	außergewöhnliche Einwirkungen	Y_A		1,00
P: Ständige Bemessungssituation P: Lastfall 1 nach DIN V 1054-100 T: Vorübergehende Bemessungssituation T: Lastfall 2 nach DIN V 1054-100 A: Außergewöhnliche Bemessungssituation A: Lastfall 3 nach DIN V 1054-100				

6.2 Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite

Es ist zwischen thermisch vorgespannten und nicht thermisch vorgespannten Gläsern zu unterscheiden. Für Gläser mit thermischer Vorspannung ist der Bemessungswert des Tragwiderstands für Spannungsversagen wie folgt definiert:

$$R_d = \frac{k_c \cdot f_k}{\gamma_M}$$

mit:

R_d der Bemessungswert des Tragwiderstands;

k_c der Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Konstruktion. Sofern in den nachfolgenden Normteilen nichts anderes angegeben wird, gilt $k_c = 1,0$;

f_k der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit (siehe Abschnitt 5);

γ_M der Materialteilsicherheitsbeiwert. Für thermisch vorgespannte Gläser ist $\gamma_M = 1,5$ zu verwenden.

Für thermisch nicht vorgespannte Gläser berechnet sich der Widerstand zu:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_c \cdot f_k}{\gamma_M}$$

mit:

γ_m : 1,8

k_{mod} : Modifikationsfaktor nach Tabelle 2

K_c : Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Konstruktion

Beiwert K_c nach DIN 18008-2: Berichtigung 1 [6]

In

DIN 18008-2:2010-12

ist folgende Berichtigung vorzunehmen:

In Abschnitt 7.2 ist der Textteil „für allseitig gelagerte Vertikalverglasungen“ zu streichen.

Der Abschnitt 7.2 muss richtig lauten:

„7.2 Bei der Ermittlung des Widerstandes gegen Spannungsversagen ist bei Gläsern ohne thermische Vorspannung $k_c = 1,8$ und bei thermisch vorgespannten Gläsern $k_c = 1,0$ anzusetzen.“



Tabelle 2: Modifikationsbeiwert nach DIN 18008 [1], [2]

Einwirkungsdauer	Beispiele	k_{mod}
ständig	Eigengewicht, Ortshöhendifferenz	0,25
mittel	Schnee, Temperaturänderung und Änderung des meteorologischen Luftdruckes	0,40
kurz	Wind, Holmlast	0,70

6.3 Kombinationsbeiwerte

Für die Berechnungen sind nach DIN 18008 [1], [2] die Kombinationsbeiwerte für Klimalasten, Montagezwängungen und Holmlasten nach Tabelle 3 anzusetzen. Für Wind- und Schneelasten sind die Kombinationsbeiwerte nach DIN 1055-100 [4] zu wählen (Tabelle 4).

Tabelle 3: Kombinationsbeiwerte nach DIN 18008 [1], [2]

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Einwirkungen aus Klima (Änderung der Temperatur und Änderung des meteorologischen Luftdruckes) sowie temperaturinduzierte Zwängungen	0,6	0,5	0
Montagezwängungen	1,0	1,0	1,0
Holm- und Personenlasten	0,7	0,5	0,3

Tabelle 4: Kombinationsbeiwerte nach DIN 1055-100 [4]

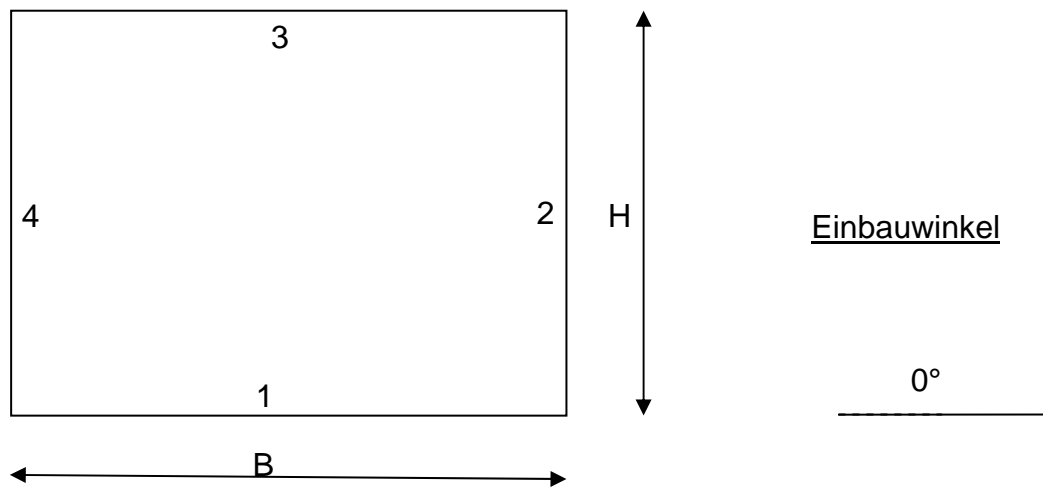
Tabelle A.2 — Beiwerte ψ

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten ^{a,d}			
– Kategorie A — Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
– Kategorie B — Büros	0,7	0,5	0,3
– Kategorie C — Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
– Kategorie D — Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
– Kategorie E — Lagerräume	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten			
– Kategorie F, Fahrzeuglast ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
– Kategorie G, ≤ 30 kN \leq Fahrzeuglast ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
– Kategorie H — Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten			
Orte bis NN + 1000 m	0,5	0,2	0
Orte über NN + 1000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0
Temperatureinwirkungen (nicht Brand) ^b	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen ^c	0,8	0,7	0,5
^a Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe E DIN 1055-3 ^d ψ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen. ^b Siehe E DIN 1055-7 ^c ψ -Beiwerte für Flüssigkeitsdruck sind standortbedingt festzulegen.			

7 Vergleichsberechnungen: Einfachglas

7.1 Rechteckscheibe, Einbauwinkel 0°, EG+W

Glasgeometrie:



B = 2,0 m

H = 1,0 m

d = 10 mm (Einfachglas: Floatglas)

Belastung:

EG: 0,25 kN/m²

Wind: -1,47 kN/m²

Schnee: 0,50 kN/m²

Betrachtete Lastfallkombinationen

GZT: 1,0 * EG + 1,5 * Wind

GZG: 1,0 * EG + 1,0 * Wind

Tabelle 5 zeigt den Vergleich der Ergebnisse für die maximalen Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die insgesamt 5 Lagerungsarten. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für die Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W	11,80	11,73
f-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W	27,30	27,47
g-f-g-g	1,0 EG + 1,5 W	15,30	14,66
g-f-g-f	1,0 EG + 1,5 W	14,50	14,66
f-g-f-g	1,0 EG + 1,5 W	58,00	58,65

Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	EG + W	-2,00	-2,01
f-g-g-g	EG + W	-20,85	-20,91
g-f-g-g	EG + W	-2,83	-2,72
g-f-g-f	EG + W	-2,55	-2,72
f-g-f-g	EG + W	-42,19	-43,57

Die Ergebnisse aus GLASTIK und InfoCAD zeigen eine gute Übereinstimmung der Spannungen und Verformungen. Sämtliche Abweichungen liegen in einem hinsichtlich der Modellgenauigkeiten vertretbaren Bereich. Die angegebene Lastfallkombination wurde als maßgebende Lastfallkombination von GLASTIK korrekt ermittelt.

Zusätzlich zu den Spannungen und Verformungen der maßgebenden Lastfallkombinationen sind die Bemessungswerte für den Tragwiderstand und die Verformungen zu überprüfen (Tabelle 7 und 8).

Tabelle 7: Vergleich der Bemessungswerte für die Verformungen (GZG)

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	Handrechnung u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	EG + W	10,00	10,00
f-g-g-g	EG + W	20,00	20,00
g-f-g-g	EG + W	10,00	10,00
g-f-g-f	EG + W	10,00	10,00
f-g-f-g	EG + W	20,00	20,00

Tabelle 8: Vergleich der Bemessungswerte für den Tragwiderstand (GZT)

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	Handrechnung σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W	31,5	31,50
f-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W	25,2	25,2
g-f-g-g	1,0 EG + 1,5 W	25,2	25,2
g-f-g-f	1,0 EG + 1,5 W	25,2	25,2
f-g-f-g	1,0 EG + 1,5 W	25,2	25,2

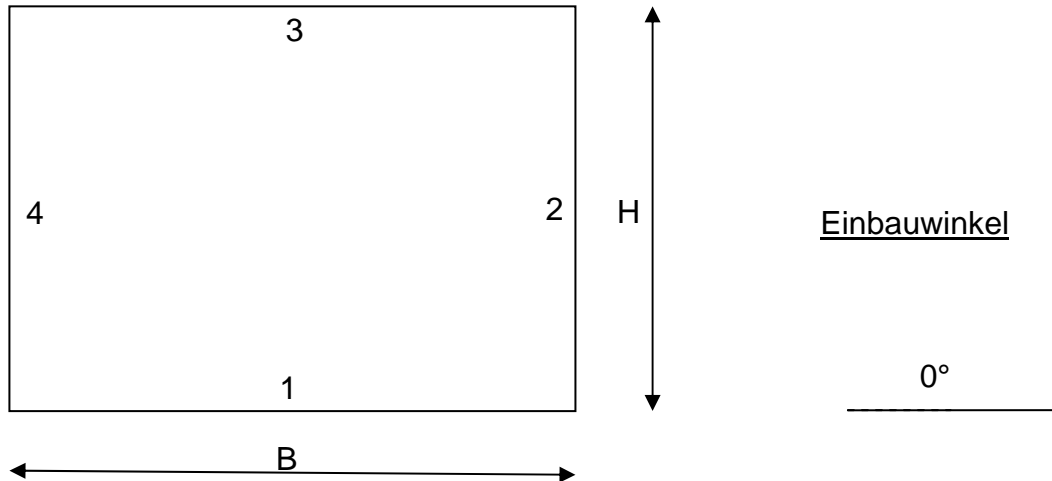
Es zeigt sich, dass die Bemessungswerte der Verformungen mit den Handrechnungen nach der Norm übereinstimmen.

Der Überprüfung des Bemessungswerts des Tragwiderstands wurde ein $f_k = 45 \text{ N/mm}^2$ zu Grunde gelegt. Der Modifikationsbeiwert wird mit 0,7 für die maßgebende Lastfallkombination korrekt angesetzt. Der Beiwert $k_c=1,8$ für alle thermisch nicht vorgespannten Gläser wird berücksichtigt (siehe [6]).

Nach DIN 18008-1 [1] 8.3.8 ist bei planmäßig unter Zugbeanspruchung stehenden Kanten von Scheiben ohne thermische Vorspannung nur 80% der charakteristischen Biegezugfestigkeit anzusetzen. Es zeigt sich, dass die Bemessungswerte des Tragwiderstands mit den Handrechnungen nach der Norm übereinstimmen.

7.2 Rechteckscheibe, Einbauwinkel 0°: EG+S+W+EL

Glasgeometrie:



$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ mm (Einfachglas: Floatglas)}$$

Belastung:

$$\text{Eigenlast: } 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Windlast: } -1,25 \text{ kN/m}^2 \text{ (Sog)}$$

$$\text{Schneelast: } 0,52 \text{ kN/m}^2$$

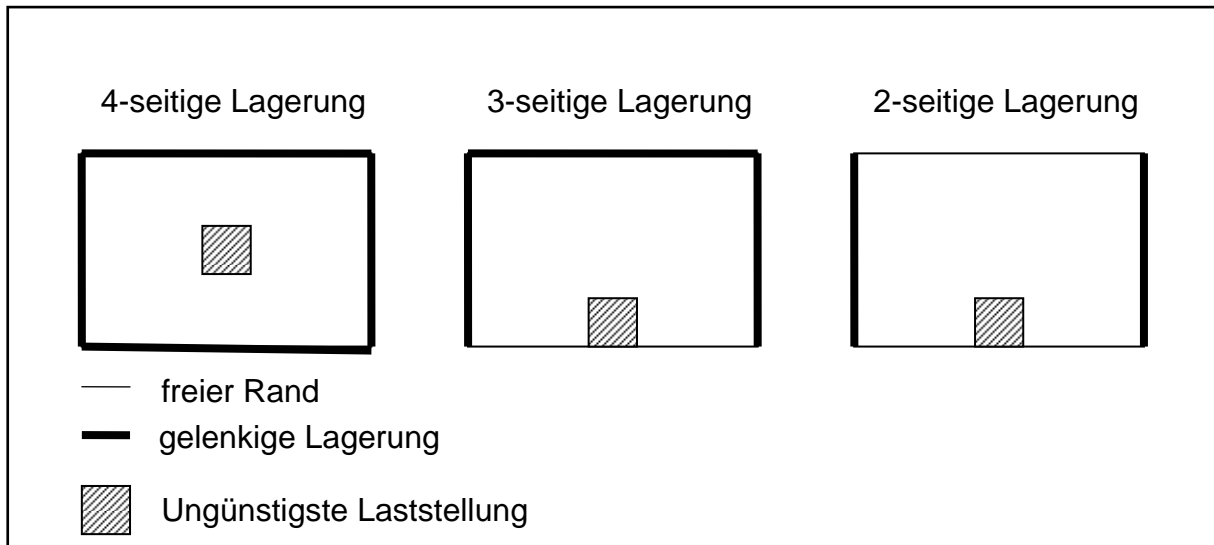
$$\text{Einzellast: } 0,5 \text{ kN}$$

Betrachtete Lastfallkombinationen

$$\text{GZT: } 1,0 * \text{EG} + 1,5 * \text{W (Sog)}; 1,5 * \text{S} + 1,35 * \text{EG}; 1,35 \text{EG} + 1,5 \text{EL}$$

$$\text{GZG: } 1,0 * \text{EG} + 1,0 * \text{S}; 1,0 * \text{EG} + 1,0 * \text{W (Sog)}; 1,0 * \text{EG} + 1,0 * \text{EL}$$

Laststellungen für die Einzellasten



Die Tabelle 9 zeigt den Vergleich der Ergebnisse für die berechneten Spannungen und die Tabelle 10 für die Verformungen. Die Einzellast wird in den Vergleichsrechnungen jeweils an der ungünstigsten Stelle aufgebracht. Die Aufstandsfläche für die Einzellast beträgt 10x10 cm.

Tabelle 9: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,35 EG + 1,5 S	6,77	6,71
g-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W (Sog)	9,85	9,75
f-g-g-g	1,35 EG + 1,5 S	15,69	15,70
f-g-g-g	1,0 EG + 1,5 W (Sog)	22,81	22,83
g-f-g-f	1,35 EG + 1,5 S	8,83	8,38
g-f-g-f	1,0 EG + 1,5 W (Sog)	12,84	12,19
g-g-g-g	1,35 EG + 1,5 EL	15,00	15,83
f-g-g-g	1,35 EG + 1,5 EL	37,20	39,43
g-f-g-g	1,35 EG + 1,5 EL	32,30	32,77
g-f-g-f	1,35 EG + 1,5 EL	32,50	32,78
f-g-f-g	1,35 EG + 1,5 EL	50,30	52,19
f-g-f-g *	1,35 EG + 1,5 EL	32,50	32,78

* Die Abmessungen B und H wurden in GLASTIK umgekehrt untersucht (B = 1m, H = 2m).



Tabelle 10: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG

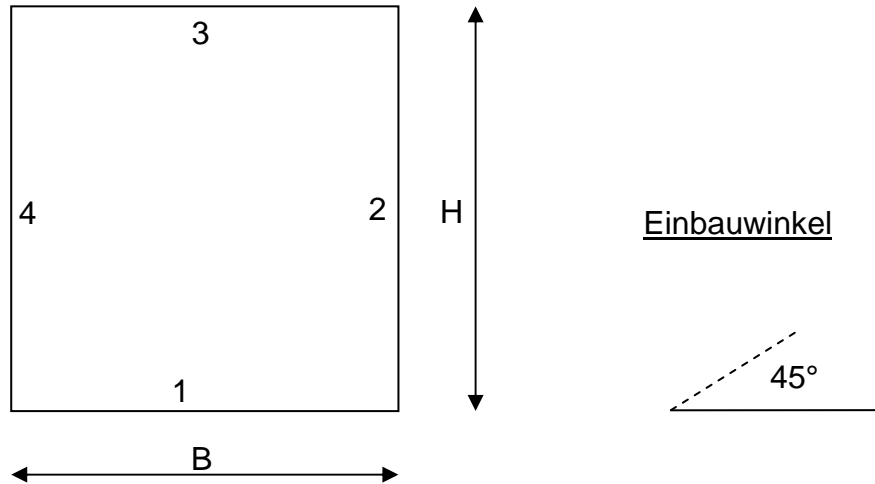
Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	EG + S	1,26	1,27
g-g-g-g	EG + W (Sog)	-1,63	-1,64
f-g-g-g	EG + S	13,20	13,20
f-g-g-g	EG + W (Sog)	-17,15	-17,14
g-f-g-f	EG + S	1,79	1,72
g-f-g-f	EG + W (Sog)	-2,32	-2,23
g-g-g-g	EG + EL	1,71	1,72
f-g-g-g	EG + EL	18,50	18,59
g-f-g-g	EG + EL	4,50	4,5
g-f-g-f	EG + EL	4,50	4,5
f-g-f-g	EG + EL	29,00	28,93
f-g-f-g *	EG + EL	4,50	4,5

* Die Abmessungen B und H wurden in GLASTIK umgekehrt untersucht (B = 1m, H = 2m).

Es zeigt sich, dass die maximalen Durchbiegungen im GZG sowie die maximalen Spannungen im GZT im Rahmen vertretbarer Toleranzen gut mit den Vergleichsrechnungen aus InfoCAD übereinstimmen.

7.3 Quadratscheibe, Einbauwinkel 45°: EG+S+W+EL

Glasgeometrie:



$B = 1,0 \text{ m}$

$H = 1,0 \text{ m}$

$d = 6 \text{ mm}$ (Einfachglas: Floatglas)

Belastung:

EG: $0,11 \text{ kN/m}^2$

Wind: $0,45 \text{ kN/m}^2$

Schnee: $0,17 \text{ kN/m}^2$

Betrachtete Lastfallkombinationen

GZT: $1,35 * EG + 1,5 * W + 0,75 * S$

GZG: $1,0 * EG + 1,0 * W + 0,5 * S$

Tabelle 11: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,35 EG + 1,5 W + 0,75 S	7,29	7,07
f-g-g-g	1,35 EG + 1,5 W + 0,75 S	17,54	17,38
g-f-g-f	1,35 EG + 1,5 W + 0,75 S	20,73	19,70

Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG

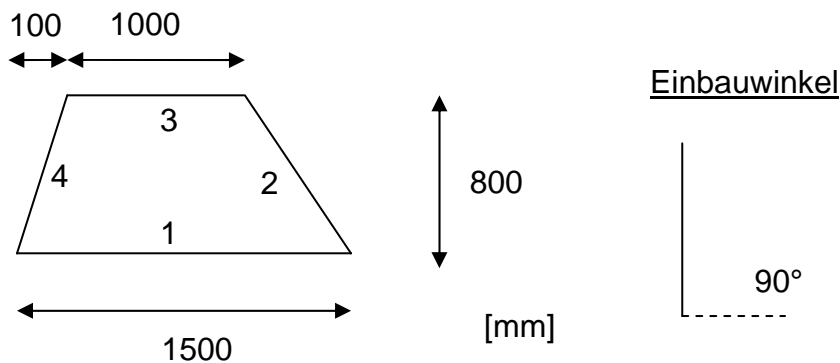
Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,0 EG + 1,0 W + 0,5 S	1,98	1,95
f-g-g-g	1,0 EG + 1,0 W + 0,5 S	5,91	5,85
g-f-g-f	1,0 EG + 1,0 W + 0,5 S	6,95	6,62

Die Ergebnisse aus GLASTIK und InfoCAD (Tabelle 11 und 12) zeigen eine gute Übereinstimmung für die Spannungen und Verformungen. Sämtliche Abweichungen liegen in einem hinsichtlich der Modellgenauigkeiten vertretbaren Bereich. Die betrachtete Lastfallkombination wurde von GLASTIK als maßgebende Kombination korrekt ermittelt.

8 Vergleichsberechnungen: Doppelglas

8.1 Trapezscheibe, Einbauwinkel 90°, EG+W

Glasgeometrie:



$$d_a = 6 \text{ mm}$$

$$d_i = 3 \text{ mm}$$

$$SZ = 20 \text{ mm}$$

Belastung:

$$\text{EG: } 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Wind: } 0,62 \text{ kN/m}^2 \text{ (Außenscheibe); } 0,08 \text{ kN/m}^2 \text{ (Innenscheibe)}$$

$$\text{Klima: } 0,27 \text{ kN/m}^2 \text{ je auf Außen- und Innenscheibe}$$

Betrachtete Lastfallkombinationen

$$\text{GZT: } 1,5 * W + 0,9 * K_{\text{Sommer}} \text{ (Außenscheibe); } 1,5 K_{\text{Sommer}} \text{ (Innenscheibe)}$$

$$\text{GZG: } 1,0 * W + 1,0 * K_{\text{Winter}} \text{ (Außenscheibe); } 1,0 K_{\text{Sommer}} \text{ (Innenscheibe)}$$

Tabelle 13: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,5 K _{Sommer} (Innenscheibe)	16,7	16,68
g-g-g-g	1,5 W + 0,9 K _{Winter} (Außenscheibe)	12,5	12,11

Tabelle 14: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG

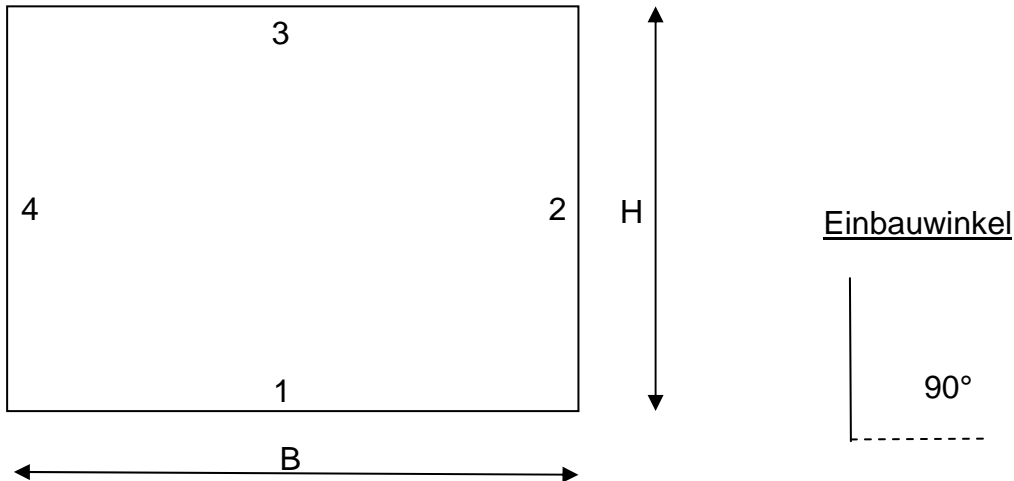
Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	1,0 K _{Sommer} (Innenscheibe)	6,44	6,44
g-g-g-g	W + K _{Winter} (Außenscheibe)	2,4	2,34

Die Ergebnisse aus GLASTIK und InfoCAD (Tabelle 13 und 14) zeigen eine gute Übereinstimmung für die Spannungen und Verformungen. Sämtliche Abweichungen liegen in einem hinsichtlich der Modellungenauigkeiten vertretbaren Bereich.

In der Ergebnisdarstellung sind die Windlasten nicht eindeutig der Innen- und Außenscheibe zugeordnet. Die Aufteilung ist bei einer Berechnung nach der TLRV-Richtlinie [5] besser dargestellt. Dies sollte vereinheitlicht werden.

8.2 Rechteckscheibe, Einbauwinkel 90°, W+K

Glasgeometrie:



$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m}$$

$$d_a = 10 \text{ mm}$$

$$d_i = 10 \text{ mm}$$

$$SZ = 20 \text{ mm}$$

Belastung:

Windsog: $0,38 \text{ kN/m}^2$ (außen); $0,29 \text{ kN/m}^2$ (innen)

Klimalast (Sommer): $-1,96 \text{ kN/m}^2$ (außen)

Klimalast (Sommer): $1,96 \text{ kN/m}^2$ (innen)

Betrachtete Lastfallkombinationen

GZT: $1, 5 * K_{\text{Sommer}}; 1,5 * K_{\text{Sommer}} + 0,9 * W$ (Sog); $1,0 W(\text{Sog}) + 0,9 * K_{\text{Sommer}}$

GZG: $K_{\text{Winter}}; K_{\text{Sommer}} + 0,6 * W$ (Sog); $1,0 * W + 0,6 * K_{\text{Sommer}}$

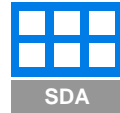
Der Vergleich der insgesamt generierten Lastfallkombinationen für den Nachweis der Tragfähigkeit ist in Tabelle 15 dargestellt. Die Kombinationen und Beiwerte sind identisch.

In der Ergebnisdarstellung sind die Windlasten nicht eindeutig der Innen- und Außenscheibe zugeordnet. Die Aufteilung ist bei einer Berechnung nach der TLRV-Richtlinie [5] besser dargestellt. Dies sollte vereinheitlicht werden.

Des Weiteren werden die Lastfaktoren nur für die Kombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit angegeben. Die Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind nicht ersichtlich und somit auch nicht überprüfbar.

Tabelle 15: Vergleich der gesamten Lastfallkombinationen für den GZT

GLASTIK	InfoCAD
$1,5 W_{\text{Druck}} + 1,5 \times 0,6 K_{\text{Sommer}}$	$1,5 W_{\text{Druck}} + 0,9 K_{\text{Sommer}}$
$1,5 W_{\text{Sog}} + 1,5 \times 0,6 K_{\text{Sommer}}$	$1,5 W_{\text{Sog}} + 0,9 K_{\text{Sommer}}$
$1,5 W_{\text{Druck}} + 1,5 \times 0,6 K_{\text{Winter}}$	$1,5 W_{\text{Druck}} + 0,9 K_{\text{Winter}}$
$1,5 W_{\text{Sog}} + 1,5 \times 0,6 K_{\text{Winter}}$	$1,5 W_{\text{Sog}} + 0,9 K_{\text{Winter}}$
$1,5 W_{\text{Sog}}$	$1,5 W_{\text{Sog}}$
$1,5 W_{\text{Druck}}$	$1,5 W_{\text{Druck}}$
$1,5 * 0,6 W_{\text{Druck}} + 1,5 K_{\text{Sommer}}$	$0,9 W_{\text{Druck}} + 1,5 K_{\text{Sommer}}$
$1,5 * 0,6 W_{\text{Sog}} + 1,5 K_{\text{Sommer}}$	$0,9 W_{\text{Sog}} + 1,5 K_{\text{Sommer}}$
$1,5 * 0,6 W_{\text{Druck}} + 1,5 K_{\text{Winter}}$	$0,9 W_{\text{Druck}} + 1,5 K_{\text{Winter}}$
$1,5 * 0,6 W_{\text{Sog}} + 1,5 K_{\text{Winter}}$	$0,9 W_{\text{Sog}} + 1,5 K_{\text{Winter}}$
$1,5 K_{\text{Sommer}}$	$1,5 K_{\text{Sommer}}$
$1,5 K_{\text{Winter}}$	$1,5 K_{\text{Winter}}$



Die Tabellen 16 bis 19 zeigen den Vergleich der Berechnungsergebnisse für ausgewählte Lastfallkombinationen getrennt für Innen- und Außenscheibe. Die Ergebnisse stimmen mit der Vergleichsberechnung gut überein.

Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT, Außenscheibe

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,5 K _{Sommer}	17,82	17,60
g-g-g-g	1,5 K _{Sommer} + 1,5 * 0,6 W (sog)	19,89	19,66
g-g-g-g	1,5 W (Sog) + 1,5 * 0,6 K _{Sommer}	14,15	13,99

Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG, Außenscheibe

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	K _{Sommer}	-3,20	-3,22
g-g-g-g	K _{Sommer} + 0,6 W (sog)	-3,82	-3,59
g-g-g-g	1,0 W (Sog) + 0,6 K _{Sommer}	-2,54	-2,56

Tabelle 18: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Spannungen σ_z [N/mm²] im GZT, Innenscheibe

Lagerung 1-2-3-4	Lastfallkombination	InfoCAD σ_z [N/mm ²]	GLASTIK σ_z [N/mm ²]
g-g-g-g	1,5 K _{Winter}	17,82	17,71
g-g-g-g	1,5 K _{Sommer} + 1,5 * 0,6 W (sog)	16,24	15,99
g-g-g-g	1,5 W (Sog) + 1,5 * 0,6 K _{Sommer}	8,06	7,87

Tabelle 19: Vergleich der Ergebnisse: Maximale Verformungen u [mm] im GZG, Innenscheibe

Lagerung 1-2-3-4	Maßgebende Lastfallkombination	InfoCAD u [mm]	GLASTIK u [mm]
g-g-g-g	K _{Winter}	-3,2	-3,24
g-g-g-g	K _{Sommer} + 0,6 W (sog)	2,73	2,92
g-g-g-g	1,0 W (Sog) + 0,6 K _{Sommer}	1,45	1,44



9 Überprüfung der Lastfallkombinationen

Im Folgenden wird eine Glasscheibe unter den Einwirkungen Eigengewicht, Schnee- und Wind betrachtet. Anhand dieser Lasten wird überprüft, ob in GLASTIK die richtigen Lastfallkombinationen gebildet werden. In Tabelle 20 sind die in GLASTIK generierten Lastfälle zusammengestellt und in Tabelle 21 sind die von InfoCAD erstellten Kombinationen aufgeführt. Die Überprüfung erfolgt für den GZT. Betrachtet wird eine vorgegebene Windlast. Dabei werden 2 Eingaben untersucht (1. Druck & kein Sog; 2, Sog & keine Druck), so dass keine Fallunterscheidung erforderlich werden. Die Zuordnung der Lasten in InfoCAD ist: L1 = EG; L2 = S; L3 = W.

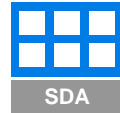
Tabelle 20: Lastfallkombinationen für den GZT in GLASTIK

GLASTIK (Lastfallkombinationen EG,S,W _{Druck})	GLASTIK (Lastfallkombinationen EG,S,W _{Sog})
1,35 EG + 1,5 W _{Druck} + 1,5*0,5 S 1,35 EG + 1,5*0,6 W _{Druck} + 1,5 S	
EG + 1,5 W _{Sog}	EG + 1,5 W _{Sog} EG + 1,5 W _{Druck}
1,35 EG + 1,5 S 1,35 EG	1,35 EG + 1,5 S 1,35 EG

Tabelle 21: Lastfallkombinationen für den GZT in InfoCAD

N..	L1	L2	L3
1	1,35		
2	1,35	1,50	0,90
3	1,35	1,50	
4	1,35	0,75	1,50
5	1,35		1,50
6	1,00		
7	1,00	1,50	0,90
8	1,00	1,50	
9	1,00	0,75	1,50
10	1,00		1,50

In InfoCAD werden 10 Kombinationen berücksichtigt, in GLASTIK nur eine Auswahl von Kombinationen. Für das hier untersuchte Beispiel mit den Lasten EG, S und Wind (Druck bzw. Sog) werden die als möglicher ungünstigster Lastfall in Frage kommenden Lastfallkombinationen, sowie einige weitere aufgelistet. Bei der Berechnung mit EG, S und W_{Druck} (kein W_{Sog}), wird der Lastfall 1,0 EG unter der



Anzeige $EG + 1,5 W_{Sog}$ berechnet. Da keine Eingabe Windsog erfolgte, rechnet das Programm somit korrekt.

Bei der Eingabe EG, S und W_{Sog} (kein W_{Druck}) wird für die angezeigte Lastfallkombination $EG + 1,5 W_{Druck}$ ebenfalls die korrekte Berechnung mit $1,0 EG$ durchgeführt.

10 Zusammenfassung

In der vorliegenden Stellungnahme erfolgte die Prüfung des Berechnungsprogramms GLASTIK 5.0 – Standard (Version 5.0.0.16) mit Stand vom 02.12.2011 durch Vergleichsrechnungen mit dem FE-Programm InfoCAD. Die Überprüfung erfolgte nach DIN 18008 [1], [2] stichprobenartig anhand von ausgesuchten Beispielrechnungen für verschiedene Lastfallkombinationen.

Die durchgeführten stichprobenartigen Vergleichsrechnungen ergaben, dass die Ergebnisse von GLASTIK, in den untersuchten Beispielen, gut mit den durchgeführten Kontrollrechnungen übereinstimmen.

Bei der Überprüfung der Lastfallkombinationen wurden die maßgebenden Lastfallkombinationen für die untersuchten Beispiel mit den Lasten Eigengewicht, Schnee und Wind ermittelt. Eine Überprüfung weiterer Lastfälle und Lastfallkombinationen ist nicht Gegenstand des Gutachtens.

Vorbehaltlich kleinerer Auffälligkeiten in der Programmbedienung, deren Behebung zugesagt wurde, konnte der Programmtest im Rahmen der dokumentierten stichprobenartigen Vergleichsrechnungen erfolgreich abgeschlossen werden.

Herzogenrath, 02.12.2011

Dr.-Ing. C. Butenweg

Dipl.-Ing. D. Schmitt