



Fassung
November 2018

Zusatzmodul

RF-GLAS

Berechnung und Bemessung von
Glasflächen

Programmbeschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der DLUBAL SOFTWARE GMBH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.



© **Dlubal Software GmbH 2018**
Am Zellweg 2
93464 Tiefenbach
Deutschland

Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51
E-mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.de



Inhalt

	Inhalt	Seite
1.	Einleitung	3
1.1	Zusatzmodul RF-GLAS	3
1.2	Gebrauch des Handbuchs	3
1.3	Aufruf von RF-GLAS	4
2.	Theorie	5
2.1	Formelzeichen	5
2.2	Glasstrukturtypen	6
2.2.1	Einscheibenglas	6
2.2.2	Verbundglas	6
2.2.3	Isolierglas	7
2.3	Steifigkeitsmatrix	9
2.3.1	2D-Berechnung mit Schubverbund zwischen Schichten	9
2.3.2	3D-Berechnung	11
2.3.3	2D-Berechnung ohne Schubverbund zwischen Schichten	12
3.	Eingabedaten	14
3.1	Basisangaben	14
3.1.1	Tragfähigkeit	15
3.1.2	Gebrauchstauglichkeit	17
3.1.3	Norm	18
3.2	Schichten	20
3.3	Linienlager	25
3.4	Knotenlager	30
3.5	Randstäbe	35
3.6	Klimalasten-Parameter	36
3.6.1	Klimatische Lastparameter - Sommer	37
3.6.2	Klimatische Lastparameter - Winter	38
3.7	Isolierglas	39
3.8	Lasteinwirkungsdauer	41
3.9	Gebrauchstauglichkeitsparameter	42
4.	Berechnung	45
4.1	Detaileinstellungen	46
4.1.1	Spannungen	47
4.1.2	Ergebnisse	52
4.2	Details für Schichtenaufbau	53
4.3	Start der Berechnung	55
5.	Ergebnisse	56
5.1	Max. Spannung/Ausnutzung belastungsweise	57
5.2	Max. Spannung/Ausnutzung flächenweise	61
5.3	Max. Spannung/Ausnutzung schichtenaufbauweise	61
5.4	Spannungen punktweise	62
5.5	Linienlagerreaktionen	63
5.6	Knotenlagerreaktionen	65
5.7	Max. Verschiebungen	66
5.8	Gasdruck	67
5.9	Stückliste	68
6.	Ausdruck	70



6.1	Ausdruckprotokoll	70
6.2	Grafikausdruck	71
6.2.1	Ergebnisse am RFEM-Modell	71
6.2.2	Ergebnisse in Schichten	72
7.	Allgemeine Funktionen	74
7.1	Einheiten und Dezimalstellen	74
7.2	Datenexport	75
7.3	RF-GLAS und RFEM	77
8.	Beispiele	79
8.1	Steifigkeitsmatrix einer Verbundglasscheibe	79
8.1.1	Steifigkeitsmatrixelemente der Schichten	79
8.1.2	Gesamtsteifigkeitsmatrix	80
8.2	Verformungen einer Isolierglasscheibe	84
8.2.1	Geometrie und Klimlasten	84
8.2.2	RFEM-Modell	85
8.2.3	Berechnung mit RF-GLAS	86
8.2.4	Berechnung	91
8.2.5	Kontrolle mit RFEM	92
8.3	Verformungen einer Isolierglasscheibe nach TRLV	97
8.3.1	RFEM-Modell	97
8.3.2	Berechnung mit RF-GLAS	97
8.3.3	Kontrolle mit RFEM	100
A.	Literatur	103
B.	Index	104

1 Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-GLAS

Das Zusatzmodul RF-GLAS der DLUBAL SOFTWARE GMBH berechnet Verformungen und Spannungen von Glasflächen. Es ermöglicht die Modellierung und Berechnung verschiedener Glastypen wie Einscheiben-, Verbundscheiben- und Isolierverglasungen. Optional kann der Schubverbund zwischen den Schichten berücksichtigt werden.

Für die Modellierung steht eine umfangreiche Materialbibliothek mit den gängigen Glassorten, Folien und Gasen zur Verfügung. Diese Bibliothek enthält die wesentlichen Materialparameter nach E DIN EN 13474, DIN 18008-1:2010-12, den technischen Regeln TRLV:2006-08 sowie DIBt-Zulassung. Daneben besteht die Möglichkeit, weitere Materialien in die Bibliothek aufzunehmen.

Bei Isolierverglasung werden in der Berechnung nicht nur äußere Lasten berücksichtigt, sondern auch Änderungen von Temperatur, atmosphärischem Druck und Höhenlage mit ihrer Wirkung auf die eingeschlossene Gasschicht. Zusätzlich steht eine vereinfachte Berechnungsmethode nach Anhang A der DIN 18008-1:2010-12 oder TRLV:2006-08 zur Verfügung.

Dieses Handbuch enthält alle wichtigen Informationen für Ihre Arbeit mit RF-GLAS. Am Ende des Handbuchs finden Sie einige Beispiele für Glasberechnungen.

RF-GLAS ist wie andere Module vollständig in die Benutzeroberfläche von RFEM integriert. Es erscheint damit als Bestandteil des Hauptprogramms. Das Konzept des Zusatzmoduls RF-GLAS mit seinen intuitiv bedienbaren Tabellen und Dialogfenstern ermöglicht ein komfortables Arbeiten. Die Ergebnisse der Glasberechnung einschließlich grafischer Darstellung können auch in das Ausdruckprotokoll von RFEM übergeben werden. Damit ist ein reibungsloser und übersichtlich dargestellter Nachweis sichergestellt.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-GLAS.

Ihr DLUBAL-Team

1.2 Gebrauch des Handbuchs

Da die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck im RFEM-Handbuch ausführlich erläutert sind, wird hier auf eine Beschreibung verzichtet. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Zusatzmodul RF-GLAS ergeben.



Das Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnis-masken. Im Text sind die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Ansichtsmodus]. Zugleich sind sie am linken Rand abgebildet. Die Begriffe, die in Dialogen, Tabellen und Menüs erscheinen, sind in *Kursivschrift* hervorgehoben, damit die Erläuterungen gut nachvollzogen werden können.

Am Ende des Handbuchs befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie dennoch nicht fündig werden, können Sie auch die Suchfunktion für die [Knowledge Base](#) auf unserer Website nutzen, um unter den Beiträgen zum Modul RF-GLAS eine Lösung zu finden. Die [FAQs](#) bieten ebenfalls eine Reihe an Hilfestellungen.



Auf unserer Website finden Sie ein [Webinar](#), in dem die Bemessung punktgestützter Glasscheiben mit RF-GLAS vorgestellt wird.

1.3 Aufruf von RF-GLAS

In RFEM bestehen verschiedene Möglichkeiten, das Zusatzmodul RF-GLAS zu starten.

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → **Sonstige** → **RF-GLAS**.

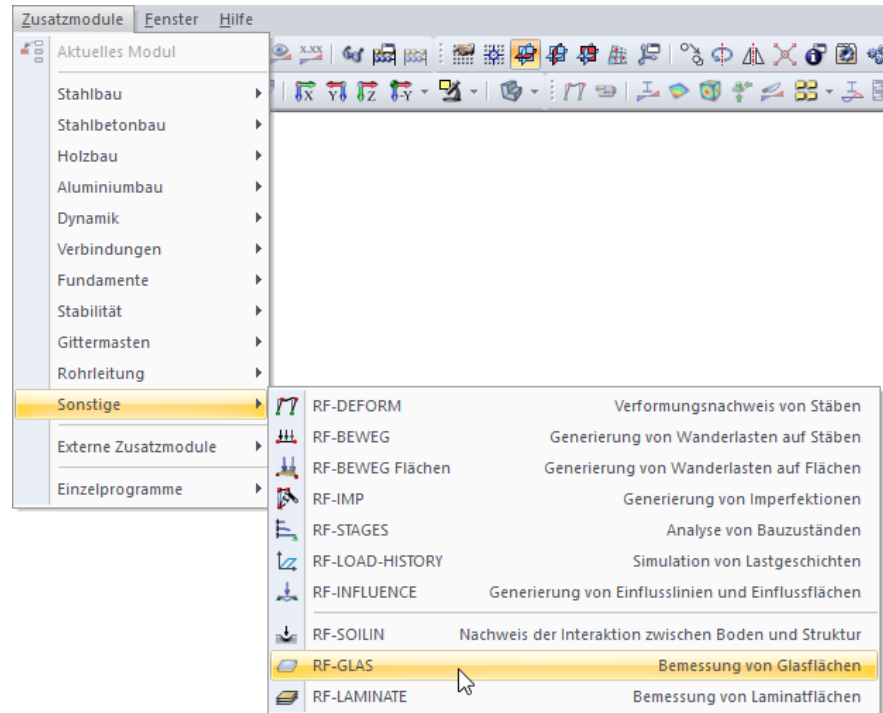


Bild 1.1: Menü Zusatzmodule → Sonstige → RF-GLAS

Navigator

RF-GLAS kann im Daten-Navigator aufgerufen werden über den Eintrag

Zusatzmodule → **RF-GLAS**.

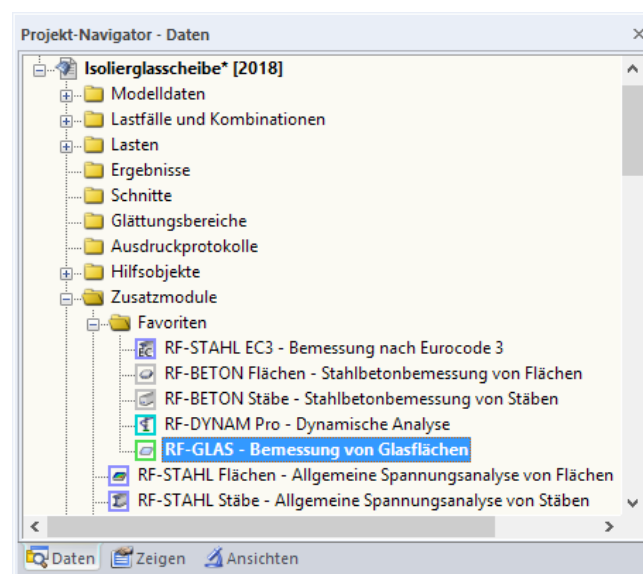


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-GLAS

2 Theorie

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen des Moduls RF-GLAS vorgestellt.

2.1 Formelzeichen

In den Gleichungen werden folgende Formelzeichen verwendet:

t	Dicke der einzelnen Schichten [m]
E	Elastizitätsmodul [Pa]
G	Schubmodul [Pa]
ν	Querdehnzahl [–]
γ	spezifisches Gewicht [N/mm ³]
α_T	Wärmedehnzahl [1/K]
α_{grenz}	Grenzspannung [Pa]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
d_{ij}	Elemente der Teilsteifigkeitsmatrix [Pa]
D_{ij}	Elemente der Gesamtsteifigkeitsmatrix [Nm]
σ_x, σ_y	Normalspannungen [Pa]
$\tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}$	Schubspannungen [Pa]
n	Anzahl der Schichten [–]
z	Koordinate der Flächenachse z [m]
T	Temperatur [K]
p	Druck [Pa]
H	Höhenlage [m]
V	Volumen [m ³]
m_x	Biegemoment, das Spannungen in Richtung der x-Achse erzeugt [Nm/m]
m_y	Biegemoment, das Spannungen in Richtung der y-Achse erzeugt [Nm/m]
m_{xy}	Drillmoment [Nm/m]
v_x, v_y	Querkraft [N/m]
n_x	Normalkraft in Richtung der x-Achse [N/m]
n_y	Normalkraft in Richtung der y-Achse [N/m]
n_{xy}	Schubfluss [N/m]

Tabelle 2.1: Formelzeichen

2.2 Glasstrukturtypen

Bei Glasstrukturen ist zwischen Einscheiben-, Verbund- und Isolierverglasung zu unterscheiden. Die Besonderheiten der Modellierung ist nachfolgend beschrieben.

2.2.1 Einscheibenglas

Einscheibenverglasung stellt den einfachsten Fall dar. Sie kann modelliert werden durch eine

- 2D-Berechnung (Plattentheorie) oder
- 3D-Berechnung (Modellierung mit Volumenkörpern).

Die Berechnung nach der Plattentheorie stößt bei Platten mit extremer Dicke an ihre Grenzen. In diesem Fall muss mit Volumenkörpern modelliert werden. Ein Näherungskriterium für eine gültige Berechnung nach Plattentheorie ergibt sich durch das Verhältnis $t/\ell \leq 0,05$, mit t als Plattendicke und ℓ als Länge der Plattenseite (bzw. charakteristische Abmessung des Modells).

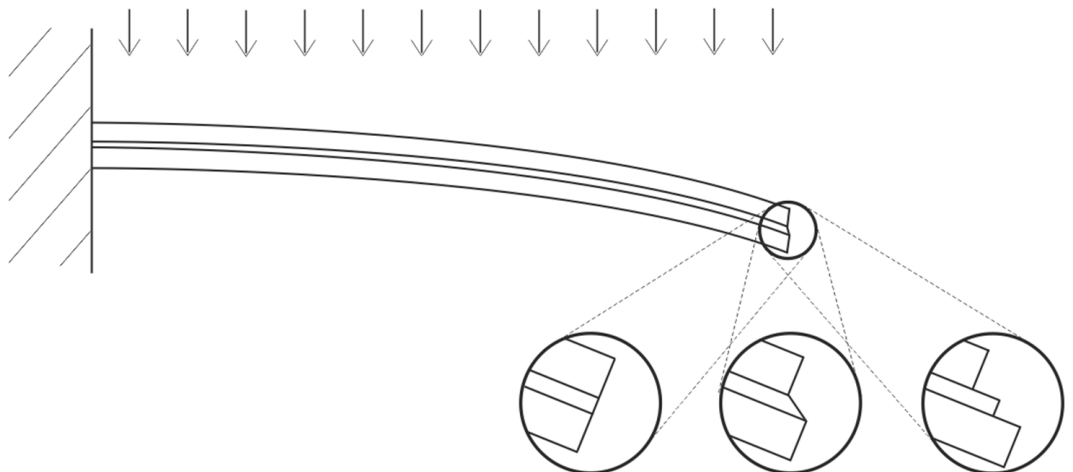
2.2.2 Verbundglas


Verbundglas besteht aus mindestens zwei Glasscheiben, die durch eine Zwischenschicht verbunden sind, die in den meisten Fällen aus Folie bzw. Gießharz besteht.

Verbundglas kann modelliert werden durch eine

- 2D-Berechnung mit Schubverbund zwischen den Schichten (Plattentheorie),
- 3D-Berechnung (Modellierung mit Volumenkörpern) oder
- 2D-Berechnung ohne Schubverbund zwischen den Schichten (Plattentheorie).

Die drei Möglichkeiten sind in [Bild 2.1](#) dargestellt.



 Bild 2.1: Biegebeanspruchtes Verbundglas nach Plattentheorie mit Schubverbund (links), 3D-Modellierung (Mitte) und Plattentheorie ohne Schubverbund (rechts)

2D-Berechnung mit Schubverbund

Die aus dem Schichtenaufbau berechnete Steifigkeit wird einer oder mehreren Flächen zugewiesen. Die Flächen werden mithilfe der gängigen Flächenelemente modelliert.

3D-Berechnung

Die Folie zwischen den einzelnen Glasscheiben ist in der Regel wesentlich dünner als das Glas. Das Produkt aus Foliendicke und Schubmodul $t \cdot G$ ist etwa um drei bis sieben Dezimalstellen kleiner als das Produkt aus Glasdicke und Schubmodul des Glases. Dies bedeutet, dass es zu einer deutlichen Schubverzerrung in Glas und Folie kommt (siehe Bild 2.2). Eine Berechnung nach 2D-Plattentheorie würde zu falschen Ergebnissen führen. In diesem Fall empfiehlt sich eine 3D-Berechnung, die zu genauen Ergebnissen führt, aber zeitaufwendiger ist.

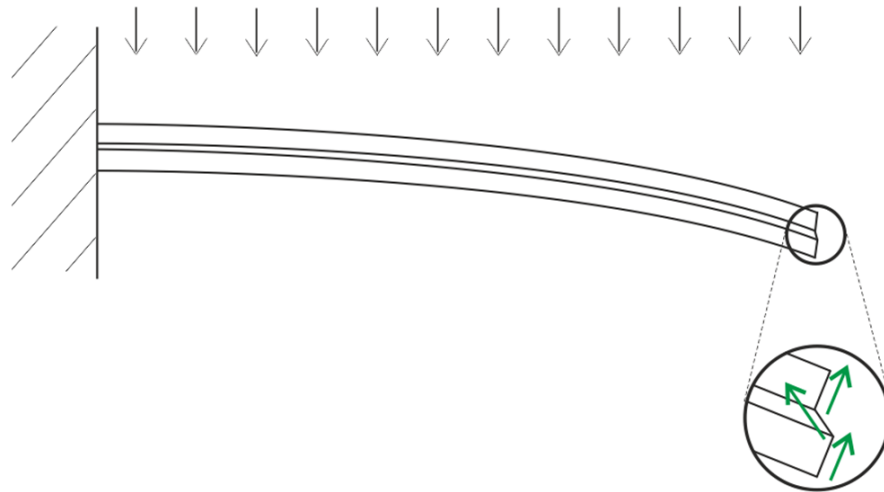


Bild 2.2: Schubverzerrung bei Verbundglas (3D-Modellierung)

2D-Berechnung ohne Schubverbund

Es ist auch möglich, die Berechnung nach 2D-Plattentheorie ohne Schubverbund zwischen den Schichten durchzuführen. Die Glasscheiben „gleiten“ dann übereinander. Diese Berechnungsvariante wird für Dauerlasten empfohlen, bei denen die Schubtragfähigkeit einer verbindenden Folie nicht berücksichtigt werden sollte, weil deren Eigenschaften von der Lastdauer und Temperatur abhängen.

2.2.3 Isolierglas

Dieser Glastype wird stets nach Theorie III. Ordnung (große Verformungen) unter Anwendung des Newton-Raphson-Verfahrens berechnet.

Isolierverglasung besteht aus einzelnen Glasplatten, Gasschicht, Abstandhalter sowie Primär- und Sekundärdichtung. Diese Komponenten sind wesentlich für das Gesamtverhalten der Verglasung. Neben dem Verbund von einzelnen Schichten lassen sich in RF-GLAS auch die Eigenschaften der Sekundärdichtung und die Parameter der Klimalasten definieren.

Bei Isolierglas verläuft die Berechnung in 3D. Daher werden alle Schichten über Volumen modelliert. Eine Schicht des Typs Gas wird mit einem speziell auf diese Berechnung abgestimmten Volumenelementtyp modelliert. In der Berechnung wird dann das ideale Gasgesetz berücksichtigt.

Das Isolierglas wird bei der Temperatur T_p , dem Druck p_p und mit dem Anfangsgasvolumen V_0 (einer bestimmten Zwischenschicht) hergestellt (siehe Bild 2.3).

Eine Last infolge einer Temperaturänderung wird in eine Änderung des Umgebungsdrucks p_{out} mithilfe des Koeffizienten c_1 umgewandelt. Der Umgebungsdruck p_{out} umfasst die atmosphärische Druckänderung umgerechnet auf den Meeresspiegel Δp_{met} , den Einfluss der Gaserwärmung Δ_T und die höhenlagenbedingte Druckänderung Δ_H .

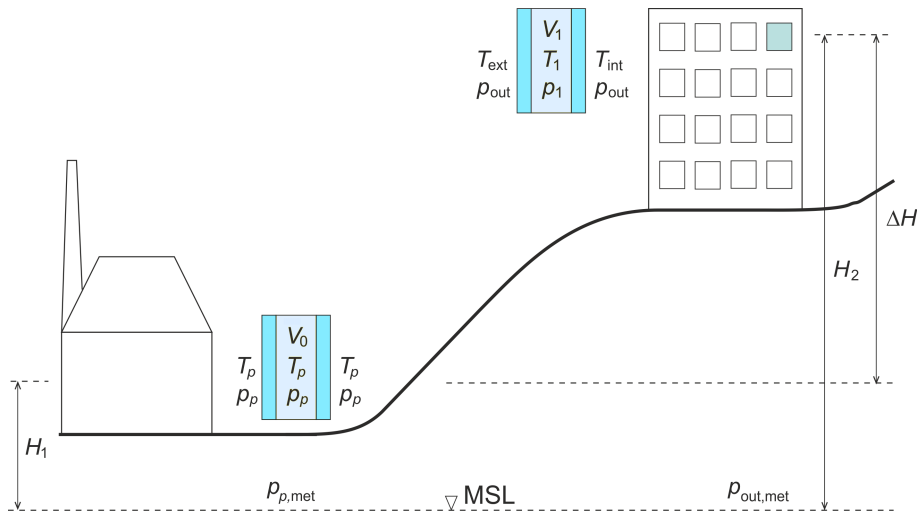


Bild 2.3: Klimastandards für Herstellung (links) und Nutzung (rechts)
MSL = Höhe über mittlerem Meeresspiegel

Die Parameter werden wie folgt ermittelt:

$$p_{\text{out}} = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_1 \Delta T - c_2 \Delta H \quad (2.1)$$

$$\Delta p_{\text{met}} = p_{\text{out,met}} - p_{p,\text{met}} \quad (2.2)$$

$$\Delta T = T_1 - T_p \quad (2.3)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (2.4)$$

mit

$$c_1 = \frac{p_p}{T_p} \text{ [Pa/K]} \quad (2.5)$$

$$c_2 = 12 \text{ [Pa/m]} \quad (2.6)$$

Das Ergebnis erfüllt zudem die Gleichgewichtsbedingung

$$p_p V_0 = p_1 V_1 \quad (2.7)$$

H_1	Höhenlage bei Herstellung
H_2	Höhenlage bei Nutzung
ΔH	Höhenunterschied $H_2 - H_1$
T_p	Temperatur bei Herstellung
T_{ext}	Temperatur auf der äußeren Glasseite (Nutzung)
T_{int}	Temperatur auf der inneren Glasseite (Nutzung)
T_1	Gastemperatur (Nutzung)
$p_{p,\text{met}}$	atmosphärischer Druck auf Höhe des Meeresspiegels (Herstellung)
$p_{\text{out,met}}$	atmosphärischer Druck auf Höhe des Meeresspiegels (Nutzung)
p_p	Druck bei Herstellung
p_{out}	Umgebungsdruck bei Nutzung
p_1	Gasdruck bei Nutzung
V_0	Anfangsvolumen des Gases
V_1	Endvolumen des Gases

Tabelle 2.2: Formelzeichen für Isolierglas

2.3 Steifigkeitsmatrix

Als isotropes Material wird Glas definiert durch den Elastizitätsmodul E , den Schubmodul G und die Querdehnzahl ν . Es besteht folgender Zusammenhang:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (2.8)$$

2.3.1 2D-Berechnung mit Schubverbund zwischen Schichten

Es wird eine Platte bestehend aus n isotropen Materialschichten betrachtet. Jede Schicht hat die Dicke t_i und eine minimale und maximale z -Koordinate $z_{i,\min}$ und $z_{i,\max}$.

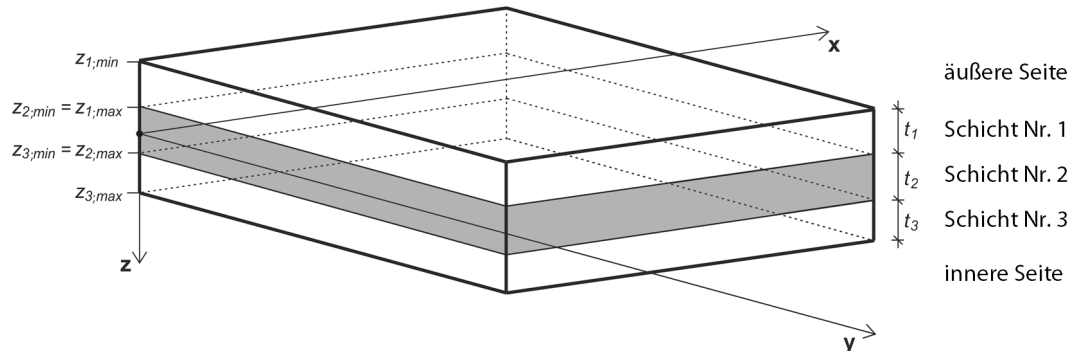


Bild 2.4: Schichtenaufbau

Mit Berücksichtigung des Schubverbundes zwischen den Schichten ist die Steifigkeitsmatrix \mathbf{d}_i wie folgt definiert:

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i,11} & d_{i,12} & 0 \\ \text{sym.} & d_{i,22} & 0 \\ & & d_{i,33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_i}{1 - \nu_i^2} & \frac{\nu_i E_i}{1 - \nu_i^2} & 0 \\ & \frac{E_i}{1 - \nu_i^2} & 0 \\ \text{sym.} & & G_i \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

mit

$$G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)}$$

Die Gesamtsteifigkeitsmatrix lautet:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & \text{sym.} & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

- Biegung und Torsion
- Schub
- Membran
- Exzentrizität

Steifigkeitsmatrixelemente Biegung und Torsion [Nm]

$$\begin{aligned}
 D_{11} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;11} & D_{12} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;12} \\
 D_{22} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;22} & D_{33} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Steifigkeitsmatrixelemente Exzentrizitätseinwirkung [Nm/m]

$$\begin{aligned}
 D_{16} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;11} & D_{17} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;12} & D_{18} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;13} \\
 D_{27} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;22} & D_{28} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;23} \\
 D_{38} &= \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Steifigkeitsmatrixelemente Membran [N/m]

$$\begin{aligned}
 D_{66} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11} & D_{67} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12} \\
 D_{77} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22} & D_{88} &= \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}
 \end{aligned}$$

Steifigkeitsmatrixelemente Schub [N/m]

$$D_{44} = \max \left(D_{44,\text{calc}}, \frac{48}{5 \ell^2} \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n E_i \frac{t_i^3}{12} - \frac{1}{\sum_{i=1}^n E_i \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3}}} } \right)$$

$$D_{55} = \max \left(D_{55,\text{calc}}, \frac{48}{5 \ell^2} \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n E_i \frac{t_i^3}{12} - \frac{1}{\sum_{i=1}^n E_i \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3}}} } \right)$$

mit

 ℓ : mittlere Länge der Linien, die die Fläche „umschnüren“

$$D_{44,\text{calc}} = \frac{1}{\int_{-t/2}^{t/2} \frac{1}{G(z)} \left(\frac{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) (\bar{z} - z_0) d\bar{z}}{z} \right)^2 dz}, \quad z_0 = \frac{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) \bar{z} d\bar{z}}{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) d\bar{z}}$$

$$D_{55,\text{calc}} = \frac{1}{\int_{-t/2}^{t/2} \frac{1}{G(z)} \left(\frac{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) (\bar{z} - z_0) d\bar{z}}{z} \right)^2 dz}, \quad z_0 = \frac{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) \bar{z} d\bar{z}}{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) d\bar{z}}$$

2.3.2 3D-Berechnung

Bei einer Modellierung mit Volumenelementen wird folgende Steifigkeitsmatrix verwendet:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & \frac{1}{G} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

mit

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

2.3.3 2D-Berechnung ohne Schubverbund zwischen Schichten

Es wird eine Platte bestehend aus n isotropen Materialschichten betrachtet, zwischen denen keine schubsteife Verbindung besteht. Jede Schicht hat die Dicke t_i und eine minimale und maximale z-Koordinate $z_{i;\min}$ und $z_{i;\max}$.

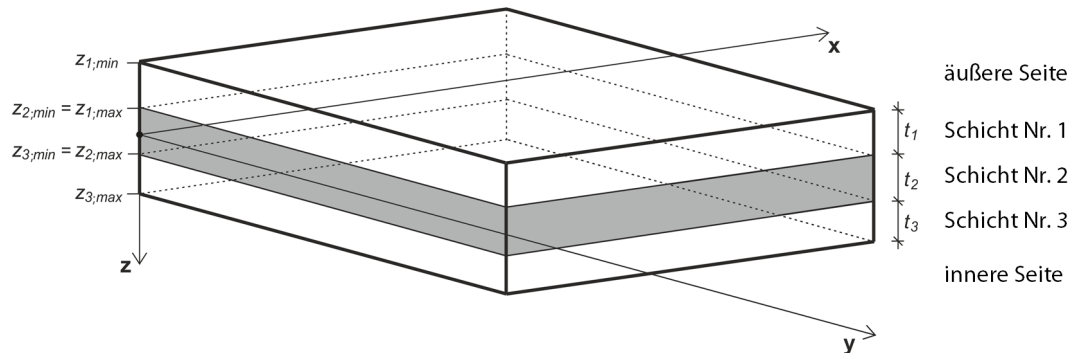


Bild 2.5: Schichtenaufbau

Ohne Schubverbund zwischen den Schichten ist die Steifigkeitsmatrix \mathbf{d}_i wie folgt definiert:

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i;11} & d_{i;12} & 0 \\ & d_{i;22} & 0 \\ \text{sym.} & & d_{i;33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & \frac{\nu_i E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ & \frac{E_i}{1-\nu_i^2} & 0 \\ \text{sym.} & & G_i \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

mit

$$G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)}$$

Die Gesamtsteifigkeitsmatrix lautet:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & 0 \\ & & & & & & D_{77} & 0 \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

- Biegung und Torsion
- Schub
- Membran

Steifigkeitsmatrixelemente Biegung und Torsion [Nm]

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;11}$$

$$D_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;12}$$

$$D_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;22}$$

$$D_{33} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^3}{12} d_{i;33}$$

Steifigkeitsmatrixelemente Membran [N/m]

$$D_{66} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11}$$

$$D_{67} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12}$$

$$D_{77} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22}$$

$$D_{88} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}$$

Steifigkeitsmatrixelemente Schub [N/m]

$$D_{44} = \sum_{i=1}^n \frac{5}{6} G_{i;11} t_i$$

$$D_{55} = \sum_{i=1}^n \frac{5}{6} G_{i;22} t_i$$

3 Eingabedaten

Nach dem Aufruf des Zusatzmoduls erscheint ein neues Fenster. Links wird ein Navigator angezeigt, der die verfügbaren Masken verwaltet. Die bemessungsrelevanten Daten sind in mehreren Eingabemasken zu definieren.

Beim ersten Aufruf von RF-GLAS werden folgende Parameter automatisch eingelesen:

- Flächen
- Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen
- Schnittgrößen (im Hintergrund – sofern berechnet)



Eine Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator aufrufen. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] (vorwärts) und [F3] (rückwärts) möglich.



[OK] sichert die Eingaben. RF-GLAS wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm. [Abbrechen] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

3.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Flächen und Einwirkungen auszuwählen sowie die Norm festzulegen.

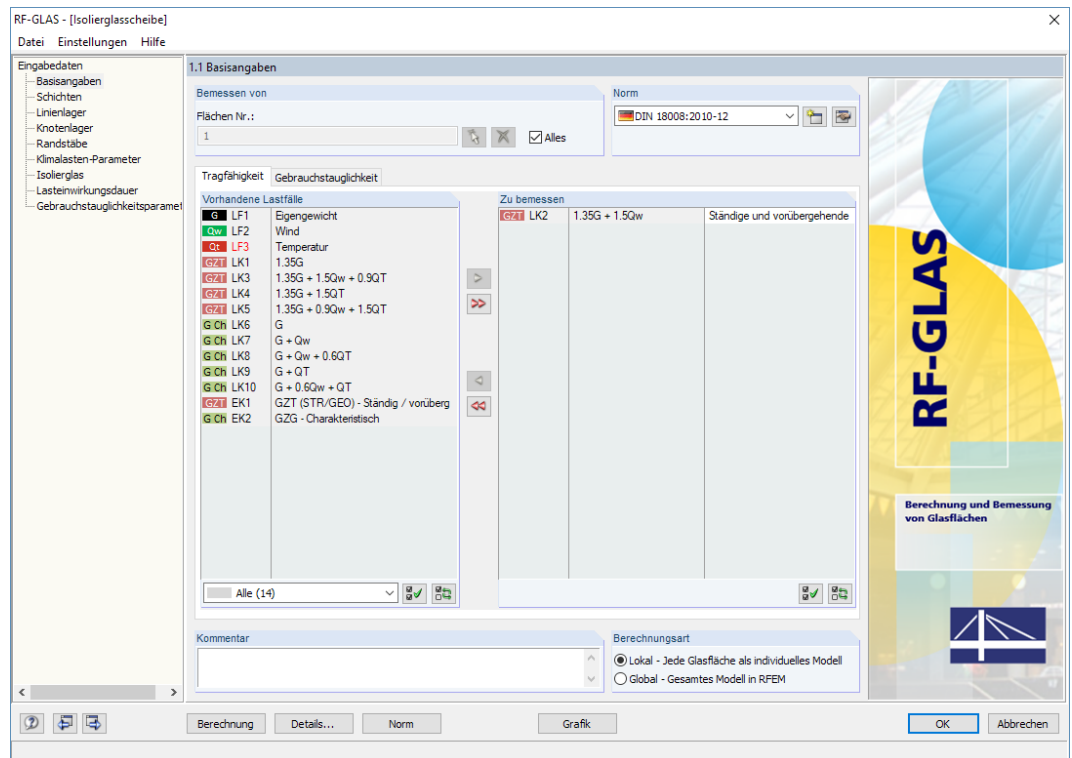


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Die beiden Register verwalten die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen für die Nachweise der *Tragfähigkeit* und *Gebrauchstauglichkeit*.

Bemessen von

Dieser Abschnitt verwaltet die Flächen, die untersucht werden sollen. Falls nur bestimmte Flächen untersucht werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alles* zu deaktivieren. Damit wird das Eingabefeld zugänglich, sodass die Nummern der relevanten Flächen eingetragen werden können.

Die Schaltfläche leert die Liste der voreingestellten Nummern. Über die Schaltfläche lassen sich die Flächen grafisch im Arbeitsfenster von RFEM festlegen.

Norm

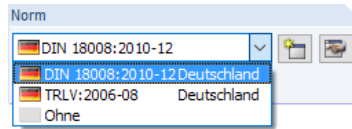


Bild 3.2: Auswahl der Norm

Über die Auswahlliste ist die Norm festzulegen, deren Parameter für die Nachweise und die Grenzwerte der Verformung gelten sollen.



Die Schaltfläche [Bearbeiten] öffnet einen Dialog, in dem die Parameter der ausgewählten Norm überprüft und ggf. angepasst werden können. Dieser Dialog ist im [Kapitel 3.1.3](#) beschrieben.

Kommentar

Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, um z. B. die Parameter der Analyse zu erläutern.

Berechnungsart

Es stehen zwei Berechnungsarten zur Auswahl. Erfolgt die Berechnung *Lokal*, wird jede Scheibe als individuelles Modell herausgelöst und separat im Hintergrund berechnet. Hierzu müssen der Schichtenaufbau, die Art der Lagerung und die Berechnungstheorie in RF-GLAS definiert werden. Erfolgt die Berechnung *Global*, muss nur der Schichtenaufbau in RF-GLAS festgelegt werden. Die weiteren Randbedingungen werden aus dem RFEM-Modell verwendet. Diese Berechnungsart ist auf Einzel- oder Verbundglasscheiben beschränkt.

Weitere Hinweise zur Berechnungsart finden Sie in der [Knowledge Base](#) auf unserer Website.

Berechnungsart

- Lokal - Jede Glasfläche als individuelles Modell
- Global - Gesamtes Modell in RFEM

3.1.1 Tragfähigkeit

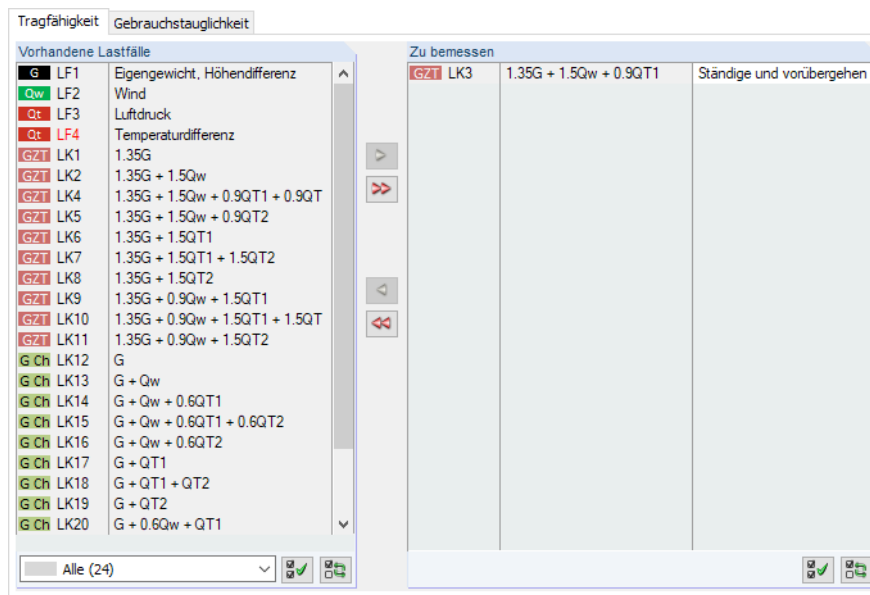


Bild 3.3: Maske 1.1 Basisangaben, Register Tragfähigkeit

Vorhandene Lastfälle und Kombinationen

In dieser Spalte sind alle Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.

Mit der Schaltfläche lassen sich selektierte Einträge in die Liste *Zu Bemessen* nach rechts übertragen. Die Übergabe kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche übergibt die komplette Liste nach rechts.

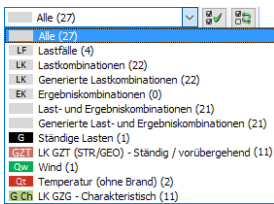
Die Mehrfachauswahl von Lastfällen ist – wie in Windows üblich – mit gedrückter [Strg]-Taste möglich. So lassen sich mehrere Lastfälle gleichzeitig übertragen.

Falls die Nummer eines Lastfalls rot dargestellt ist wie z. B. LF 4 im [Bild 3.3](#), so kann dieser nicht bemessen werden: Hier handelt es sich um einen Lastfall ohne Lastdaten oder mit unzulässigen Lastvorgaben für RF-GLAS wie z. B. thermische Lasten für Isolierglas. Diese sind gesondert in Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter* zu definieren (siehe [Kapitel 3.6, Seite 36](#)).



Die Berechnung von Isolierglas erfolgt stets nach Theorie III. Ordnung (große Verformungen). In diesem Fall können keine Ergebniskombinationen untersucht werden.

Am Ende der Liste sind mehrere Filteroptionen verfügbar. Sie erleichtern es, die Einträge nach Lastfällen, Kombinationen oder Einwirkungskategorien geordnet zuzuweisen. Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Alle Lastfälle in der Liste werden selektiert.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.

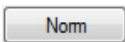
Tabelle 3.1: Schaltflächen im Register *Tragfähigkeit*

Zu bemessen

In der rechten Spalte werden die zur Bemessung gewählten Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet. Mit oder per Doppelklick lassen sich selektierte Einträge wieder aus der Liste entfernen. Die Schaltfläche leert die ganze Liste.

Die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen können folgenden Bemessungssituationen zugewiesen werden:

- *Ständig und vorübergehend*
- *Außergewöhnlich*



Diese Einteilung steuert den Teilsicherheitsbeiwert γ_M der Materialeigenschaften, die in die Ermittlung der Beanspruchbarkeiten R_d einfließen. Die Beiwerte können im Dialog *Norm* überprüft werden (siehe [Bild 3.7](#)), der über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist.

Die Bemessungssituation kann über die Liste geändert werden, die mit der Schaltfläche am Ende des Eingabefeldes aufrufbar ist.

Zu bemessen			
	LK3	1.35G + 1.5Qw + 0.9QT1	Ständige und vorübergehende
	LK5	1.35G + 1.5Qw + 0.9QT2	Ständige und vorübergehende
	LK9	1.35G + 0.9Qw + 1.5QT1	Ständige und vorübergehende
			Außergewöhnlich

Bild 3.4: Bemessungssituation zuweisen

Auch hier ist eine Mehrfachauswahl mit gedrückter [Strg]-Taste möglich, sodass mehrere Einträge gleichzeitig geändert werden können.



In der [Knowledge Base](#) auf unserer Website ist beschrieben, wie die RFEM-Kombinatorik nach DIN 1055-100 [1] für die Generierung von Lastkombinationen genutzt werden kann.

3.1.2 Gebrauchstauglichkeit

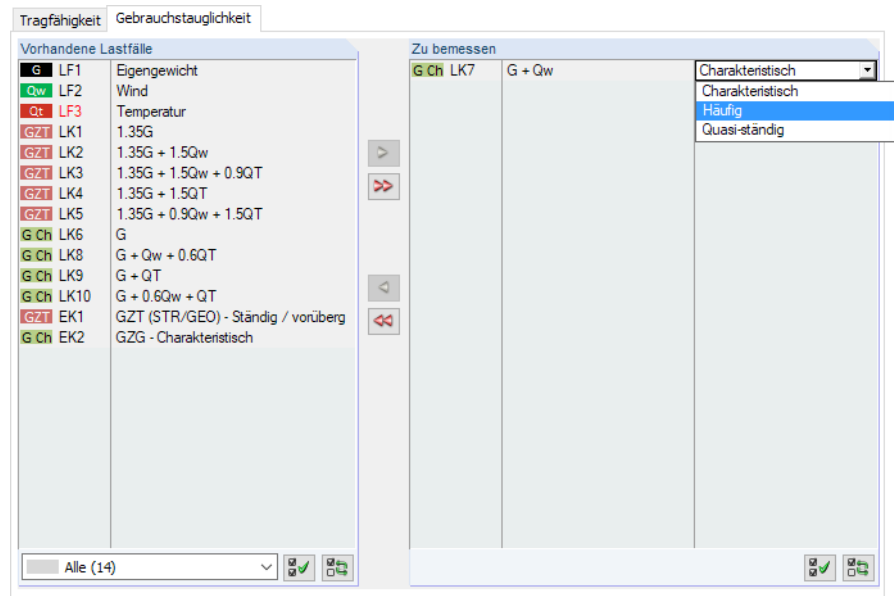


Bild 3.5: Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit

Vorhandene Lastfälle und Kombinationen

In diesem Abschnitt sind alle Lastfälle und Kombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.

Zu bemessen

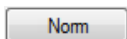


Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen lassen sich wie im [Kapitel 3.1.1](#) beschrieben hinzufügen oder wieder entfernen.

Es ist möglich, den Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen unterschiedliche Grenzwerte für die Durchbiegung zuzuweisen. Folgende Bemessungssituationen stehen zur Auswahl:

- *Charakteristisch*
- *Häufig*
- *Quasi-ständig*

Die Bemessungssituation kann über die Liste geändert werden, die mit der Schaltfläche am Ende des Eingabefeldes zugänglich ist (siehe [Bild 3.5](#)).



Die Grenzwerte der Verformungen sind in der Norm geregelt. Sie können über die Schaltfläche [Norm] im gleichnamigen Dialog (siehe [Bild 3.7](#)) für die Bemessungssituationen überprüft und bei Bedarf angepasst werden.

In [Maske 1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter](#) werden die Bezugsängen verwaltet, die für den Verformungsnachweis anzusetzen sind (siehe [Kapitel 3.9, Seite 42](#)).

3.1.3 Norm

In der Liste oben in Maske 1.1 *Basisangaben* kann die Norm ausgewählt werden, deren Parameter für die Bemessung und die Grenzwerte der Verformung gelten.

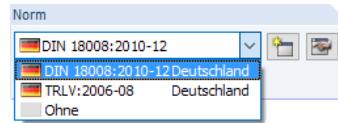
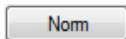


Bild 3.6: Auswahl der Norm

Neben den Normen *DIN 18008:2010-12* [2] und *TRLV:2006-08* [3] steht die Option *Ohne* zur Auswahl, die eine reine Spannungsanalyse auf Basis von Material-Teilsicherheitsbeiwerten sowie die Untersuchung von Verformungen bietet.

Über die Schaltfläche lassen sich die voreingestellten Parameter überprüfen und ggf. anpassen (siehe Bild 3.7). Mit der Schaltfläche kann eine neue Norm erstellt werden, deren Parameter auf der aktuellen Norm basieren.



In allen Eingabemasken steht zudem die Schaltfläche [Norm] zur Verfügung. Sie ruft ebenfalls die Einstellungen der aktuellen Norm auf.

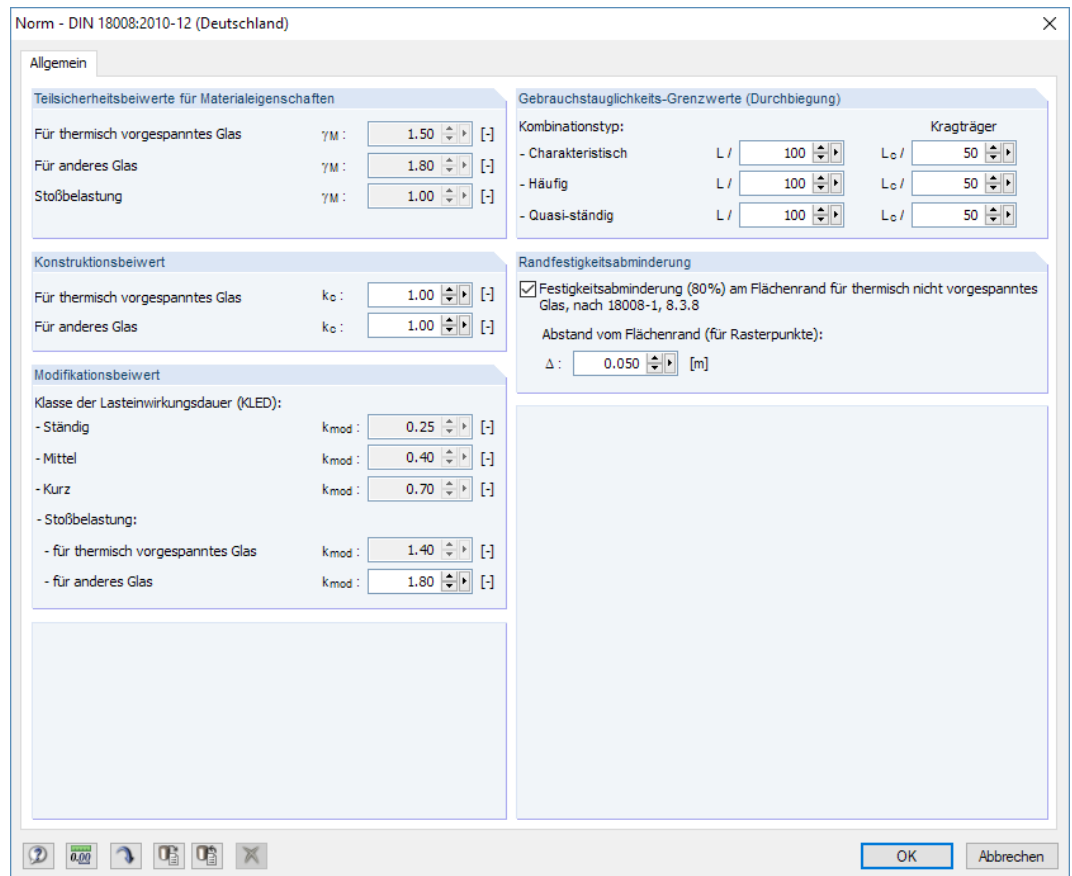


Bild 3.7: Dialog Norm - DIN 18008:2010-12 (Deutschland)

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Abschnitte für DIN 18008:2010-12 [2].

Teilsicherheitsbeiwerte für Materialeigenschaften

In diesem Abschnitt können die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der Materialeigenschaften für die unterschiedlichen Glastypen und Bemessungssituationen überprüft werden. Die Bemessungssituation ist in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit* zuzuweisen (siehe Bild 3.4).

Konstruktionsbeiwert

In diesem Abschnitt lässt sich der Beiwert k_c zur Berücksichtigung der Konstruktionsart des Glastyps festlegen. Dieser Beiwert beeinflusst den Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d gegen Spannungsversagen.

Modifikationsbeiwert

Die Beiwerte k_{mod} werden für die unterschiedlichen Klassen der Lasteinwirkungsdauer angezeigt. Die Voreinstellungen orientieren sich an DIN 18008-2:2010-12 [4] Tabelle 6.

Der Modifikationsbeiwert k_{mod} wird in Maske 1.8 *Lasteinwirkungsdauer* den Lastfällen über die Klasse der Lasteinwirkungsdauer in Spalte C zugewiesen (siehe Kapitel 3.8, Seite 41).

Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerte (Durchbiegung)

In den Eingabefeldern können die Grenzwerte der zulässigen Durchbiegung festgelegt werden. Es sind spezifische Vorgaben für die unterschiedlichen Einwirkungskombinationen (*Charakteristisch*, *Häufig* und *Quasi-ständig*) sowie für beidseitig oder nur einseitig gestützte Flächen möglich.

Die Klassifizierung der Lastfälle erfolgt in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 17).

In Maske 1.9 *Gebrauchstauglichkeitsparameter* sind die Referenzlängen L der Flächen festzulegen (siehe Kapitel 3.9, Seite 42).

Randfestigkeitsabminderung

In diesem Abschnitt kann festgelegt werden, ob die in [2] 8.3.8 genannte Abminderung der charakteristischen Biegezugfestigkeit auf 80 % gelten soll, die für Scheiben ohne thermische Vorspannung vorgeschrieben ist.

Da Spannungen nur für Flächen erfasst werden und nicht für Linien („Kanten“), kann der Randbereich mit abgeminderter Festigkeit benutzerdefiniert über den *Abstand vom Flächenrand* Δ festgelegt werden.

Die Schaltflächen unten im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:





Schaltfläche	Funktion
	Stellt die programmseitigen Voreinstellungen wieder her
	Liest benutzerdefinierte Standardeinstellungen ein
	Speichert geänderte Einstellungen als Standard
	Löscht eine benutzerdefinierte Norm

Tabelle 3.2: Schaltflächen im Dialog *Norm*

3.2 Schichten

In dieser Maske sind die einzelnen Schichten der Glasflächen zu definieren. Eine Schichtenfolge wird als *Schichtenaufbau* verwaltet. Es sind mehrere Schichtenkonstellationen möglich, die bestimmten Flächen zugewiesen werden können.

Schicht-Nr.	Schicht-typ	Material Bezeichnung	Dicke t [mm]	Grenzspannung σ_{limit} [N/mm ²]	Themisch vorgespannt	Verbund-sicherheitsglas	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]	Schubmodul G [N/mm ²]	Querdehnzahl ν [-]	Spez. Gewicht γ [kN/m ³]
1	Glas	Gussglas	4.00	25.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	70000.0	28455.3	0.230	25.00
2	Gas (SZR)	Argon	12.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				0.02
3	Glas	Gussglas	4.00	25.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	70000.0	28455.3	0.230	25.00
4	Gas (SZR)	Argon	12.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				0.02
5	Glas	Gussglas	4.00	25.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	70000.0	28455.3	0.230	25.00
6										
7										
8										
9										

Bild 3.8: Maske 1.2 Schichten

Aktueller Schichtenaufbau

Die im Abschnitt *Schichten* definierte Schichtenfolge legt einen bestimmten *Schichtenaufbau* fest. Um einen weiteren Schichtenaufbau zu definieren, ist mit der Schaltfläche ein neuer Eintrag anzulegen. Die Nummer mitsamt Bezeichnung wird automatisch eingetragen.

Die gewünschte Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen und eingestellt werden.

Die Schaltflächen im Abschnitt *Schichtenaufbau* sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Neu	Legt einen neuen Schichtenaufbau an
	Details	Öffnet den Dialog <i>Details für Schichtenaufbau</i> mit weiteren Einstellmöglichkeiten (siehe Bild 4.9, Seite 53)
	Kopieren	Erzeugt einen neuen Schichtenaufbau als Kopie des aktuellen
	Löschen	Löscht den aktuellen Schichtenaufbau
	Alle löschen	Löscht sämtliche Schichtenaufbauten

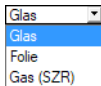
Tabelle 3.3: Schaltflächen für Schichtenaufbau

Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Parameter des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen. Das Eingabefeld darf nur Flächennummern aufweisen, die noch keinem anderen Schichtenaufbau zugeteilt sind.

Schichten

Die einzelnen Schichten für den aktuellen *Schichtenaufbau* sind in dieser Tabelle zeilenweise zu definieren. Bei Isolierglas erfolgt die Eingabe der Schichten von außen nach innen, bei Verbundglas von oben nach unten.



Zunächst in in Spalte A der *Schichttyp* festzulegen. In der Liste stehen folgende Typen zur Auswahl:

- Glas
- Folie
- Gas (SZR)



Eine Gasschicht muss immer von zwei Seiten durch Schichten aus festem Material (Glas oder Folie) eingeschlossen sein.



Die Materialien für Glas, Folie oder Gas können in einer [Bibliothek] ausgewählt werden, die über die links dargestellte Schaltfläche aufrufbar ist. Alternativ klicken Sie das Material in Spalte B an und setzen so das Feld aktiv. Dann klicken Sie auf die Schaltfläche am Ende des Feldes (siehe Bild 3.8) oder betätigen die Funktionstaste [F7].

Material aus Bibliothek übernehmen

Filter:

- Materialkategorie-Gruppe: Glas und Folie
- Material-Kategorie: Glas
- Norm-Gruppe: DIN
- Norm: Alle

Inklusive ungültiger... Favoritengruppe: Beton - DIN

Suchen:

Materialbezeichnung	Norm
<input type="checkbox"/> VSG aus SPG, Überkopfverglasung	TRLV:2006-08
<input type="checkbox"/> VSG aus SPG, Vertikalverglasung	TRLV:2006-08
<input type="checkbox"/> VSG aus TVG	TRLV:2006-08
<input type="checkbox"/> VSG aus emailliertem TVG	TRLV:2006-08
<input type="checkbox"/> Kalk-Natronsilicatglas	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Borosilicatglas	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Spiegelglas (SPG)	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Gussglas	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Glas mit Drahtnetzeinlage	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Einscheibensicherheitsglas (ESG)	DIN 18008-1:2010-12
<input checked="" type="checkbox"/> ESG aus Gussglas	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Emailliertes ESG	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Borosilicat ESG	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Teilvorgespanntes Glas (TVG)	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> TVG aus Gussglas	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Emailliertes TVG	DIN 18008-1:2010-12
<input type="checkbox"/> Chemisch gehärtetes Glas	DIN 18008-1:2010-12

Materialkennwerte: **ESG aus Gussglas | DIN 18008-1:2010-12**

Haupt-Kennwerte			
Elastizitätsmodul	E	70000.0	N/mm ²
Schubmodul	G	28455.3	N/mm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	ν	0.230	
Spezifisches Gewicht	γ	25.00	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	9.0000E-06	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ _M	1.50	
Zusätzliche Kennwerte			
Wärmeleitfähigkeit	λ	1.000	W/m/K
Charakteristische Biegefestigkeit	f _{gk}	90.0	N/mm ²

Buttons:

Bild 3.9: Materialbibliothek für Kategorie Glas

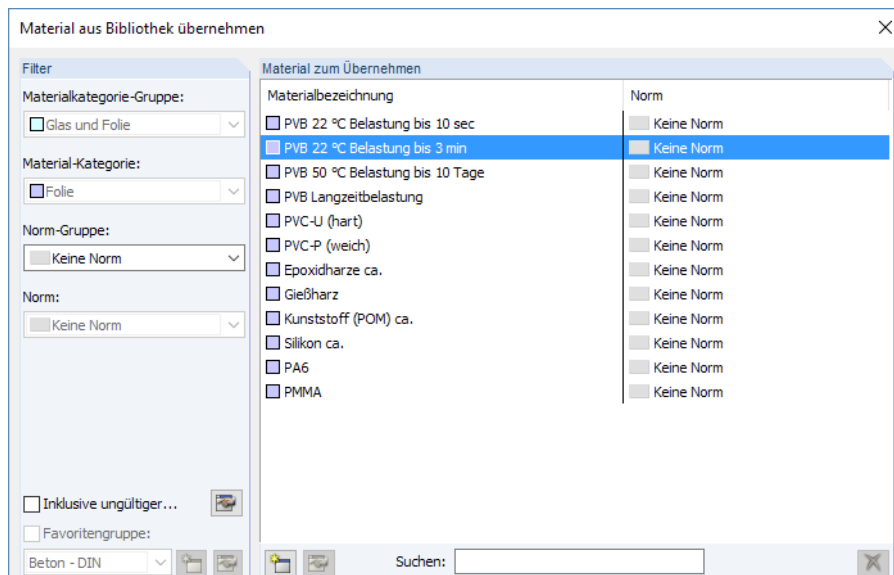


Bild 3.10: Materialbibliothek für Kategorie *Folie*

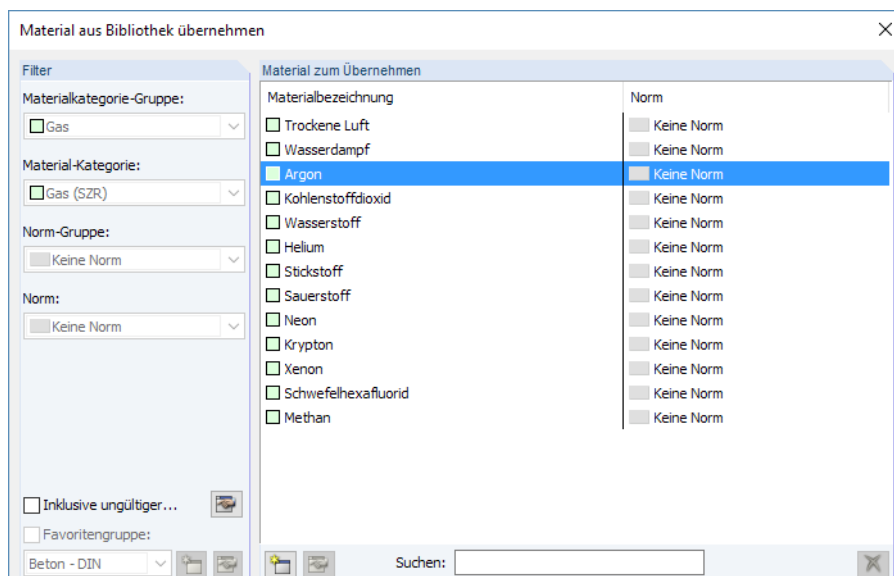
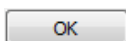


Bild 3.11: Materialbibliothek für Kategorie *Gas*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie gemäß Vorgabe in Spalte A voreingestellt. Der Glas-, Folien- bzw. Gastyp kann im Abschnitt *Material zum Übernehmen* ausgewählt werden; die Kennwerte lassen sich im unteren Abschnitt überprüfen (siehe Bild 3.9).



Mit [OK] oder [↵] wird das gewählte Material in die *Schichten*-Tabelle der Maske 1.2 übergeben.

Das Kapitel 4.3 des RFEM-Handbuchs beschreibt, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden können.

In den Spalten C bis L der *Schichten*-Tabelle können die Materialparameter anschließend angepasst werden. Die Einheiten und Nachkommastellen der Kennwerte und Spannungen lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** ändern (siehe Kapitel 7.1, Seite 74).

In Spalte C ist die *Dicke* t der Glas- oder Gasschicht bzw. Folie anzugeben.

Die *Grenzspannung* σ_{limit} des Glases wird in Spalte D angezeigt.

B	C
Material Bezeichnung	Dicke t [mm]
ESG aus Gussglas	4.00
PVB 22 °C Belastung	0.38
ESG aus Gussglas	4.00
Argon	12.00
Gussglas	4.00
Argon	12.00
Gussglas	4.00

In Spalte E ist anzugeben, ob das Glas *Thermisch vorgespannt* ist. Das Kontrollfeld beeinflusst den Bemessungswert der Tragwiderstandes gemäß [2] 8.3.6. Weitere Erläuterungen finden Sie in der [Knowledge Base](#) auf unserer Website.

Die Vorgabe in Spalte F regelt, ob ein *Verbundsicherheitsglas* vorliegt. Ist das Kontrollfeld aktiviert, werden die Bemessungswerte des Tragwiderstandes gemäß [2] 8.3.9 um 10 % erhöht.

Bei Glas-Materialien nach TRLV [3] wird in der Bibliothek zwischen *Überkopferverglasung* und *Vertikalverglasung* unterschieden, um die jeweils zulässige Spannung korrekt zu berücksichtigen. Das folgende Bild veranschaulicht diese Unterscheidung.

- Materialbezeichnung
- Spiegelglas (SPG), Überkopferverglasung
 - Spiegelglas (SPG), Vertikalverglasung
 - Gussglas, Überkopferverglasung
 - Gussglas, Vertikalverglasung
 - Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 - ESG aus Gussglas
 - Emailliertes ESG
 - Teilvorgespanntes Glas (TVG)
 - Emailliertes TVG
 - VSG aus SPG, Überkopferverglasung
 - VSG aus SPG, Vertikalverglasung
 - VSG aus TVG
 - VSG aus emailliertem TVG

Glassorten nach TRLV

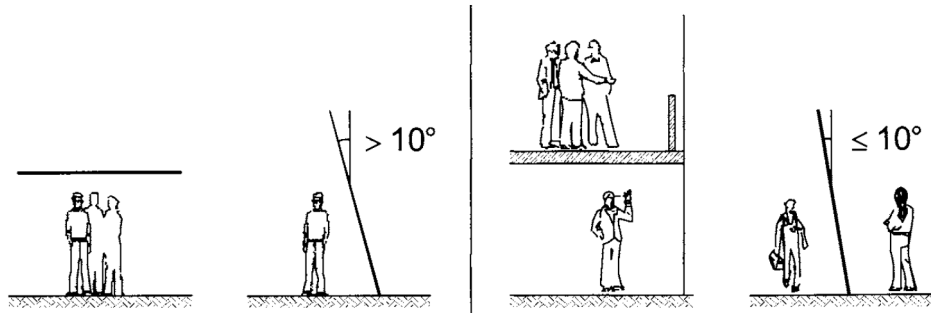


Bild 3.12: Horizontalverglasung (links) und Vertikalverglasung (rechts) [5]

Die Schaltflächen unterhalb der *Schichten*-Tabelle sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Schichten einlesen	Ruft den Windows-Dialog <i>Öffnen</i> auf, in dem eine zuvor gespeicherte Datei (*.lyr) mit einem Schichtenaufbau ausgewählt werden kann
	Schichten speichern	Ruft den Windows-Dialog <i>Speichern unter</i> auf, in dem der aktuelle Schichtenaufbau als Datei abgelegt werden kann → Beschreibung in Knowledge Base
	Schichten löschen	Löscht alle Schichten des aktuellen Schichtbaus
	Bibliothek	Öffnet die Materialbibliothek (siehe Bild 3.9)
	Steifigkeitsmatrix	Zeigt die im Kapitel 2.3 beschriebenen Elemente der Steifigkeitsmatrix für die selektierte Schicht an
	Erweiterte Steifigkeitsmatrix	Zeigt die im Kapitel 2.3 beschriebenen Elemente der globalen Steifigkeitsmatrix für den Schichtenaufbau an → Bild 3.13
	Ansichtsmodus	Ermöglicht den Wechsel in das Arbeitsfenster von RFEM, um die Ansicht zu ändern
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel → Kapitel 7.2
	Excel-Import	Importiert den Inhalt einer MS Excel-Tabelle

Tabelle 3.4: Schaltflächen in Maske 1.2 *Schichten*

	Zeile kopieren	Strg+2
	Zeile leeren	Strg+Y
	Zeile einfügen	Strg+I
	Zeile löschen	Strg+R

Der Inhalt einer Tabellenzeile kann über das links dargestellte Zeilen-Kontextmenü geleert oder gelöscht werden. Dieses Menü ist mit einem Rechtsklick auf die *Schicht-Nr.* aufrufbar.

Erweiterte Steifigkeitsmatrix



Die Schaltfläche [Erweiterte Steifigkeitsmatrix] unterhalb der *Schichten*-Tabelle ruft den Dialog *Elemente der erweiterten Steifigkeitsmatrix* auf.

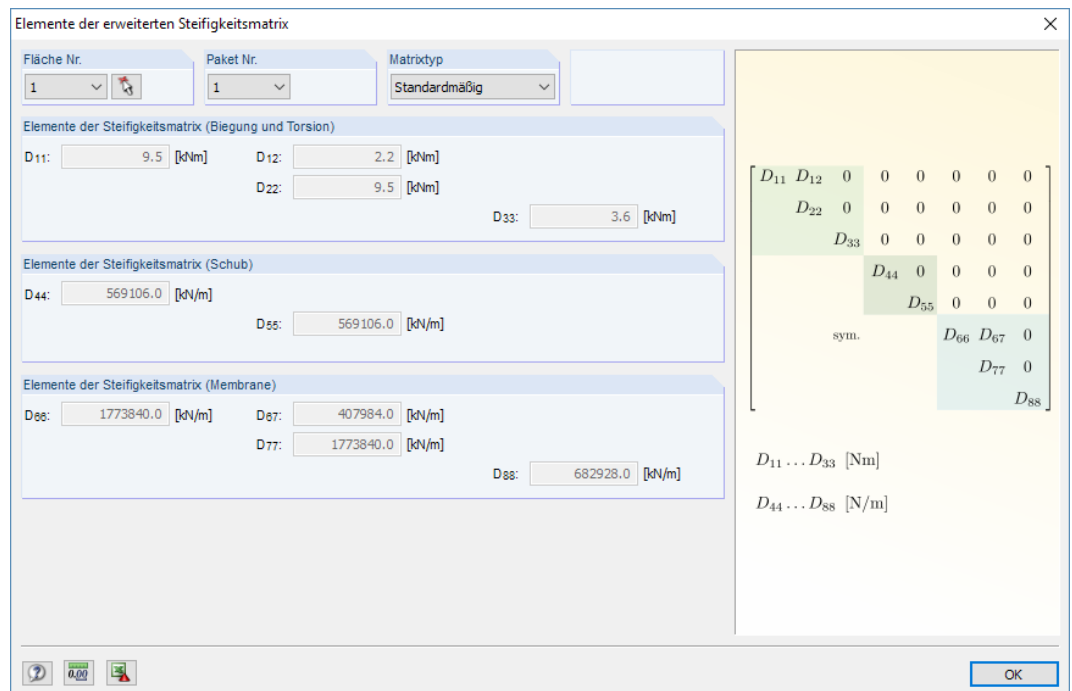
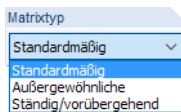


Bild 3.13: Dialog *Elemente der erweiterten Steifigkeitsmatrix* für Isolierverglasung



In diesem Dialog können die Elemente der Steifigkeitsmatrix für jede *Fläche*, jedes *Paket* (Scheibe bzw. Scheibenverbund) und den *Matrixtyp* einer jeden Bemessungssituation dargestellt werden. Diese Funktion ist nur für Schichtenaufbauten verfügbar, die als 2D-Modelle angelegt sind (siehe Dialog *Details für Schichtenaufbau*, Bild 4.9, Seite 53). Bei einer 3D-Modellierung werden die Steifigkeiten exakt anhand eines Volumenmodells ermittelt, nicht über Ersatzsteifigkeiten.

Die Elemente der Steifigkeitsmatrix sind im Kapitel 2.3 ab Seite 9 beschrieben.

Grafik / Info

Im unteren Bereich der Maske wird der Schichtenaufbau grafisch dargestellt. Die aktuelle, d. h. in der Tabelle selektierte Schicht ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. Änderungen werden sofort grafisch umgesetzt. Zur *Info* wird die Gesamtdicke und das Gesamtgewicht der Scheibe angegeben.

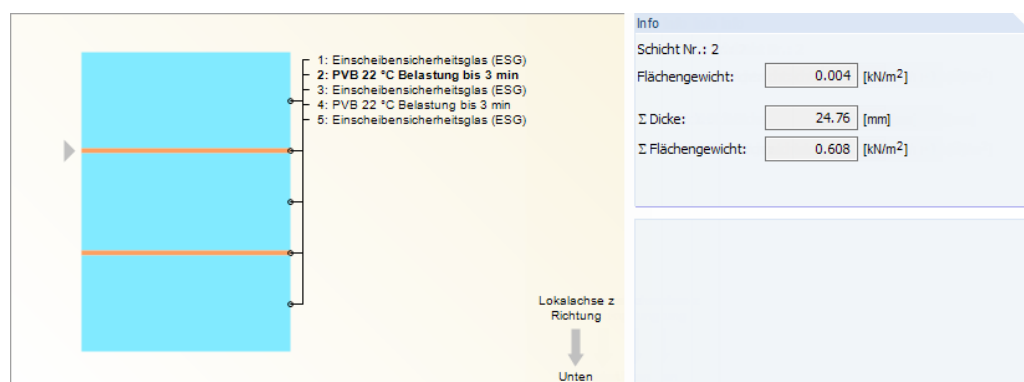


Bild 3.14: Dialog *Elemente der erweiterten Steifigkeitsmatrix* für Isolierverglasung

Bei einem Isolierglas wird auch die *Innere* und *Äußere Seite* der Scheibe in der Grafik angezeigt (siehe Bild 3.8). Diese Information ist wichtig für die Eingabe weiterer Parameter in Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter* (siehe Kapitel 3.6, Seite 36).

3.3 Linienlager

Die Untersuchung mit RF-GLAS erfordert ein präzises statisches Modell. In dieser Maske sind die Lagerungsbedingungen der einzelnen Flächen festzulegen, die für Linien gelten. Die in RF-GLAS definierten Lager werden nur für dieses Modell verwendet; sie haben keinen Einfluss auf RFEM.

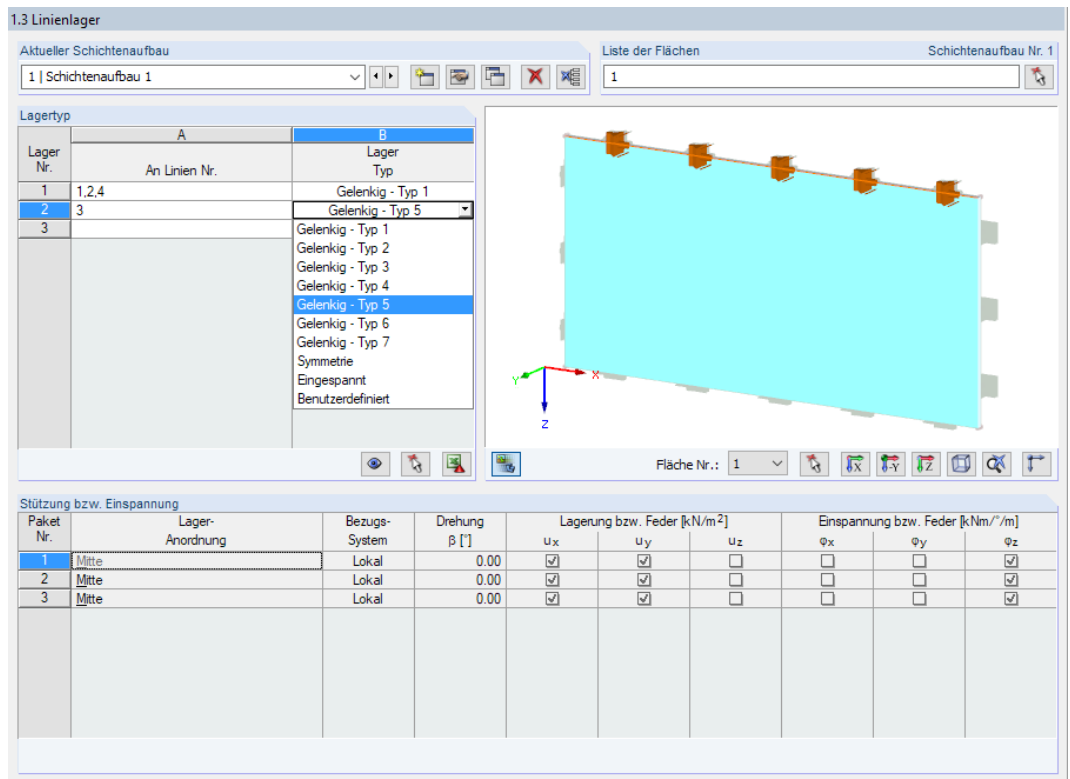
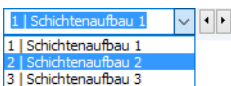


Bild 3.15: Maske 1.3 Linienlager

Aktueller Schichtenaufbau



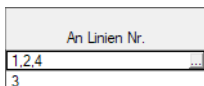
Die im Abschnitt *Lagertyp* definierten Lagerungen sind einem bestimmten *Schichtenaufbau* zuzuordnen. Die Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen und eingestellt werden. Die übrigen Schaltflächen sind in der [Tabelle 3.3](#) auf [Seite 20](#) beschrieben.

Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Lagerungsbedingungen des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen. Das Eingabefeld darf nur Flächennummern aufweisen, denen noch keine anderen Lagertypen zugewiesen sind.

Lagertyp

Es stehen neun vordefinierte Typen von Linienlagern sowie ein benutzerdefinierbarer Typ zur Auswahl (siehe [Bild 3.15](#)). Sie sind in der Tabelle den entsprechenden Linien zuzuordnen.



In Spalte A sind die Linien anzugeben, an denen ein bestimmtes Lager vorliegt. Die Linien der aktuellen Tabellenzeile werden im Grafikfenster farbig hervorgehoben. Mit der Schaltfläche können die Linien auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden.

In Spalte B kann ein Standard-Lagertyp (*Gelenkig - Typ 1* bis *Gelenkig - Typ 7*, *Symmetrie*, *Eingespannt*) ausgewählt oder der Lagertyp *Benutzerdefiniert* festgelegt werden. Die Randbedingungen der Standardlager sind in [Tabelle 3.6](#) erläutert. Benutzerdefinierte Lager können im Abschnitt *Stützung bzw. Einspannung* spezifiziert werden.



Im Grafikbereich wird die Fläche dargestellt. Der aktuelle Lagertyp ist in der Selektionsfarbe hervorgehoben. Die Grafik lässt sich mit den gleichen Mausfunktionen wie in RFEM steuern, um die Ansicht zu zoomen, verschieben und drehen.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Funktion
	Stellt Modell oder Systemskizze dar (siehe Bild 3.16)
	Ermöglicht grafische Auswahl der Fläche im Arbeitsfenster
	Zeigt Ansicht in Richtung der X-Achse
	Zeigt Ansicht entgegen der Y-Achse
	Zeigt Ansicht in Richtung der Z-Achse
	Stellt isometrische Ansicht dar
	Stellt Gesamtansicht der Fläche dar
	Blendet Achsensystem ein und aus

Tabelle 3.5: Schaltflächen im Grafikfenster



Mit der Schaltfläche [Schema oder Rendering] kann zwischen einer Systemskizze und Modelldarstellung gewechselt werden. Die schematische Darstellung zeigt die *Anordnung* der Lager für die einzelnen Schichten an.

Lagertyp		
Lager Nr.	A	B
	An Linien Nr.	Lager Typ
1	1,2,4	Gelenkig - Typ 1
2	3	Gelenkig - Typ 5
3		

Lokales Bezugssystem wird wie folgt definiert

Stützung bzw. Einspannung										
Paket Nr.	Lager-Anordnung	Bezugs-System	Drehung β [°]	Lagerung bzw. Feder [kN/m ²]			Einspannung bzw. Feder [kNm ² /m]			
				u_x	u_y	u_z	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z	
1	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 3.16: Schemadarstellung der Linienlager

Die Standardtypen der Linienlager sind auf das lokale Koordinatensystem der Fläche bezogen. Es ist für RF-GLAS wie folgt definiert: Achse x ist die Mittellinie der aktuellen Linie, Achse y liegt in der Ebene der RFEM-Fläche, Achse z steht senkrecht zur Fläche.



Bei Verbundglas bestehen Unterschiede bei den Linienlagertypen *Gelenkig - Typ 1, 3, 5, 7* in den Randbedingungen hinsichtlich der 2D- oder 3D-Berechnung: Erfolgt die Berechnung 2D nach Plattentheorie, so liegt eine gelenkige Lagerung vor. Bei einer 3D-Berechnung als Volumenmodell hingegen führen die Lager zu einer Teileinspannung der Scheibe. Bild 3.17 veranschaulicht den Unterschied.

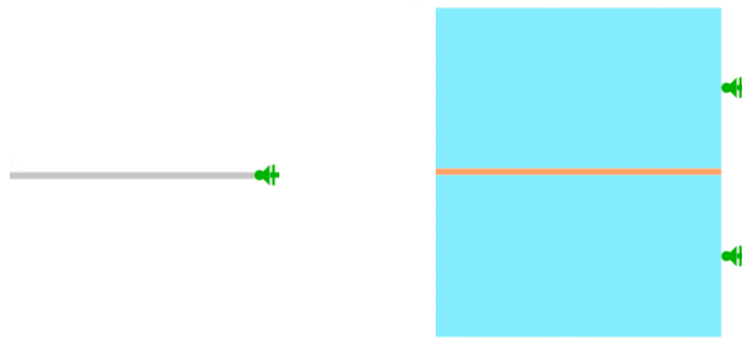


Bild 3.17: Wirkung des Lagertyps *Gelenkig - Typ 5* für Berechnung nach 2D (links) und 3D (rechts)

Die Standard-Lagertypen sind in folgender Tabelle erläutert.

Gelenkig - Typ 1		
2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Gelenkig - Typ 2		
2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der Glasschicht</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$
Gelenkig - Typ 3		
2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 4

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der Glasschicht</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 5

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 6

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der untersten Glasschicht</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 7

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_x = u_z = 0$ $\varphi_y = \varphi_z = 0$

Symmetrie

Diese Randbedingung empfiehlt sich für Fälle, bei denen die Symmetrie eines Modells genutzt werden soll. Die Bedingung enthält nicht nur korrekte Linienlager, sondern auch ein geeignetes Material der Seitenfläche, die keine Steifigkeit des Modells zur Folge hat.

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf allen Linien sämtlicher Schichten</p>	$u_y = 0$ $\varphi_x = \varphi_z = 0$

Eingespannt

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen auf allen Linien sämtlicher Schichten</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_x = \varphi_y = \varphi_z = 0$

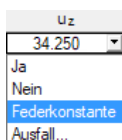
Tabelle 3.6: Standard-Lagertypen

Stützung bzw. Einspannung

In der unteren Tabelle werden die Randbedingungen der Linie(n) angezeigt, die im Abschnitt *Lagertyp* selektiert ist. Bei den Standard-Lagertypen sind die Zeilen gesperrt; es nicht möglich, die Freiheitsgrade zu ändern. Wird der Lagertyp *Benutzerdefiniert* festgelegt, so können die Parameter individuell beschrieben werden.

Stützung bzw. Einspannung									
Paket Nr.	Lager-Anordnung	Bezugs-System	Drehung β [°]	Lagerung bzw. Feder [kN/m ²]			Einspannung bzw. Feder [kNm ² /m]		
				u_x	u_y	u_z	φ_x	φ_y	φ_z
1	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Mitte	Lokal	0.00	<input type="checkbox"/>	12.500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Mitte	Lokal	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Bild 3.18: Benutzerdefinierte Definition der Lagerung



Für die Lagerkomponenten (Stützungen, Einspannungen) sind auch Federkennwerte möglich. Hierzu ist in der Liste die Option *Federkonstante* auszuwählen und dann im Feld die Federsteifigkeit einzutragen.

Mit der Option *Ausfall* lassen sich nichtlineare Eigenschaften zuweisen. Diese sind in einem separaten Dialog zu definieren.

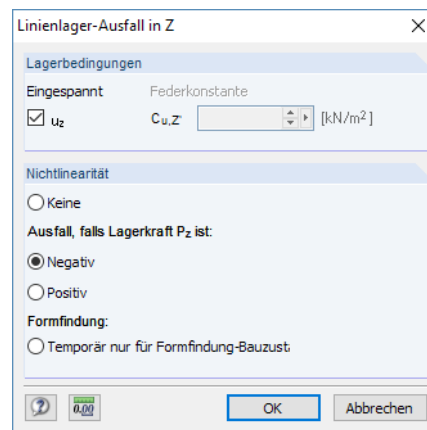


Bild 3.19: Dialog *Linienlager-Ausfall in Z*

Die Richtungen *Negativ* bzw. *Positiv* sind auf die Kräfte oder Momente bezogen, die im Hinblick auf die jeweiligen Achsen in das Lager eingeleitet werden (d. h. nicht die Reaktionskräfte vonseiten des Lagers). Die Vorzeichen ergeben sich somit aus der Richtung der Achsen.

3.4 Knotenlager

In dieser Maske sind die punktförmigen Lagerungsbedingungen der einzelnen Flächen festzulegen. Wie bei Linienlagern werden die in RF-GLAS definierten Knotenlager nur für dieses Modell verwendet; sie haben keinen Einfluss auf RFEM.

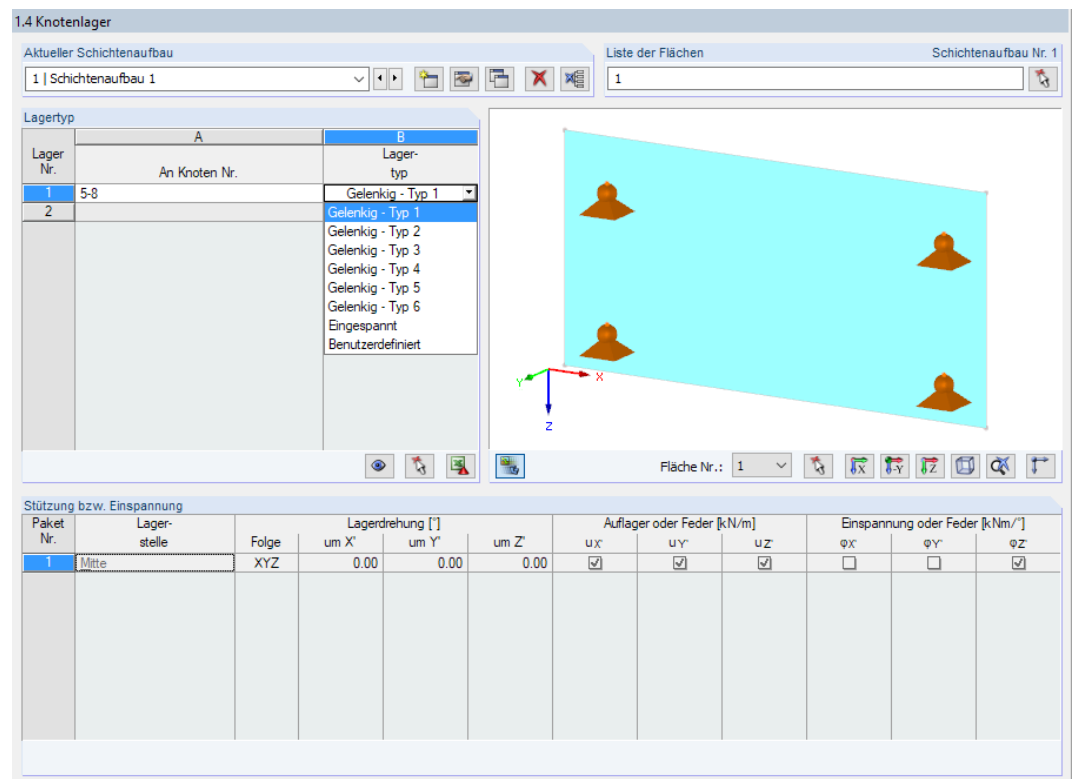


Bild 3.20: Maske *1.4 Knotenlager*

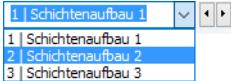




Für punktgestützte Verglasungen ist eine Modellierung in RFEM zu empfehlen. Die Vorgehensweise wird in einem [Webinar](#) vorgestellt.



In folgenden Fachbeiträgen finden Sie weitere Hinweise zu punktgestützten Verglasungen:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001388>
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001412>


Aktueller Schichtenaufbau



Die im Abschnitt *Lagertyp* definierten Lagerungen sind einem bestimmten *Schichtenaufbau* zuzuordnen. Die Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen  und  eingestellt werden.

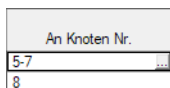
Die übrigen Schaltflächen sind in [Tabelle 3.3](#) auf [Seite 20](#) beschrieben.


Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Lagerungsbedingungen des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit  grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen. Das Eingabefeld darf nur Flächennummern aufweisen, denen noch keine anderen Lagertypen zugewiesen sind.

Lagertyp

Es stehen sieben vordefinierte Typen von Knotenlagern sowie ein benutzerdefinierbarer Typ zur Auswahl (siehe [Bild 3.20](#)). Sie sind in der Tabelle den entsprechenden Knoten zuzuordnen.



In Spalte A sind die Knoten anzugeben, an denen ein bestimmtes Lager vorliegt. Die Knoten der aktuellen Tabellenzeile werden im Grafikfenster farbig hervorgehoben. Mit der Schaltfläche  können die Knoten auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden.

In Spalte B kann ein Standard-Lagertyp (*Gelenkig - Typ 1 bis Gelenkig - Typ 6, Eingespannt*) ausgewählt oder der Lagertyp *Benutzerdefiniert* festgelegt werden. Die Randbedingungen der Standardlager sind in [Tabelle 3.7](#) erläutert. Benutzerdefinierte Lager können im Abschnitt *Stützung bzw. Einspannung* spezifiziert werden.



Im Grafikbereich wird die Fläche dargestellt. Der aktuelle Lagertyp ist in der Selektionsfarbe hervorgehoben. Die Grafik lässt sich mit den gleichen Mausfunktionen wie in RFEM steuern, um die Ansicht zu zoomen, verschieben und drehen.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind in [Tabelle 3.5](#) beschrieben.



Mit der Schaltfläche [Schema oder Rendering] kann zwischen einer Systemskizze und Modelldarstellung gewechselt werden. Die schematische Darstellung zeigt die *Anordnung* der Lager für die einzelnen Schichten an (siehe [Bild 3.16](#), [Seite 26](#)).



Die Freiheitsgrade der Knotenlager sind auf das globale Koordinatensystem bezogen.

Die Standard-Lagertypen sind in folgender Tabelle erläutert.

Gelenkig - Typ 1

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen bei Knoten auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 2

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der untersten Glasschicht</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 3

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen bei Knoten auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 4

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der untersten Glasschicht</p>	$u_z = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 5

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen bei Knoten auf den Mittellinien der Glasschichten</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$

Gelenkig - Typ 6

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen am unteren Rand der untersten Glasschicht</p>	$u_x = u_y = 0$ $\varphi_z = 0$

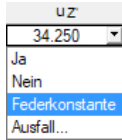
Eingespannt

2D-Berechnung	3D-Berechnung	Randbedingungen
	<p>Randbedingungen bei allen Knoten auf den Mittellinien sämtlicher Schichten</p>	$u_x = u_y = u_z = 0$ $\varphi_x = \varphi_y = \varphi_z = 0$

Tabelle 3.7: Standard-Lagertypen

Stützung bzw. Einspannung

In der unteren Tabelle werden die Randbedingungen der Knoten angezeigt, die im Abschnitt *Lagertyp* selektiert sind. Bei den Standard-Lagertypen sind die Zeilen gesperrt; es nicht möglich, die Freiheitsgrade zu ändern. Wird der Lagertyp *Benutzerdefiniert* festgelegt, so können die Parameter wie bei Linienlagern individuell beschrieben werden (siehe Bild 3.18). Bei benutzerdefinierten Knotenlagern ist auch eine *Lagerdrehung* möglich.



Für die Lagerkomponenten lassen sich auch Federsteifigkeiten definieren. Hierzu ist in der Liste die Option *Federkonstante* auszuwählen und dann im Feld der Federkennwert einzutragen.

Mit der Option *Ausfall* lassen sich nichtlineare Eigenschaften zuweisen. Diese sind in einem separaten Dialog zu definieren (siehe Bild 3.21).

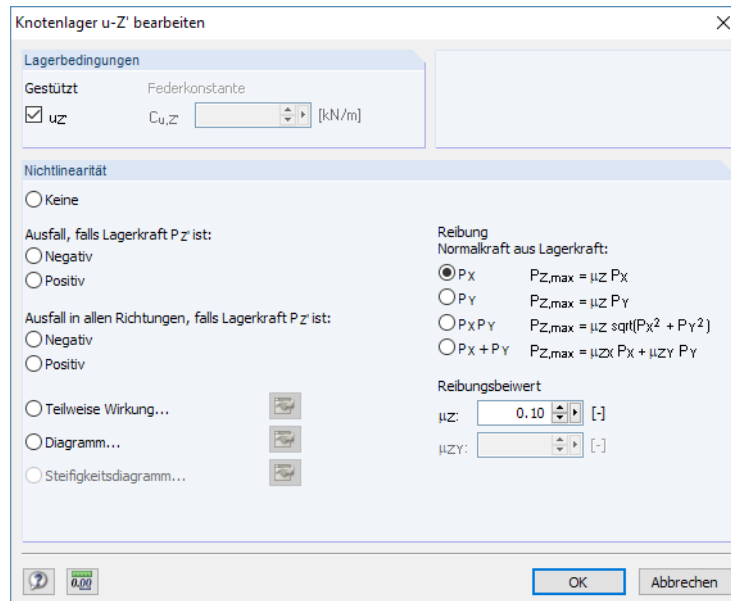


Bild 3.21: Dialog *Knotenlager u-Z' bearbeiten*

Die nichtlinearen Eigenschaften für Knotenlager wie *Ausfall*, *Reibung* oder *Diagramm* sind im Kapitel 4.7 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

3.5 Randstäbe

In dieser Maske können Stäbe definiert werden, die am Rand der Glasfläche vorhanden sind und dadurch die Steifigkeit beeinflussen.

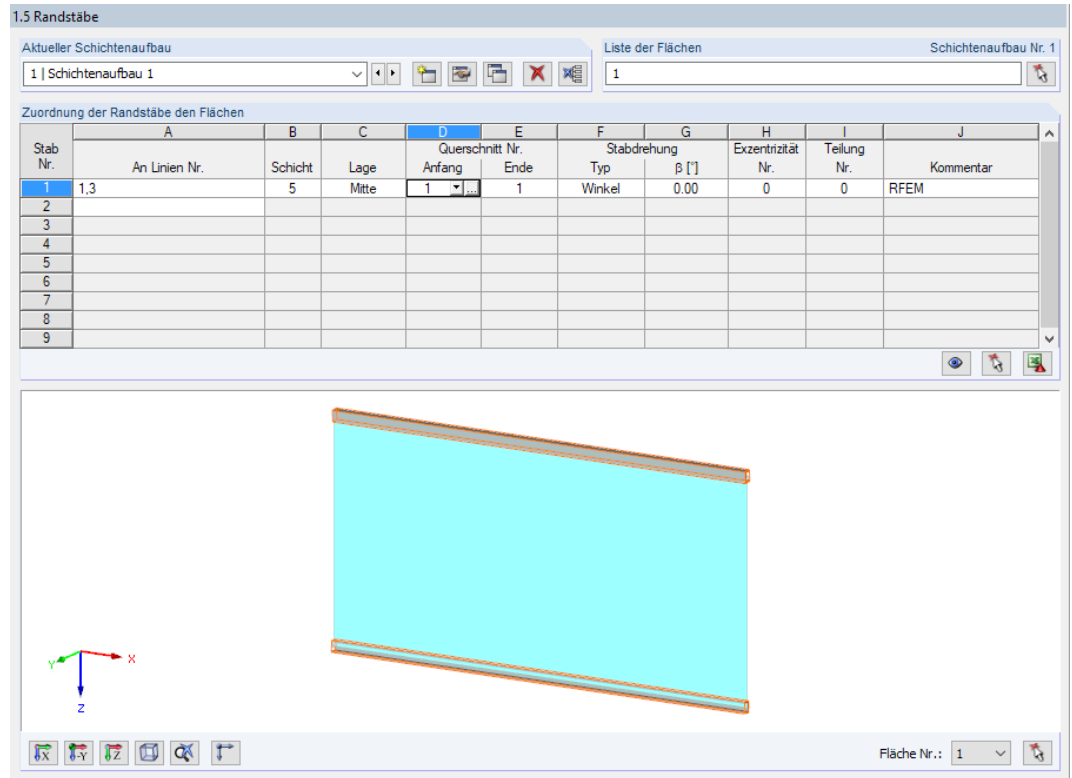
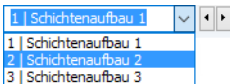


Bild 3.22: Maske 1.5 Randstäbe

Aktueller Schichtenaufbau

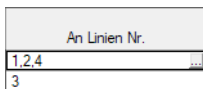


Die in der Tabelle definierten Stäbe sind einem bestimmten *Schichtenaufbau* zuzuordnen. Die Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen und eingestellt werden.

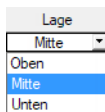
Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Stabeigenschaften des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen.

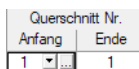
Zuordnung der Randstäbe den Flächen



In Spalte A sind die Randlinien anzugeben, an denen ein Stab vorliegt. Die Linien der aktuellen Tabellenzeile werden im Grafikfenster farbig hervorgehoben. Mit der Schaltfläche können die Linien auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden.



Bei Isolierglas kann in Spalte B die *Schicht* angegeben werden, an deren Mittellinie der Stab angeordnet ist. Hierbei stehen nur Schichten des Typs „Glas“ zur Auswahl.



Wird ein Isolierglas als 3D-Modell untersucht, so kann die *Lage* des Stabes an der Glasschicht festgelegt werden.

In den Spalten D und E ist der *Querschnitt* des Stabes festzulegen, der am Anfang und Ende der Linie vorliegt. Das Profil kann mit in der Liste ausgewählt bzw. mit in der Querschnittsbibliothek neu definiert werden.

In den Spalten F und G kann ggf. eine *Stabdrehung* festgelegt werden. Spalte H ermöglicht die Vorgabe einer zuvor in RFEM definierten *Exzentrizität*, Spalte K die Zuordnung einer *Teilung*.

3.6 Klimalasten-Parameter



Diese Maske wird nur für Scheiben aus Isolierglas angezeigt, d. h. wenn in Maske 1.2 *Schichten* mindestens eine Gasschicht definiert ist.

Einscheibengläser und Verbundglasscheiben ohne Gasschicht können nur durch RFEM-Lastfälle belastet werden, die in Maske 1.1 festzulegen sind. Isolierglas hingegen kann zusätzlich hinsichtlich klimatischer Veränderungen untersucht werden. Diese sind in Maske 1.6 in zwei Registern separat für die Gegebenheiten im *Sommer* und *Winter* zu definieren. Das Konzept der beiden Register ist identisch.

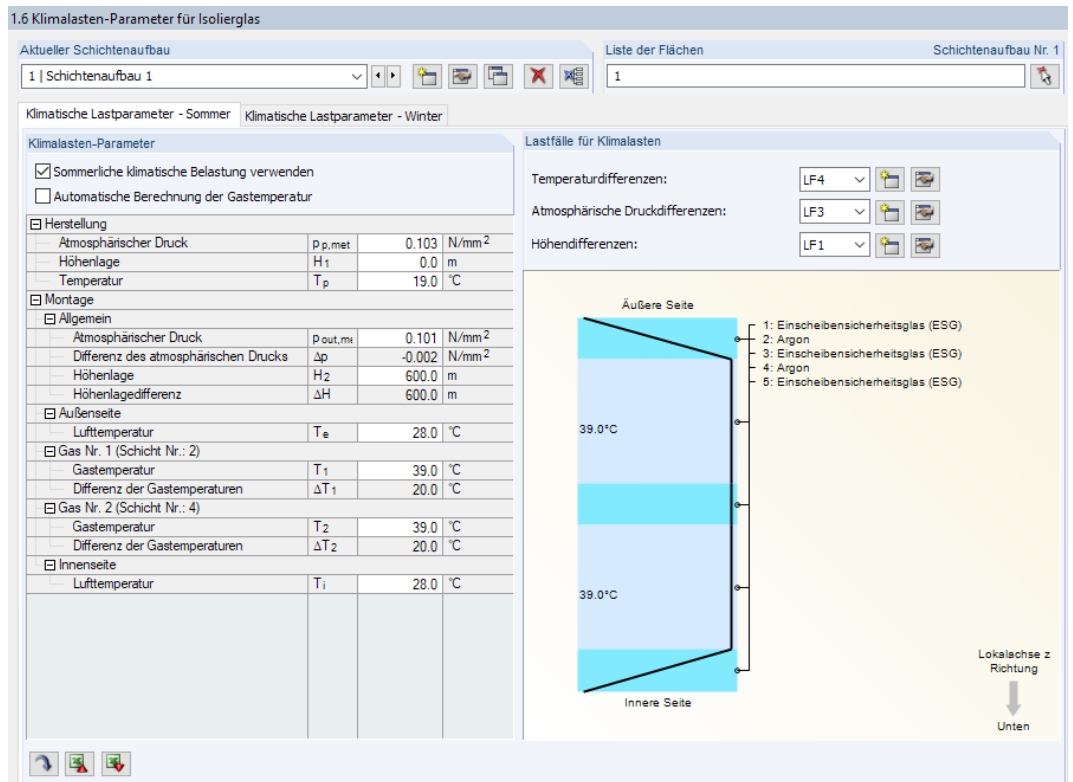
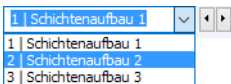


Bild 3.23: Maske 1.6 Klimalasten-Parameter für Isolierglas

Aktueller Schichtenaufbau



Die Klimalasten sind einem bestimmten *Schichtenaufbau* zuzuordnen. Die Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen ◀ und ▶ eingestellt werden.

Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Klimalasten des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen.

3.6.1 Klimatische Lastparameter - Sommer

Klimalasten-Parameter

Das Kontrollfeld *Sommerliche klimatische Belastung verwenden* steuert, ob hitzebedingte Klimalasten für die Bemessung der Scheibe relevant sind. Diese Lasten entstehen durch einen veränderten Temperaturverlauf in der Scheibe sowie durch atmosphärische und topologische Druckdifferenzen. Die Klimalastparameter für Herstellung und Nutzung sind im Bild 2.3 auf Seite 8 darstellt.

In der Tabelle sind die Parameter *Atmosphärischer Druck*, *Höhenlage* und *Temperatur* anzugeben, die zum Zeitpunkt der **Herstellung** der Glasscheibe vorliegen.

Des Weiteren sind oben genannte Parameter zum Zeitpunkt nach der **Montage** festzulegen, die für die Nutzung im Sommer gelten. Die Temperatur beispielsweise, die bei der Herstellung für alle Komponenten der Glasscheibe gleich ist, muss für die Nutzung differenziert betrachtet werden: Außentemperatur, Innentemperatur und Gastemperatur sind für die Nachweise unterschiedlich anzusetzen. In der Grafik rechts kann der Temperaturverlauf innerhalb der Scheibe überprüft werden.

Mit dem Kontrollfeld *Automatische Berechnung der Gastemperatur* ist eine präzise Ermittlung des Temperaturverlaufs unter Berücksichtigung der Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung möglich. Die Tabelle listet in diesem Fall zusätzlich die *Glasaufbau-Parameter* der einzelnen Pakete (Scheibe bzw. Scheibenverbund) und Gasschichten auf. Die Werte können bei Bedarf angepasst werden.

<input type="checkbox"/> Herstellung
Atmosphärischer Druck
Höhenlage
Temperatur
<input type="checkbox"/> Montage
<input type="checkbox"/> Allgemein
Atmosphärischer Druck
Differenz des atmosphärischen Drucks
Höhenlage
Höhenlagedifferenz
<input type="checkbox"/> Außenseite
Lufttemperatur
<input type="checkbox"/> Gas Nr. 1 (Schicht Nr.: 2)
Gastemperatur
Differenz der Gastemperaturen
<input type="checkbox"/> Gas Nr. 2 (Schicht Nr.: 4)
Gastemperatur
Differenz der Gastemperaturen
<input type="checkbox"/> Innenseite
Lufttemperatur

<input checked="" type="checkbox"/> Sommerliche klimatische Belastung verwenden			
<input checked="" type="checkbox"/> Automatische Berechnung der Gastemperatur			
<input type="checkbox"/> Glasaufbau-Parameter			
<input type="checkbox"/> Paket Nr. 1 (Schicht Nr.: 1)			
Dicke	d_1	4.00	mm
Reflexionsgrad der der Einstrahlung zugewandten Seite	ρ_1	0.08	-
Reflexionsgrad der der Einstrahlung nicht zugewandten Seite	ρ'_1	0.08	-
Wirksame Emissivität der nach außen zugewandten Seite	ϵ_1	0.84	-
Wirksame Emissivität der nach innen zugewandten Seite	ϵ'_1	0.84	-
Durchlässigkeit der Kurzwellen	τ_1	0.90	-
Wärmeradiationsdurchgangskoeffizient	$\tau_{th,1}$	0.00	-
Wärmeleitfähigkeit	λ_1	1.00	W/m/K
<input type="checkbox"/> Gas Nr. 1 (Schicht Nr.: 2)			
Dicke	s_1	12.00	mm
Dichte unter normalen Bedingungen	$\rho_{g,1}$	1.78	kg/m ³
Dynamische Viskosität	μ_1	0.00	Pa·s
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{g,1}$	0.02	W/m/K
Spezifische Wärmekapazität unter konstantem Druck	$c_{p,1}$	520.68	J/kg/K
<input type="checkbox"/> Paket Nr. 2 (Schicht Nr.: 3)			
<input type="checkbox"/> Gas Nr. 2 (Schicht Nr.: 4)			
<input type="checkbox"/> Paket Nr. 3 (Schicht Nr.: 5)			

Bild 3.24: Option für *Automatische Berechnung der Gastemperatur*

Die Schaltflächen unterhalb der Tabelle sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Dlubal-Werte	Stellt die Voreinstellungen wieder her
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel
	Excel-Import	Importiert den Inhalt einer MS Excel-Tabelle

Tabelle 3.8: Schaltflächen in Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas*

Lastfälle für Klimalasten

In diesem Abschnitt sind die Klimalasten spezifischen Lastfällen zuzuweisen. Theoretisch wäre es zwar möglich, alle Lasten in einem einzigen Lastfall zu verwalten; jedoch schreiben die Normen unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte für die Parameter *Temperaturdifferenzen*, *Atmosphärische Druckdifferenzen* und *Höhendifferenzen* vor. In DIN 18008-1 [2] beispielsweise sind grundsätzliche Parameter der Einwirkungskombinationen im Abschnitt 6.2.2 angegeben. Abschnitt 8.3.5 regelt die jeweils relevanten Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte ψ in Tabelle 5. Die Modifikationsbeiwerte k_{mod} für die Kombination der Einwirkungen sind im Abschnitt 8.3.7 in Tabelle 6 zu finden. Die unterschiedlichen Beiwerte erfordern somit eine separate Verwaltung der Klimalasten.



Folgendes Vorgehen ist zu empfehlen:

- Anlegen von drei „leeren“ Lastfällen für die Temperaturdifferenz, Druckdifferenz und Höhendifferenz in RFEM
- Überlagern der Lastfälle in Einwirkungskombinationen mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten zur Bildung von Lastkombinationen
- Auswählen der relevanten Lastkombination in Maske 1.1 *Basisangaben* von RF-GLAS für die Bemessung (rote Markierung kann ignoriert werden)
- Zuweisen der in der Lastkombination enthaltenen Lastfälle in Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter* (siehe Bild 3.23, Seite 36)

Die [Knowledge Base](#) auf unserer Website enthält ein Beispiel für die Zuordnung von Klimalasten.



Die Lastfälle der Maske 1.6 müssen mit den Vorgaben der Maske 1.1 *Basisangaben* stimmig sein. Falls ein Lastfall nur in Maske 1.6 angegeben und nicht in Maske 1.1 ausgewählt ist, erfolgt keine Bemessung dieses Lastfalls.



Ein ausführliches Beispiel zur Berechnung klimatischen Lasten finden Sie in einem Fachbeitrag der [Knowledge Base](#).

3.6.2 Klimatische Lastparameter - Winter

Klimatische Lastparameter - Sommer | **Klimatische Lastparameter - Winter**

Klimalasten-Parameter

Winterliche klimatische Belastung verwenden
 Automatische Berechnung der Gastemperatur

Glasaufbau-Parameter

Herstellung			
Atmosphärischer Druck	$p_{p,met}$	0.099	N/mm ²
Höhenlage	H_1	300.0	m
Temperatur	T_p	27.0	°C

Montage

Allgemein

Außenseite

Lufttemperatur	T_e	-10.0	°C
Strahlungstemperatur	$T_{r,e}$	-10.0	°C
Wärmeübergangskoeffizient	$h_{g,e}$	18.00	N/m ² /K

Gas Nr. 1 (Schicht Nr.: 2)

Gastemperatur	T_1	-2.3	°C
Differenz der Gastemperaturen	ΔT_1	-29.3	°C

Gas Nr. 2 (Schicht Nr.: 4)

Gastemperatur	T_2	8.0	°C
Differenz der Gastemperaturen	ΔT_2	-19.0	°C

Innenseite

Lufttemperatur	T_i	19.0	°C
Strahlungstemperatur	$T_{r,i}$	19.0	°C
Wärmeübergangskoeffizient	$h_{g,i}$	3.60	N/m ² /K

Ergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient	U	1.31	N/m ² /K
Sekundärer externer Wärmeübergangsbeiwert	q_e	0.04	-
Sekundärer interner Wärmeübergangsbeiwert	q_i	0.02	-
Gesamtenergiedurchlassgrad	g	0.76	-

Lastfälle für Klimalasten

Temperaturdifferenzen: LF4
 Atmosphärische Druckdifferenzen: LF3
 Höhendifferenzen: LF1

Äußere Seite

1: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 2: Argon
 3: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 4: Argon
 5: Einscheibensicherheitsglas (ESG)

-2.3°C

8.0°C

Innere Seite

Lokalechse z Richtung
 Unten

Bild 3.25: Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter* für Isolierglas, Register Winter

Die Parameter der klimatischen Bedingungen im Winter sind wie im [Kapitel 3.6.1](#) beschrieben zu definieren. In der Grafik werden die Schichten sowie der Temperaturverlauf dargestellt.



Für Sommer und Winter können dieselben *Lastfälle für Klimalasten* angegeben werden, weil separat zwei Berechnungen erfolgen.

3.7 Isolierglas

Diese Maske wird nur für Scheiben aus Isolierglas angezeigt, d. h. wenn in Maske 1.2 *Schichten* mindestens eine Gasschicht definiert ist.

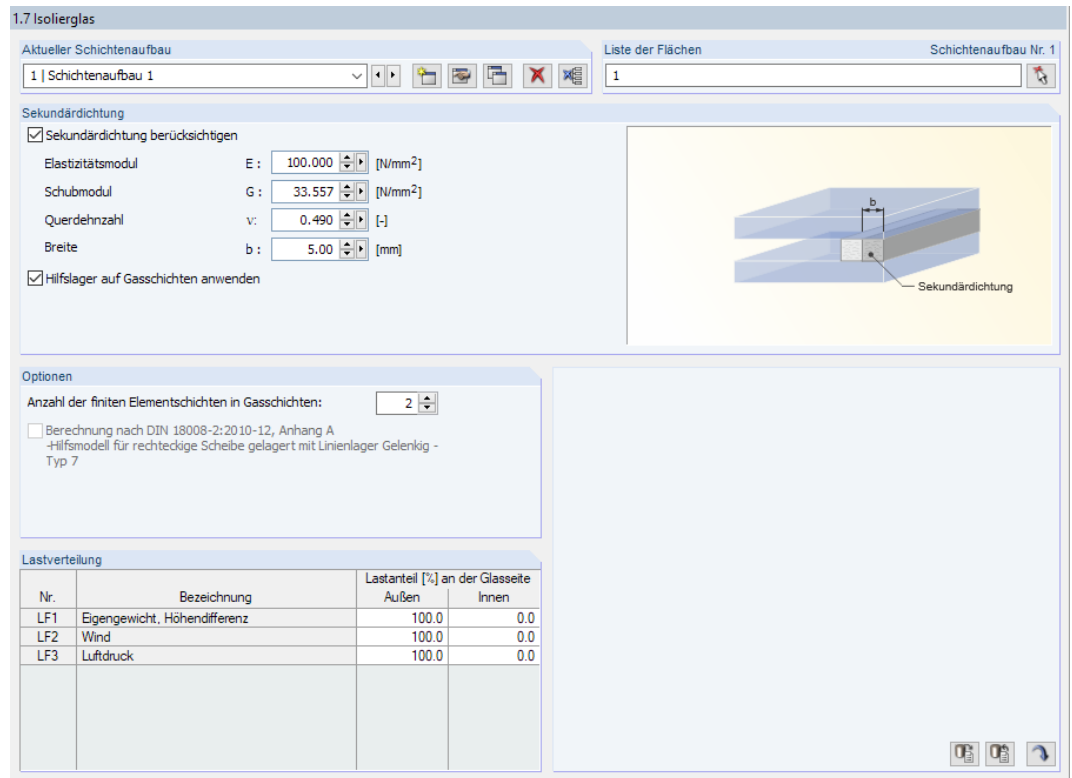
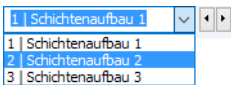


Bild 3.26: Maske 1.7 *Isolierglas*

Aktueller Schichtenaufbau



Die Parameter für Isolierglas sind einem bestimmten *Schichtenaufbau* zuzuordnen. Die Schichtenfolge kann über die Liste oder die Schaltflächen und eingestellt werden.

Liste der Flächen

Dieser Abschnitt steuert, für welche Flächen die Parameter des aktuellen Schichtenaufbaus gültig sind. Die Nummern der Flächen sind im Eingabefeld einzutragen oder mit grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen.

Sekundärdichtung

Die Parameter der Sekundärdichtung beschreiben die Steifigkeit der seitlichen Berandungsfläche, die im FE-Modell für die Gasschicht angenommen wird.

Mit dem Kontrollfeld *Hilfslager auf Gasschichten anwenden* kann das Ausbeulen der seitlichen Berandungsflächen verhindert werden. Damit lässt sich erreichen, dass die Belastung auf die Glasscheiben angesetzt und nicht von den Seitenflächen der Gasschicht absorbiert wird (siehe [Bild 3.27](#)).

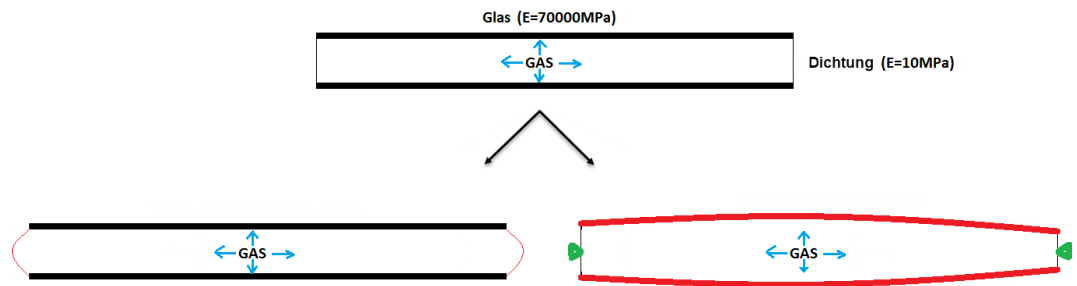


Bild 3.27: Scheibenverformung ohne Hilfslager auf Gasschicht (links) und mit Hilfslager (rechts)

Optionen

Für die meisten Anwendungsfälle ist die voreingestellte *Anzahl der finiten Elementschichten in Gasschichten* ausreichend genau. Die globale Vorgabe für die Verwendung eines geschichteten FE-Netzes ist im Dialog *Details für Schichtenaufbau* vorzunehmen (siehe [Bild 4.9, Seite 53](#)). In Maske 1.7 kann die Detaileinstellung in Hinblick auf die Schichtdicke erfolgen.

Ferner kann in diesem Abschnitt eine vereinfachte Berechnung nach DIN 18008-2 [4] Anhang A oder TRLV [3] Anhang A aktiviert werden. Sie gilt für Modelle, die folgenden Bedingungen genügen:

- Rechteckige Fläche ohne Öffnung
- Genau eine Gasschicht
- Linienlager des Typs *Gelenkig - Typ 7* auf allen Begrenzungslinien
- Belastung nur durch Flächenlast

Für die Berechnung nach TRLV Anhang A werden immer die Kirchhoffsche Plattentheorie und die Theorie I. Ordnung angewandt (siehe [3], [6]).

Lastverteilung

In der Tabelle kann festgelegt werden, wie die in RFEM definierten Lasten anteilmäßig auf die äußere und die innere Glasseite wirken. Die zur Bemessung ausgewählten Einwirkungen sind voreingestellt.

Die Lage der Seiten ist gemäß der Definition in Maske 1.2 *Schichten* (siehe [Bild 3.8, Seite 20](#)) geregelt.

Eigengewicht und Klimlasten werden automatisch richtig zugeordnet.



Ein Beispiel zu unterschiedlichen Lastverteilungen finden Sie in der [Knowledge Base](#) auf unserer Website.

3.8 Lasteinwirkungsdauer

Diese Maske verwaltet die Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) mit den zugehörigen Modifikationsbeiwerten k_{mod} , die sich auf den Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d auswirken.

1.8 Lasteinwirkungsdauer

Zuordnung der Einwirkungsdauer zur Belastung

Belastung	A		B	C	D	E	F
	Bezeichnung	Belastungstyp	Klasse der Lasteinwirkungsdauer - KLED	Manuell	Beiwert k_{mod}	Kommentar	
LF1	Eigengewicht, Höhendifferenz	Ständige Lasten	Ständig	<input type="checkbox"/>	0.25		
LF2	Wind	Wind	Ständig	<input type="checkbox"/>	0.25		
LF3	Luftdruck	Einwirkungen aus Klima sowie	Mittel	<input type="checkbox"/>	0.40		
LF4	Temperaturdifferenz	Temperatur (ohne Brand)	Kurz	<input type="checkbox"/>	0.70		
LK3	1.35G + 1.50Qw + 0.90QT		Kurz	<input type="checkbox"/>	0.70		
LK5	1.35G + 1.50Qw + 0.90Qc		Mittel	<input type="checkbox"/>	0.40		
LK8	1.35G + 0.90Qw + 0.90Qc + 1.50QT		Kurz	<input type="checkbox"/>	0.70		
LK12	1.35G + 0.90Qw + 1.50Qc + 0.90QT		Kurz	<input type="checkbox"/>	0.70		
LK17	G + Qw + 0.60Qc + 0.60QT		Kurz	<input type="checkbox"/>	0.70		

Bild 3.28: Maske 1.8 Lasteinwirkungsdauer

Belastung

Es sind alle Einwirkungen aufgelistet, die in Maske 1.1 Basisangaben für die Nachweise ausgewählt wurden. Bei Kombinationen werden auch die enthaltenen Lastfälle angegeben.

Bezeichnung

Die Lastfallbezeichnungen erleichtern die Klassifizierung.

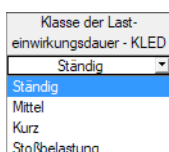
Belastungstyp

Diese Spalte zeigt die Einwirkungstypen der Lastfälle an, wie sie beim Anlegen in RFEM festgelegt wurden. Sie bilden die Grundlage der Voreinstellungen in der folgenden Spalte.

Klasse der Lasteinwirkungsdauer

Für die Nachweise sind die Lasten und deren Überlagerungen jeweils einer Klasse der Lasteinwirkungsdauer zuzuweisen. Die Klassifizierung von Einwirkungen orientiert sich an [2] Tabelle 6.

Die Lasteinwirkungsdauer kann über die links gezeigte Liste geändert werden: Klicken Sie die Zelle in Spalte C an und setzen das Feld aktiv. Dadurch wird die Schaltfläche zugänglich (siehe Bild 3.28). Bei Lastkombinationen und Oder-Ergebniskombinationen nimmt RF-GLAS die Klassifizierung automatisch unter Berücksichtigung der jeweils führenden Einwirkung bzw. der enthaltenen Lastfälle vor.



Manuell

Um die Klasse der Lasteinwirkungsdauer und damit den Beiwert k_{mod} einer Last- oder Ergebniskombination zu ändern, ist das Kontrollfeld in dieser Spalte anzuhaken. Danach ist das Eingabefeld in Spalte C zugänglich.

Beiwert k_{mod}

Die Modifikationsbeiwerte werden für die unterschiedlichen Klassen der Lasteinwirkungsdauer angezeigt (siehe [2] Tabelle 6). Sie beeinflussen die Festigkeitseigenschaften des Materials.

Norm

Die voreingestellten Beiwerte k_{mod} können im Dialog *Norm* eingesehen werden (siehe Bild 3.7, Seite 18), der über die gleichnamige Schaltfläche aufrufbar ist.

3.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Die letzte Eingabemaske steuert die Vorgaben für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Sie wird angezeigt, wenn im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 Lastfälle oder Kombinationen für die Bemessung ausgewählt wurden (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 17).

1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Zuordnung der Bezugslängen zu den Flächen

Nr.	A	B	C	D	E	F
	Liste der Flächen	Bezugslänge Typ	L [m]	Krag- träger	Verformung bezogen auf	Kommentar
1	1	Minimale Begrenzungslinie	1.250	<input type="checkbox"/>	Unverformtes System	
2	2	Minimale Begrenzungslinie	1.500	<input type="checkbox"/>	Unverformtes System	
3	3	Benutzerdefiniert	2.250	<input type="checkbox"/>	Unverformtes System	
4		Minimale Begrenzungslinie Maximale Begrenzungslinie Benutzerdefiniert				

Bild 3.29: Maske 1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

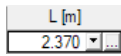
Liste der Flächen

In dieser Spalte sind die Nummern der nachzuweisenden Flächen anzugeben. Über die Schaltfläche , die mit einem Klick in das Eingabefeld erscheint, lassen sie sich auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster bestimmen.

Die Bezugslängen der Flächen werden automatisch in Spalte C eingetragen.

Bezugslänge

In Spalte C werden die Längen der *Minimalen Begrenzungslinie* (kürzesten Randlinie) angegeben, die in den ausgewählten Flächen existieren. Für die Voreinstellung werden die Längen der Einzellinien herangezogen, d. h. Linienzüge bleiben unberücksichtigt!



Um eine Bezugslänge anzupassen, ist das Feld in Spalte B mit einem Mausklick aktiv zu setzen und mit der Schaltfläche die Liste zu öffnen (siehe Bild 3.29). Mit der Option *Benutzerdefiniert* wird das Eingabefeld *L* in Spalte C zugänglich. Die Länge kann dort eingetragen, über in einer Liste ausgewählt oder mit im RFEM-Arbeitsfenster grafisch bestimmt werden.

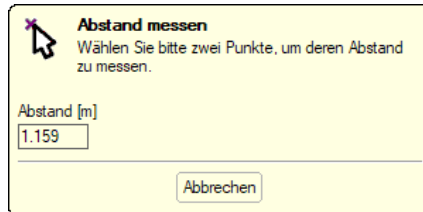


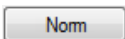
Bild 3.30: Referenzlänge grafisch bestimmen



Manuelle Korrekturen sind z. B. für Flächen erforderlich, die innerhalb anderer Flächen liegen oder geteilte Randlinien aufweisen.

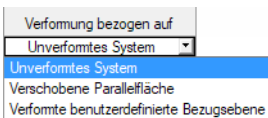
Kragträger

Für die korrekte Ermittlung der Grenzverformungen ist anzugeben, ob eine allseitig gestützte oder eine auskragende Fläche vorliegt.



Beim Nachweis der Durchbiegung gelten für Kragflächen höhere Grenzwerte. Diese können im Dialog *Norm* überprüft und bei Bedarf angepasst werden (siehe Bild 3.7, Seite 18).

Verformung bezogen auf



Bei der Berechnungsart *Lokal* können die Verformungen nur auf das unverformte System bezogen werden. Wurde in Maske 1.1 *Basisangaben* jedoch die Berechnung *Global* als gesamtes Modell in RFEM vorgegeben (siehe Kapitel 3.1, Seite 15), so bietet die Liste drei Auswahlmöglichkeiten.

- *Unverformtes System:* Die Verformung wird auf das Ausgangssystem bezogen.
- *Verschobene Parallelfäche:* Diese Option ist bei einer nachgiebigen Lagerung der Fläche zu empfehlen. Die Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ wird auf eine parallel zum unverformten System verschobene, virtuelle Referenzfläche bezogen. Der Verschiebungsvektor der Bezugsfläche ist so lang wie die kleinste Knotenverformung in der Fläche.

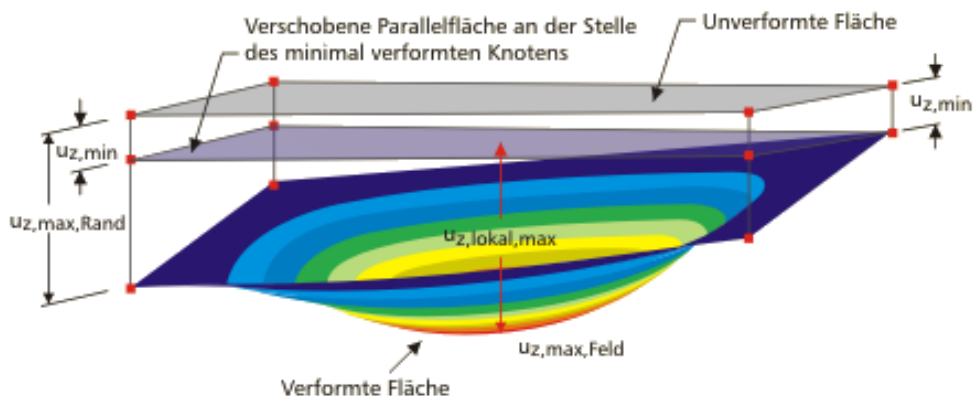


Bild 3.31: Verschobene Parallelfäche (Verschiebungsvektor: kleinste Knotenverformung $u_{z, \text{min}}$)

- Verschobene Referenzebene:** Wenn sich die Lager einer Fläche stark unterschiedlich verformen, kann eine geneigte Bezugsebene für die nachzuweisende Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ definiert werden. Diese Ebene ist durch drei Punkte des unverformten Systems festzulegen. Das Programm ermittelt die Verformung der drei Definitionspunkte, legt die Bezugsebene durch diese verschobenen Punkte und berechnet dann die lokale Verformung $u_{z, \text{lokal}}$.

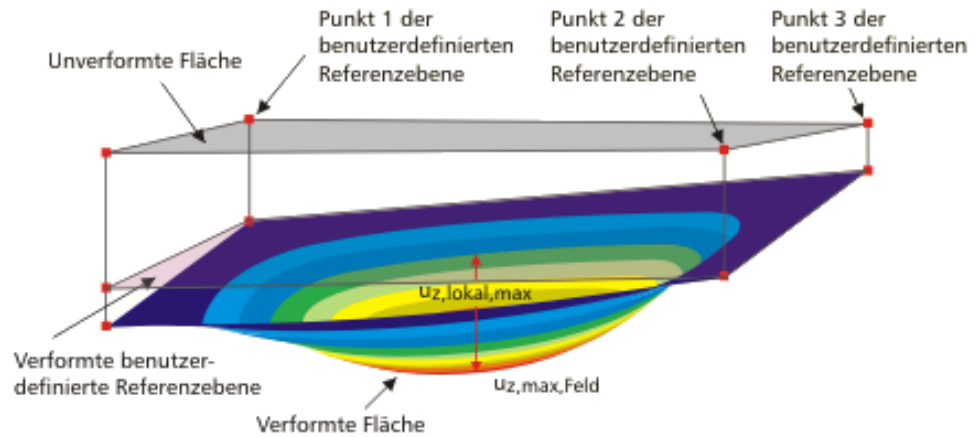


Bild 3.32: Verschobene benutzerdefinierte Referenzebene

4 Berechnung

Berechnungsart

- Lokal - Jede Glasfläche als individuelles Modell
- Global - Gesamtes Modell in RFEM

Mit der Standard-Berechnungsart *Lokal* (siehe [Kapitel 3.1, Seite 15](#)) erfolgt die Berechnung der ausgewählten Flächen in RF-GLAS an herausgelösten Systemen. Die Flächen werden separat untersucht, d. h. ohne Wechselwirkung mit dem in RFEM erzeugten Modell.

Das folgende Beispiel zeigt, wie sich die Modellierung in RFEM trotzdem auf die Berechnung mit RF-GLAS auswirkt.

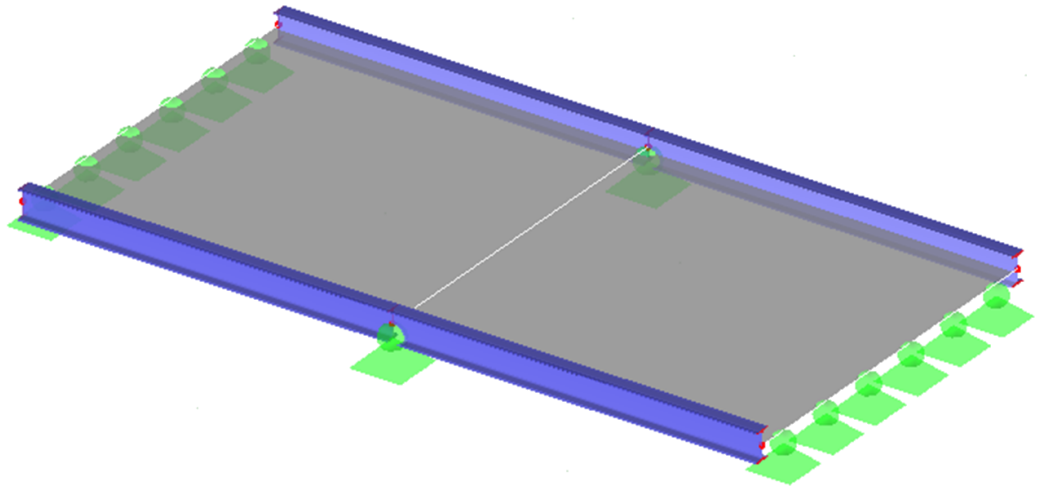


Bild 4.1: RFEM-Modell

Modellierung mit einer Fläche

In RFEM wird eine einzige Fläche definiert und in der Mitte eine Linie gesetzt. Die Berechnung in RF-GLAS erfolgt damit am gleichen Modell wie in RFEM.

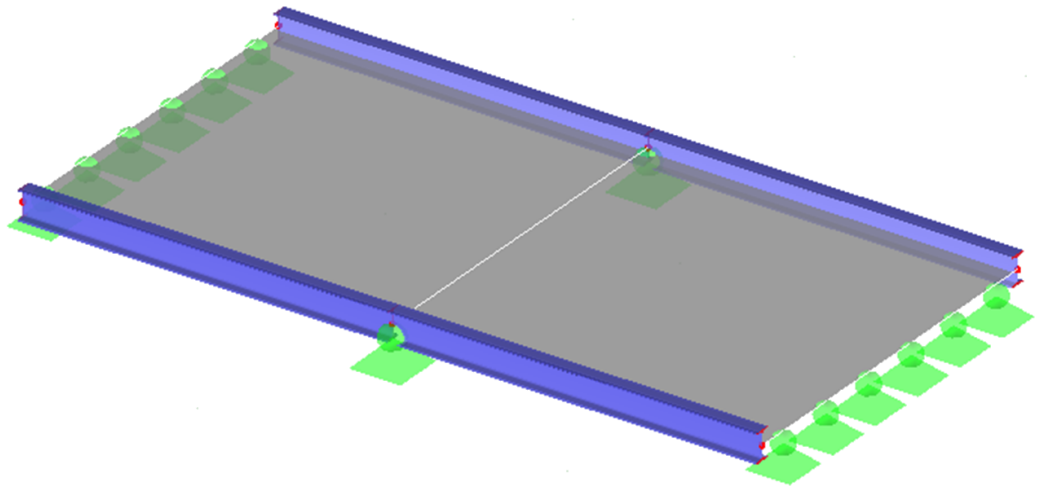


Bild 4.2: RF-GLAS-Modell mit einer Fläche des Typs *Glas*

Modellierung mit zwei Flächen

Das Beispiel lässt sich in RFEM auch mit zwei Flächen modellieren, wenn die Linie in der Mitte eine Randlinie für die Flächen darstellt. In diesem Fall werden in RF-GLAS zwei getrennte Modelle erzeugt. Dabei ist erkennbar, dass an gemeinsamen Linien oder Knoten erzeugte Lager (hier Knotenlager) für beide Flächen gelten.

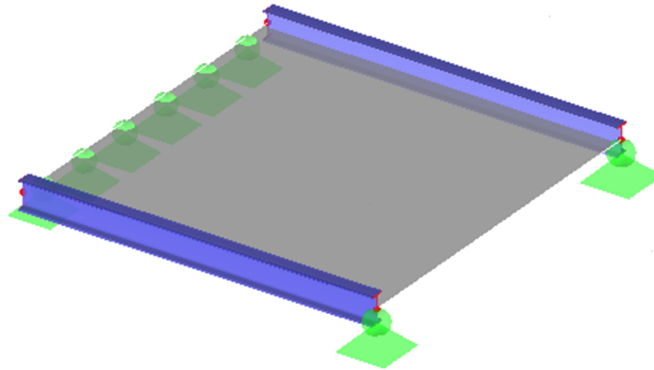


Bild 4.3: RF-GLAS-Modell der Fläche Nr. 1

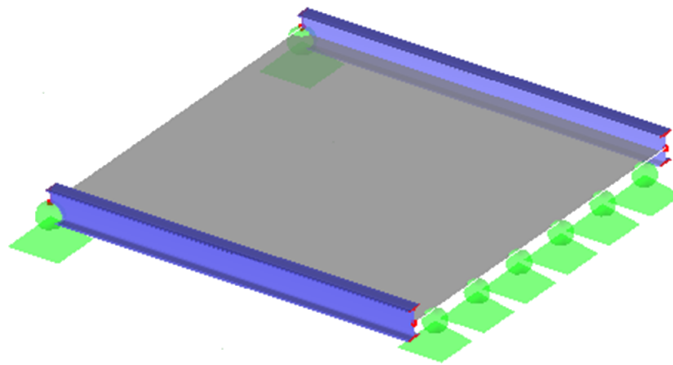


Bild 4.4: RF-GLAS-Modell der Fläche Nr. 2

4.1 Detaileinstellungen

Details...

Vor dem Start der Berechnung sollten die Bemessungsdetails überprüft werden. Der entsprechende Dialog ist in jeder Maske des Zusatzmoduls über die Schaltfläche [Details] zugänglich.

Der Dialog *Details* gliedert sich in die Register *Spannungen* und *Ergebnisse*.

Die Schaltflächen unten im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Einheiten und Dezimalstellen	Öffnet den Dialog <i>Einheiten und Dezimalstellen</i> → Kapitel 7.1, Seite 74
	Dlubal-Standardwerte	Liest die ursprünglichen Dlubal-Einstellungen ein
	Standard	Liest benutzerdefinierte Standardeinstellungen ein
	Als Standard setzen	Speichert geänderte Einstellungen als Standard

Tabelle 4.1: Schaltflächen im Dialog *Details*

4.1.1 Spannungen

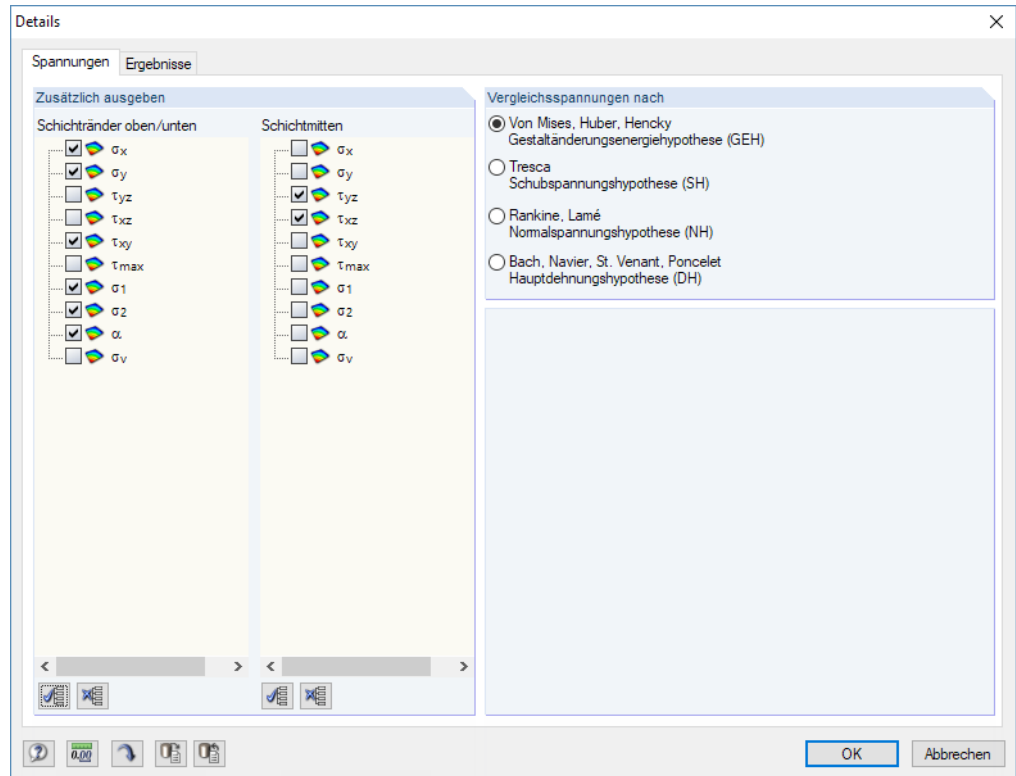


Bild 4.5: Dialog Details, Register Spannungen

Zusätzlich ausgeben



Die Kontrollfelder in diesem Abschnitt steuern, welche Spannungen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.4 angezeigt werden. Die Spannungen sind in die Kategorien *Schichtränder oben/unten* und *Schichtmitten* unterteilt. Die Schaltflächen [Alles selektieren] und [Alles deselektieren] am Ende der Liste erleichtern die Auswahl.

Die Grundspannungen σ_x , σ_y , τ_{xy} , τ_{xz} und τ_{yz} werden in RFEM nach der Finite-Elemente-Methode bestimmt. Weitere Spannungen werden in RF-GLAS aus diesen Grundspannungen ermittelt. In [Tabelle 4.2](#) werden die Formeln vorgestellt, die für eine Einzelschichtplatte gelten.

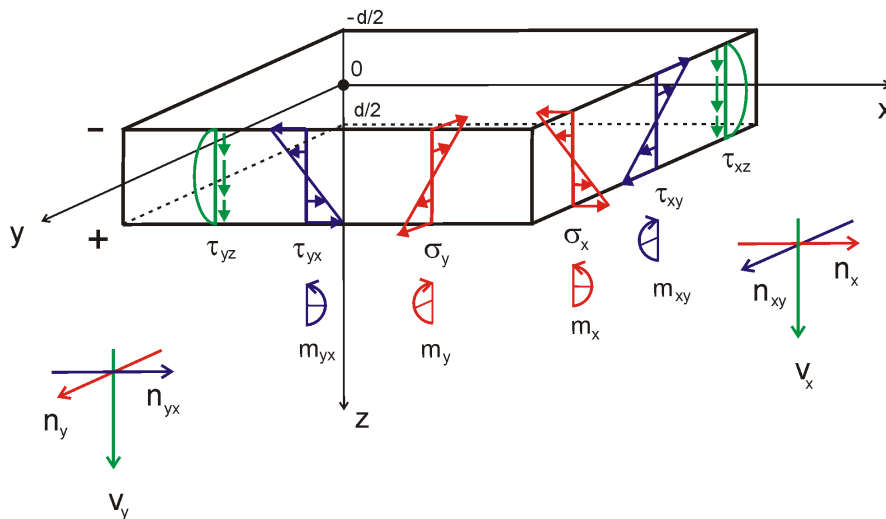


Bild 4.6: Grundspannungen und Vorzeichenregeln für eine biegebeanspruchte Einzelschichtplatte

σ_x	<p>Normalspannung in Richtung der x-Achse</p> <ul style="list-style-type: none"> an positiver Flächenseite: $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6 m_x}{d^2}$ <p>mit d = Scheibendicke</p> <ul style="list-style-type: none"> an negativer Flächenseite: $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6 m_x}{d^2}$	
σ_y	<p>Normalspannung in Richtung der y-Achse</p> <ul style="list-style-type: none"> an positiver Flächenseite: $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6 m_y}{d^2}$ <ul style="list-style-type: none"> an negativer Flächenseite: $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6 m_y}{d^2}$	
τ_{xy}	<p>Schubspannung in xy-Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> an positiver Flächenseite: $\tau_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6 m_{xy}}{d^2}$ <ul style="list-style-type: none"> an negativer Flächenseite: $\tau_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 m_{xy}}{d^2}$	
τ_{xz}	<p>Schubspannung in xz-Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> in Plattenmitte: $\tau_{xz} = \frac{3 v_x}{2 d}$	
τ_{yz}	<p>Schubspannung in yz-Ebene</p> <ul style="list-style-type: none"> in Plattenmitte: $\tau_{yz} = \frac{3 v_y}{2 d}$	

Tabelle 4.2: Grundspannungen

Die Spannungen in den einzelnen Schichten werden generell aus den Gesamtdehnungen der Platte berechnet:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{tot}}^T = \left[\frac{\partial \varphi_y}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}, \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial x} + \varphi_y, \frac{\partial w}{\partial y} - \varphi_x, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] \quad (4.1)$$

Die Dehnungen in den einzelnen Schichten werden wie folgt ermittelt:

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{z}) = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \\ -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

mit z : Koordinate in Richtung der z -Achse, in der der Spannungswert gesucht wird

Handelt es sich beispielsweise um die i -te Schicht, so wird die Spannung mit folgender Gleichung ermittelt:

$$\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{z}) = \mathbf{d}_i \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{z}) \quad (4.3)$$

mit \mathbf{d}_i : Teilsteifigkeitsmatrix der i -ten Schicht

Der Einfluss der Querschubspannungen wird ausgedrückt durch die Größe:

Maximale Querschubspannung	
τ_{\max}	$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2}$

Tabelle 4.3: Maximale Querschubspannung

Die folgende [Tabelle 4.4](#) zeigt die Gleichungen, die zur Berechnung der maximalen Spannungen (Hauptspannungen) und Vergleichsspannungen verwendet werden.

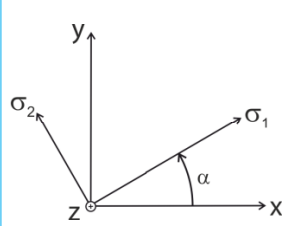
	Hauptspannung in Richtung der Achse 1	
σ_1	$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$	
	Hauptspannung in Richtung der Achse 2	
σ_2	$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$	
	Winkel zwischen der lokalen x-Achse und der Richtung der ersten Hauptspannung	
	$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(2\tau_{xy}, \sigma_x - \sigma_y), \quad \alpha \in (-90^\circ, 90^\circ)$	
α	Die Funktion atan2 ist wie folgt implementiert:	
	$\operatorname{atan2}(y,x) = \begin{cases} \arctan \frac{y}{x} & x > 0 \\ \arctan \frac{y}{x} + \pi & y \geq 0, x < 0 \\ \arctan \frac{y}{x} - \pi & y < 0, x < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ 0 & y = 0, x = 0 \end{cases}$	
	Vergleichsspannung nach VON MISES, HUBER, HENCKY (Gestaltänderungshypothese)	
	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$	
	Vergleichsspannung nach TRESCA (Schubspannungshypothese)	
	$\sigma_v = \max \left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \frac{ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \right]$	
σ_v	Vergleichsspannung nach RANKINE, LAMÉ (Normalspannungshypothese)	
	$\sigma_v = \frac{ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$	
	Vergleichsspannung nach BACH, NAVIER, ST. VENANT, PONCELET (Hauptdehnungshypothese)	
	$\sigma_v = \max \left[\frac{1-\nu}{2} \sigma_x + \sigma_y + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \nu \sigma_x + \sigma_y \right]$	

Tabelle 4.4: Haupt- und Vergleichsspannungen

Vergleichsspannungen nach

- Von Mises, Huber, Hencky
Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
- Tresca
Schubspannungshypothese (SH)
- Rankine, Lamé
Normalspannungshypothese (NH)
- Bach, Navier, St. Venant, Poncelet
Hauptdehnungshypothese (DH)

Vergleichsspannungen nach

Die Vergleichsspannungen können nach vier verschiedenen Hypothesen ermittelt werden.

Von Mises, Huber, Hencky (Gestaltänderungsenergiehypothese)

Die Gestaltänderungsenergiehypothese ist auch als HMM-Theorie (HUBER, MISES, HENCKY) bekannt. Die Vergleichsspannungen werden wie folgt berechnet:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2} \quad (4.4)$$

Tresca (Schubspannungshypothese)

Die Vergleichsspannung wird üblicherweise wie folgt ermittelt:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_1 - \sigma_3|, |\sigma_2 - \sigma_3|), \quad (4.5)$$

Bei $\sigma_3 = 0$ kann vereinfacht werden:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_1|, |\sigma_2|) \quad (4.6)$$

Dies führt zu folgender Gleichung:

$$\sigma_v = \max \left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_{xy}^2}, \frac{|\sigma_x + \sigma_y| + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_{xy}^2}}{2} \right] \quad (4.7)$$

Rankine, Lamé (Normalspannungshypothese)

Nach dieser Hypothese ermittelt sich die Vergleichsspannung aus den größten Absolutwerten der Hauptspannungen.

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|) \quad (4.8)$$

Bei $\sigma_3 = 0$ kann vereinfacht werden:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|) \quad (4.9)$$

Dies führt zu folgender Gleichung:

$$\sigma_v = \frac{|\sigma_x + \sigma_y| + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_{xy}^2}}{2} \quad (4.10)$$

Bach, Navier, St. Venant, Poncelet (Hauptdehnungshypothese)

Bei dieser Hypothese wird davon ausgegangen, dass das Versagen in Richtung der größten Dehnung auftritt. Die Vergleichsspannung wird wie folgt ermittelt:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)|, |\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)|, |\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)|) \quad (4.11)$$

Bei $\sigma_3 = 0$ kann vereinfacht werden:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \nu\sigma_2|, |\sigma_2 - \nu\sigma_1|, \nu|\sigma_1 + \sigma_2|) \quad (4.12)$$

Dies führt zu folgender Gleichung:

$$\sigma_v = \max \left[\frac{1-\nu}{2} |\sigma_x + \sigma_y| + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_{xy}^2}, \nu |\sigma_x + \sigma_y| \right] \quad (4.13)$$



In den Gleichungen für die Vergleichsspannungen werden die Einflüsse der Schubspannungen τ_{xz} und τ_{yz} vernachlässigt.

4.1.2 Ergebnisse

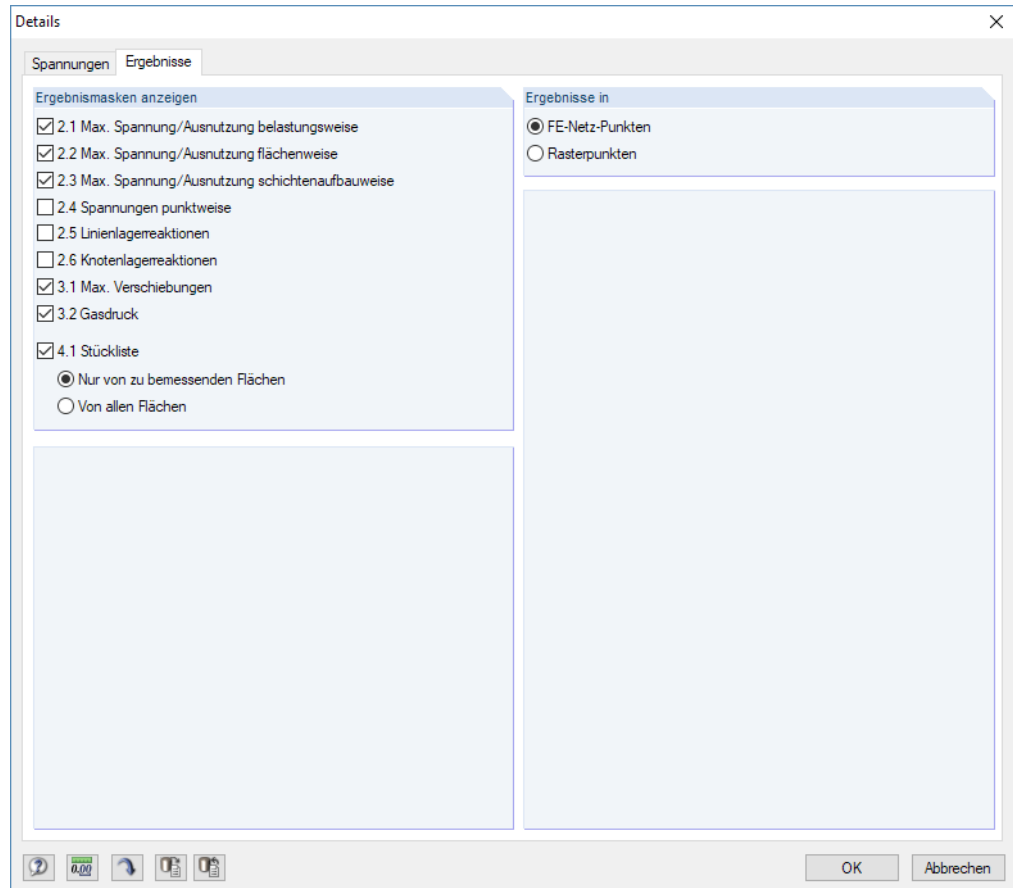


Bild 4.7: Dialog *Details*, Register *Ergebnisse*

Ergebnistabellen anzeigen

In diesem Abschnitt kann festgelegt werden, welche Ergebnismasken angezeigt werden sollen (Spannungen, Lagerreaktionen, Verschiebungen, Gasdruck, Stücklisten).

Die Ergebnismasken sind im [Kapitel 5](#) beschrieben.

Ergebnisse in

Spannungen und Verschiebungen werden standardmäßig in allen FE-Netz-Punkten angezeigt. Alternativ können die Ergebnisse in den Rasterpunkten dargestellt werden (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 8.13). Die Rasterpunkte sind in RFEM als Eigenschaft einer Fläche hinterlegt.



Bei kleinen Flächen kann die Standardmaschenweite des Rasters von 0,5 m dazu führen, dass nur wenige Rasterpunkte (oder sogar nur ein ErgebnISRasterpunkt im Ursprung) existieren. Der Abstand der Rasterpunkte sollte dann in RFEM an die Flächenabmessungen angepasst werden, um mehr Rasterpunkte zu erzeugen.

4.2 Details für Schichtenaufbau

In den Masken 1.2 bis 1.7 steht im Dialogabschnitt *Aktueller Schichtenaufbau* die Schaltfläche zur Verfügung.



Bild 4.8: Schaltfläche [Details für Schichtenaufbau bearbeiten]

Sie ruft den Dialog *Details für Schichtenaufbau* auf.

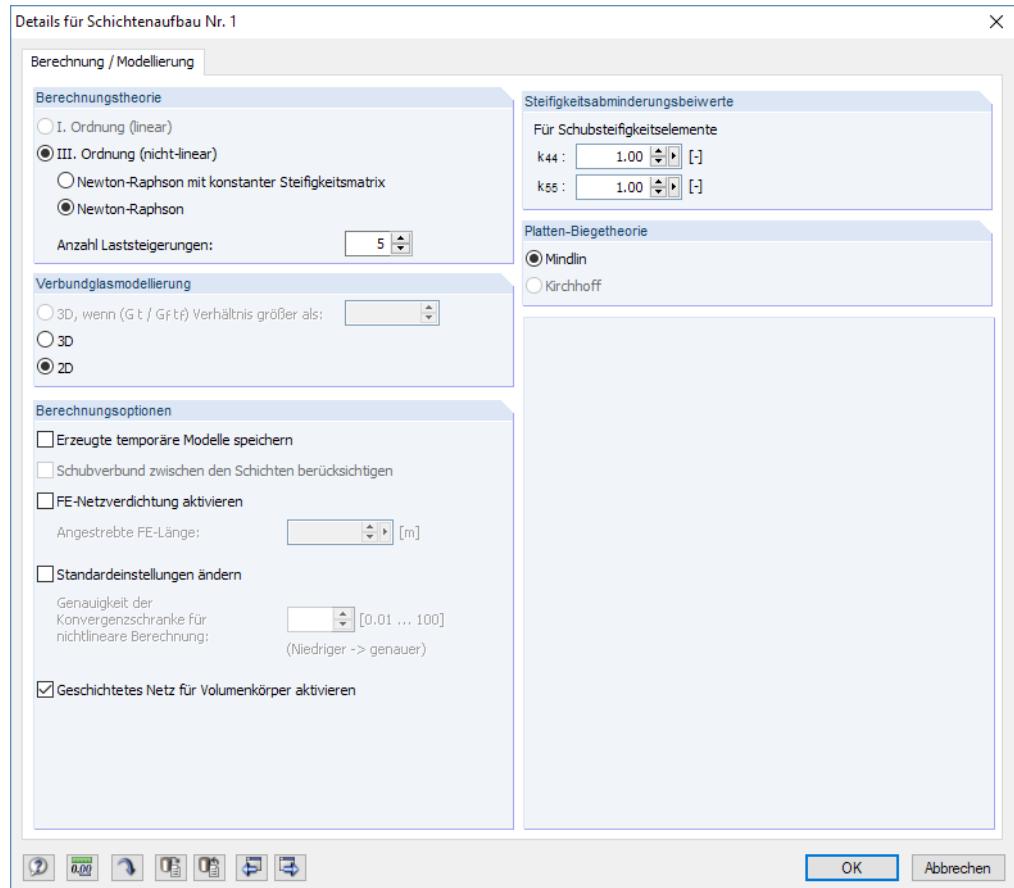


Bild 4.9: Dialog *Details für Schichtenaufbau* für Isolierglas

Berechnungstheorie

Dieser Abschnitt steuert, ob die Berechnung linear nach Theorie *I. Ordnung* oder nichtlinear nach Theorie *III. Ordnung* erfolgt. Für Verbundglas ist die Berechnung nach Theorie *I. Ordnung*, für Isolierglas nach *III. Ordnung* voreingestellt.

Die Gasschicht im Scheibenzwischenraum eines Isolierglases bringt zu nichtlineare Effekte mit sich, die selbst bei kleinen Lastwerten zu Unterschieden zwischen der Berechnung nach Theorie *I.* und *III.* Ordnung führen. Letztere liefert genauere Ergebnisse. Hierbei erfolgt eine iterative Berechnung der Volumenelemente nach Newton-Raphson mit konstanter Steifigkeitsmatrix oder Newton-Raphson. Die Unterschiede zwischen den Verfahren sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 7.3.1.1 erläutert.

Bei Theorie *III. Ordnung* kann die Anzahl der *Laststeigerungen* festgelegt werden, die die iterative Berechnung bei der Berücksichtigung großer Verformungen steuern. Mit den voreingestellten 5 Belastungsstufen wird im ersten Schritt 20 %, im zweiten Schritt 40 % der Last etc. angesetzt

und jeweils so lange iteriert, bis das Gleichgewicht gefunden ist. Die volle Belastung wird damit erst in der fünften Laststufe auf das bereits verformte Modell aufgebracht. Eine größere Anzahl an Laststufen bedeutet ein verbessertes Konvergenzverhalten, aber auch eine längere Rechenzeit.

Verbundglasmodellierung

Wie in [Kapitel 2.2.2](#) auf [Seite 6](#) beschrieben, kann die Standardtheorie bei Verbundglas zu inkorrekten Ergebnissen führen. Wenn das Verhältnis $(G \cdot t)/(G_f \cdot t_f)$ größer ist als der definierte Grenzwert (Voreinstellung: 1 000), erfolgt die Berechnung als 3D-Modell. Dabei ist G der Schubmodul des Glases, t die Dicke der Glasschicht, G_f der Schubmodul der Folie und t_f die Foliendicke.

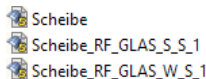
Die Modellierungart kann auch manuell auf 2D oder 3D gesetzt werden. 3D-Berechnungen sind genauer, jedoch zeitaufwendiger.



Eine 3D-Modellierung ist nur auswählbar, wenn der Schubverbund zwischen den Schichten berücksichtigt wird (siehe folgender Abschnitt).

Berechnungsoptionen

Die Option *Erzeugte temporäre Modelle speichern* ermöglicht es, die Modellierung in RF-GLAS auch für RFEM verfügbar zu machen: Wie in [Kapitel 3.3](#) erwähnt, sind Lager oder Randstäbe direkt im Modul RF-GLAS einzugeben. Sie haben keinen Einfluss auf das bestehende RFEM-Modell. Ist das Kontrollfeld angehakt, so werden beim Speichern in RF-GLAS die Modelle des Moduls als neue RFEM-Dateien abgelegt. Sie sind im selben Projektordner wie die Originaldatei zu finden und durch *RF_GLAS*-Zusätze im Dateinamen gekennzeichnet. Nach dem Öffnen einer solchen Datei können die Modelle mit allen Lagern, Stäben, Volumenkörpern etc. in RFEM überprüft werden.



Das Kontrollfeld *Schubverbund zwischen den Schichten berücksichtigen* ist bei Verbundglas mit Folien standardmäßig aktiviert. Damit wird der Schubwiderstand der Verbundfolie für die Steifigkeit berücksichtigt. Der Schubverbund zwischen den Schichten ist im [Kapitel 2.2.2](#) ab [Seite 6](#) beschrieben.

Optional lässt sich eine *FE-Netzverdichtung aktivieren*. In diesem Fall kann die angestrebte Kantenlänge der finiten Elemente manuell vorgegeben werden. Ein Beispiel hierzu finden Sie in der [Knowledge Base](#) auf unserer Website.

Über das Kontrollfeld *Standardeinstellungen ändern* kann die Genauigkeit der Konvergenzschranke für die nichtlineare Berechnung beeinflusst werden. Der Faktor 1,0 ist voreingestellt. Der minimal zulässige Wert ist 0,01, der Maximalwert 100. Je größer der Wert, desto unempfindlicher reagiert die Konvergenzschranke.

Bei einer 3D-Berechnung, die auch für die Glasschicht von Isolierglas gilt, ist ein *Geschichtetes Netz für Volumenkörper* standardmäßig aktiviert. Damit werden mehrere Schichten von Volumenelementen zwischen den beiden Scheiben erzeugt, die eine genauere Analyse ausgedehnter Volumen-Geometrien mit geringer Höhe erlauben. Ein geschichtetes Netz sollte nur für Ausnahmefälle wie doppelt gekrümmte Isolierglasscheiben deaktiviert werden. In der [Knowledge Base](#) auf unserer Website finden Sie ein Beispiel für ein geschichtetes Volumen-FE-Netz.

Steifigkeitsabminderungsbeiwerte

In diesem Dialogabschnitt können die Schubsteifigkeitselemente D_{44} und D_{44} durch entsprechende Abminderungsbeiwerte k reduziert werden.

Die Steifigkeitsmatrixelemente sind in [Gleichung 2.11](#) auf [Seite 10](#) und in [Gleichung 2.15](#) auf [Seite 12](#) vorgestellt.

Platten-Biegetheorie

Flächen können berechnet werden nach der Biegetheorie von

- *Mindlin* oder
- *Kirchhoff*.

Bei der Berechnung nach Mindlin werden Schubdehnungen eingeschlossen, nach Kirchhoff werden diese nicht berücksichtigt.



Die Biegetheorie nach Mindlin eignet sich für dicke Platten, die nach Kirchhoff dagegen für relativ dünne Platten.

Da die Schubspannungen τ_{xz} und τ_{yz} in der Theorie nach Kirchhoff nicht genau errechnet werden, werden diese aus den Gleichgewichtsbedingungen wie folgt ermittelt:

$$\tau_{xz,max} = \frac{3}{2} \frac{v_x}{t} = 1,5 \frac{v_x}{t} \tag{4.14}$$

$$\tau_{yz,max} = \frac{3}{2} \frac{v_y}{t} = 1,5 \frac{v_y}{t} \tag{4.15}$$

4.3 Start der Berechnung



In jeder Eingabemaske des Moduls RF-GLAS kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

Die Berechnung ist auch aus der RFEM-Oberfläche möglich: Im Dialog *Zu berechnen* (Menü **Berechnung** → **Zu berechnen**) sind die Zusatzmodule wie Lastfälle oder Kombinationen aufgelistet.

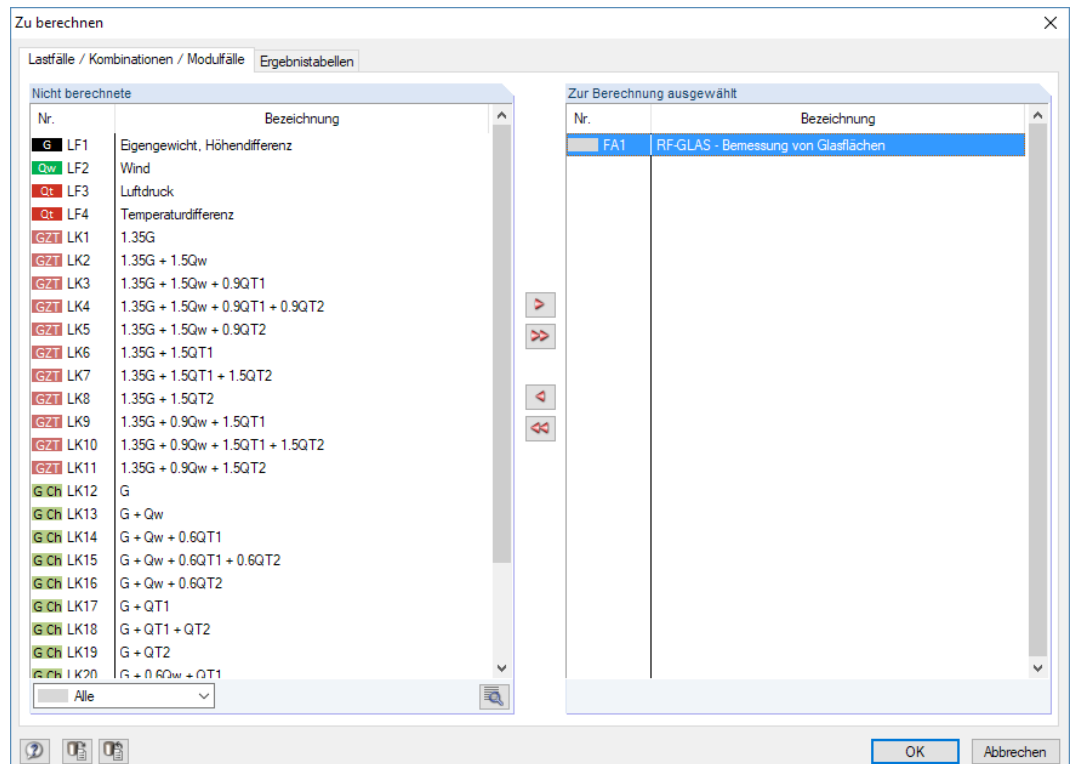


Bild 4.10: RFEM-Dialog *Zu berechnen*

Mit der Schaltfläche wird der selektierte RF-GLAS-Analysefall in die rechte Liste übergeben. [OK] startet dann die Berechnung.

Der Ablauf der Bemessung kann anschließend in einem Dialog verfolgt werden.

5 Ergebnisse

Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 Max. Spannungswert belastungsweise.

The screenshot shows a software window titled 'RF-GLAS - [Isolierglasscheibe]' with a sub-window '2.1 Max. Spannungswert belastungsweise'. It contains a table with columns for load, area, point, coordinates, layer, side, and stress components. Below the table is a diagram showing stress distribution across a cross-section with values like -2.27 N/mm² and 2.29 N/mm². A legend on the right identifies materials like TVG aus Gussglas and Argon. At the bottom, there are buttons for 'Berechnung', 'Details...', 'Norm', 'Grafik', 'OK', and 'Abbrechen'.

Belastung	A Fläche Nr.	B Punkt Nr.	C Punkt-Koordinaten [m]			D X	E Y	F Z	G Nr.	H Schicht	I Seite	J Spannungen [N/mm²], [°]		K Vorhanden	L Grenz	M Ausnutzung [%]	Diagr. im Protokoll
LF1	Sommer, Eigengewicht, Höhendifferenz																
	1	6	1.750	0.000	-0.750	5	32.00	Oben	σ_x		2.29	7.64		0.30			
	1	6	1.750	0.000	-0.750	5	32.00	Oben	σ_y		2.29	7.64		0.30			
	1	154	0.203	0.000	-0.703	5	34.00	Mitte	τ_{yz}		0.02						
	1	5	0.250	0.000	-0.750	5	34.00	Mitte	τ_{xz}		0.20						
	1	138	1.703	0.000	-0.797	5	32.00	Oben	τ_{xy}		-0.79						
	1	6	1.750	0.000	-0.750	1	4.00	Unten	σ_1		2.67	7.64		0.35			
	1	5	0.250	0.000	-0.750	5	36.00	Unten	σ_2		-2.63						
	1	41	1.000	0.000	-1.000	1	4.00	Unten	α		90.00						
LF1	Winter, Eigengewicht, Höhendifferenz																
	1	6	1.750	0.000	-0.750	5	32.00	Oben	σ_x		2.36	7.64		0.31			
	1	6	1.750	0.000	-0.750	5	32.00	Oben	σ_y		2.34	7.64		0.31			
	1	154	0.203	0.000	-0.703	1	2.00	Mitte	τ_{yz}		-0.02						
	1	5	0.250	0.000	-0.750	5	34.00	Mitte	τ_{xz}		0.21						
	1	138	1.703	0.000	-0.797	5	32.00	Oben	τ_{xy}		-0.80						
	1	6	1.750	0.000	-0.750	5	32.00	Oben	σ_1		2.75	7.64		0.36			
	1	5	0.250	0.000	-0.750	5	36.00	Unten	σ_2		-2.71						
	1	41	1.000	0.000	-1.000	1	4.00	Unten	α		90.00						

Bild 5.1: Ergebnismaske mit Spannungen und Ausnutzungen

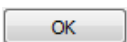
Die Spannungen und Ausnutzungen sind in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.4 nach verschiedenen Kriterien sortiert. Die Masken 2.5 und 2.6 geben Aufschluss über die Lagerreaktionen.

In Maske 3.1 sind die maximalen Verformungen für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit aufgelistet, in Maske 3.2 die Gasdrücke von Isolierglasscheiben.

Die Ergebnismaske 4.1 bietet eine Stückliste der verwendeten Materialien.



Jede Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator direkt ansteuern. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] und [F3] möglich.



[OK] sichert die Ergebnisse. RF-GLAS wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm.

Die Schaltflächen unterhalb der Tabelle (siehe Bild 5.1) erleichtern die Ergebnisauswertung. Sie sind mit den in Tabelle 5.1 erläuterten Funktionen belegt.

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Ansichtsmodus	Ermöglicht den Wechsel in das Arbeitsfenster von RFEM, um die Ansicht zu ändern
	RFEM-Grafik	Blendet die Ergebnisse der aktuellen Zeile in der RFEM-Hintergrundgrafik ein und aus
	Filterparameter	Beschreibt das Kriterium, nach dem die Ausgabe in den Tabellen gefiltert wird: Ausnutzungen größer 1, Maximalwert oder benutzerdefinierte Schranke
	Filter anwenden	Stellt nur Zeilen dar, für die die Filterparameter gelten (Ausnutzungen > 1, Maximalwert, benutzerdefinierter Wert)
	Relationsbalken	Blendet die farbigen Bezugsskalen in den Ergebnismasken ein und aus
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel → Kapitel 7.2, Seite 75

Tabelle 5.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken

5.1 Max. Spannung/Ausnutzung belastungsweise

Die Tabelle bietet eine nach Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen geordnete Zusammenfassung der Extremwerte für jede Fläche. Die Ergebnisse werden für die Einwirkungen ausgegeben, die in Maske 1.1 Basisangaben, Register Tragfähigkeit für die Bemessung ausgewählt wurden (siehe Bild 3.3, Seite 15).

2.1 Max. Ausnutzung belastungsweise

Belastung	Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Schicht Nr.	z [mm]	Seite	Spannungen [N/mm ²], [°]			Ausnutzung [-]	Diagramm im Protokoll
			X	Y	Z				Symbol	Vorhanden	Grenz		
LK3													
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_x	15.13	80.00	0.19	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_y	57.94	80.00	0.72	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	4.00	Mitte	τ_{yz}	-0.40			<input type="checkbox"/>
	1	230	1.900	0.000	-1.000	3	12.38	Mitte	τ_{xz}	-0.80			<input type="checkbox"/>
	1	105	2.000	0.000	-0.400	5	24.76	Unten	τ_{xy}	-10.28			<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_1	57.94	80.00	0.72	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_2	15.13	80.00	0.19	<input type="checkbox"/>
	1	21	1.000	0.000	-0.100	1	0.00	Oben	α	90.00			<input type="checkbox"/>
LK4													
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_x	5.15	80.00	0.06	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_y	19.73	80.00	0.25	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	4.00	Mitte	τ_{yz}	-0.13			<input type="checkbox"/>
	1	230	1.900	0.000	-1.000	3	12.38	Mitte	τ_{xz}	-0.27			<input type="checkbox"/>
	1	105	2.000	0.000	-0.400	5	24.76	Unten	τ_{xy}	-3.51			<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_1	19.73	80.00	0.25	<input type="checkbox"/>
	1	22	1.000	0.000	0.000	1	0.00	Oben	σ_2	5.15	80.00	0.06	<input type="checkbox"/>
	1	21	1.000	0.000	-0.100	1	0.00	Oben	α	90.00			<input type="checkbox"/>

Max. Ausnutzung
 Max. Spannungswert
 Max. Ausnutzung: 0.72 ≤ 1
 >1

Spannung σ_x
 Fläche Nr. 1
 LK3
 X: 1.000 m
 Y: 0.000 m
 Z: 0.000 m

Fläche-Extremwerte
 Min: -15.15 N/mm²
 Max: 15.13 N/mm²

1: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 2: PVB 22 °C Belastung bis 3 mm
 3: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 4: PVB 22 °C Belastung bis 3 mm
 5: Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Lokalechse z Richtung
 Unten

Bild 5.2: Maske 2.1 Max. Ausnutzung belastungsweise

Max. Ausnutzung Max. Spannungswert

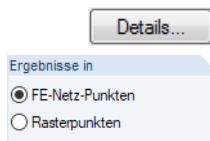
Die Ergebnisse werden standardmäßig nach den maximalen Ausnutzungen geordnet angezeigt. Maßgebend ist hierfür die Tabellenspalte L. Alternativ lassen sich die Ergebnisse nach den maximalen Spannungen sortieren (Spalte F), die für jede Schicht vorliegen. Die größte Ausnutzung muss nicht zwangsläufig die Maximalspannung sein, da die Grenzwerte je nach Schicht variieren können. Die Ausgabeart kann mit den Auswahlfeldern unterhalb der Tabelle festgelegt werden.

Fläche Nr.

Es werden die Nummern der Flächen angegeben, in denen die maßgebenden Punkte liegen.

Punkt Nr.

Es wird jeweils die Nummer des Punktes angegeben, der die höchste Ausnutzung bzw. Spannung für die bemessene Einwirkung aufweist. Die Spannungsart wird in Spalte I angegeben.



Die Ergebnisse lassen sich für die FE-Netzpunkte oder Rasterpunkte darstellen. Die FE-Netzpunkte werden automatisch erzeugt, die Rasterpunkte sind benutzerdefiniert in RFEM einstellbar (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 8.13). Im Dialog *Details*, Register *Ergebnisse* kann festgelegt werden, ob die Ergebnisse in FE-Netz- oder Rasterpunkten angezeigt werden sollen (siehe [Kapitel 4.1.2, Seite 52](#)). Bei einer Änderung ist es erforderlich, die Ergebnisse neu zu berechnen.

Punkt-Koordinaten X / Y / Z

Die Spalten weisen die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE-Netz- bzw. Rasterpunkte aus.

Schicht

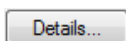
In den Spalten F bis H werden die Nummern, die lokalen z-Koordinaten und die Seiten der Schichten aufgelistet, an denen die maximalen Ausnutzungen bzw. Spannungen auftreten.

Spannungen

Symbol

Folgende Spannungsarten sind voreingestellt:

- Normalspannungen $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_1, \sigma_2$ und Winkel α der Hauptspannungen sowie Schubspannung τ_{xy} für Schichtränder oben und unten
- Schubspannungen τ_{yz} und τ_{xz} für Schichtmitten



Im Dialog *Details*, Register *Spannungen* können weitere Spannungsarten für die Ausgabe aktiviert werden (siehe [Kapitel 4.1.1, Seite 47](#)).

Vorhanden

Max. Ausnutzung Max. Spannungswert

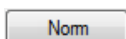
Für jede Spannungsart wird der Wert ausgegeben, der zur maximalen Ausnutzung führt (bzw. der maximale Spannungswert).

Grenz

Die Grenzwerte der Spannungen beruhen auf den Eigenschaften der Materialien, die in Maske 1.2 *Schichten* festgelegt wurden.

Werden der Modifikationsbeiwert k_{mod} , der Konstruktionsbeiwert k_c oder der Teilsicherheitsbeiwert γ_M verwendet, dann werden die Bemessungsspannungswerte (mit Index d) aus den charakteristischen Grenzspannungen (mit Index k) berechnet:

$$\sigma_{grenz,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_c}{\gamma_M} \sigma_{grenz,k} \quad (5.1)$$



Die Beiwerte lassen sich im Dialog *Norm* überprüfen (siehe [Bild 3.7, Seite 18](#)).

Max. Ausnutzung: 0.72 ≤ 1

Ausnutzung

Für die Zugspannungskomponenten σ_x , σ_y , σ_1 und σ_2 wird die Ausnutzung im Hinblick auf die Grenzspannung ermittelt. Wird die Grenzspannung nicht überschritten, ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1 und der Nachweis gilt als erfüllt. Die Werte der Spalte L ermöglichen so eine schnelle Einschätzung der Wirtschaftlichkeit.

Der Ausnutzungsgrad wird nur für positive Spannungswerte σ_x , σ_y , σ_1 und σ_2 (d. h. Zug) berechnet, da die Zugsteifigkeit σ_{grenz} für Glas maßgebend ist.

Die Ausnutzungen werden wie folgt ermittelt:

Spannung [Pa]	Ausnutzung [–]
σ_x	$= \frac{\sigma_x}{\sigma_{\text{grenz,d}}}$
σ_y	$= \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{grenz,d}}}$
σ_1	$= \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{grenz,d}}}$
σ_2	$= \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{grenz,d}}}$

Tabelle 5.2: Ausnutzungen für Zugspannungen

In der Tabellenspalte stellt die Länge des farbigen Balkens die Ausnutzung in grafischer Form dar.

Diagramm im Protokoll

Im Grafikbereich wird ein Schnitt des Spannungsverlaufes in den Schichten dargestellt. Die Grafik bildet jeweils die Spannung am aktuellen Punkt ab, d. h. der Tabellenzeile, in der sich der Cursor befindet.

Über die Kontrollfelder in Spalte M können Spannungsbilder ausgewählt werden, um sie auch im Ausprotokoll zu dokumentieren (siehe [Kapitel 6.2.2, Seite 72](#)).

Grafik

Zusätzlich zu den Ergebnisverläufen im Modulfenster lassen sich die Spannungen und Ausnutzungen grafisch am Gesamtmodell überprüfen: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um RF-GLAS zu verlassen und in die RFEM-Oberfläche zurückzukehren. Ein auf das Zusatzmodul abgestimmter *Ergebnisse*-Navigator ermöglicht es, die Spannungen und Ausnutzungen für die einzelnen Lastfälle, Schichten und Schichtenseiten grafisch auszuwerten (siehe [Bild 5.3](#)).

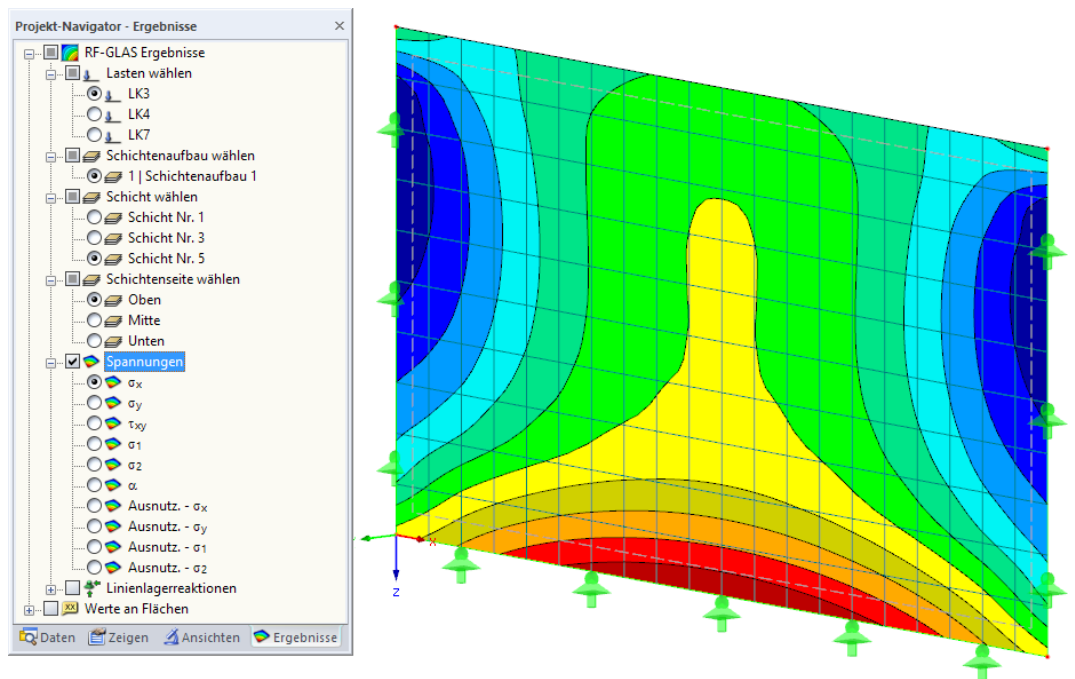


Bild 5.3: Ergebnisse-Navigator für Spannungen und Ausnutzungen von RF-GLAS

Die Auswertung der Flächenergebnisse ist im RFEM-Handbuch, Kapitel 9 erläutert.



Im Farbpanel stehen die üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Diese Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 3.4.6 beschrieben.

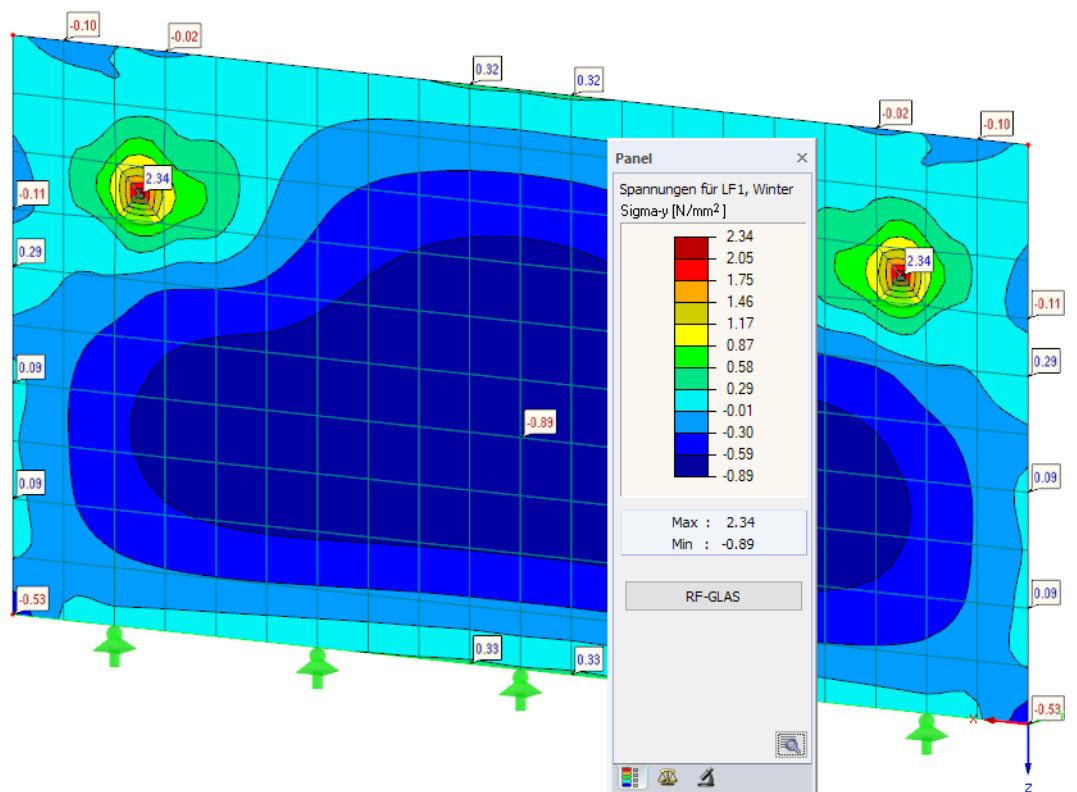


Bild 5.4: Grafik der Spannungen mit Werten und Panel

Die Grafiken der Spannungen und Ausnutzungen können in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe Kapitel 6.2, Seite 71).

RF-GLAS

Mit der Panel-Schaltfläche [RF-GLAS] ist die Rückkehr zum Zusatzmodul möglich.

5.2 Max. Spannung/Ausnutzung flächenweise

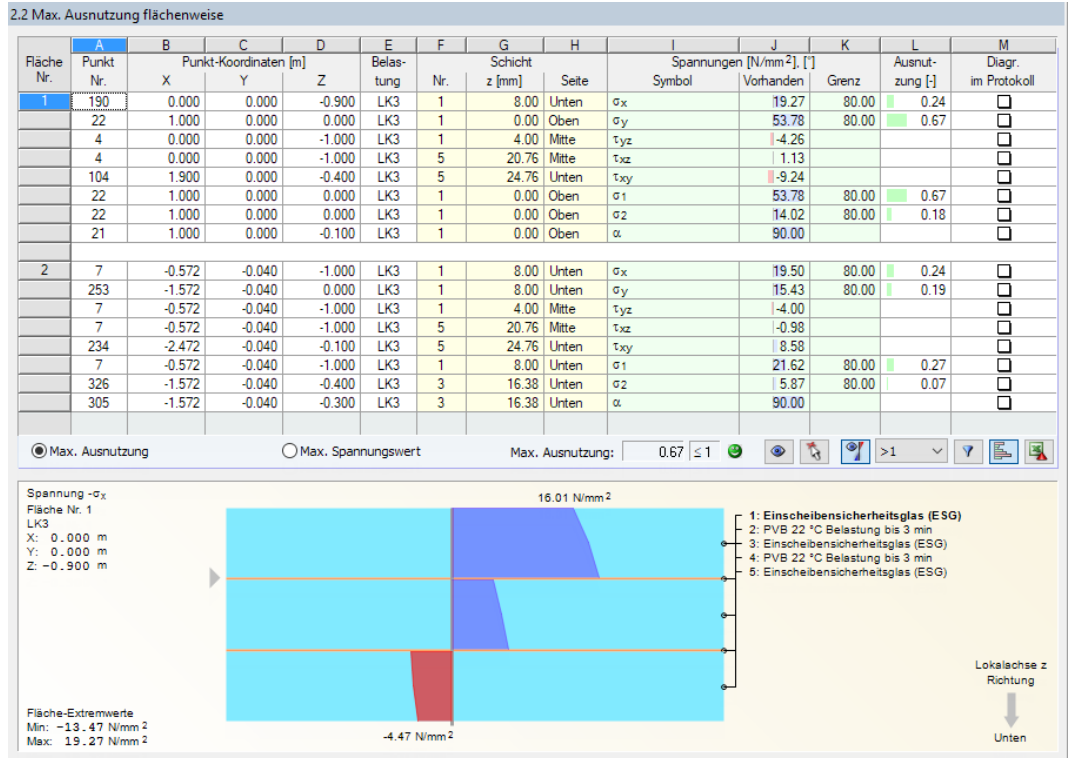


Bild 5.5: Maske 2.2 Max. Ausnutzung flächenweise

In dieser Ergebnismaske sind die maximalen Ausnutzungen bzw. Spannungen aufgelistet, die für jede der bemessenen Flächen vorliegen. Die Spalten sind im Kapitel 5.1 beschrieben.

5.3 Max. Spannung/Ausnutzung schichtenaufbauweise

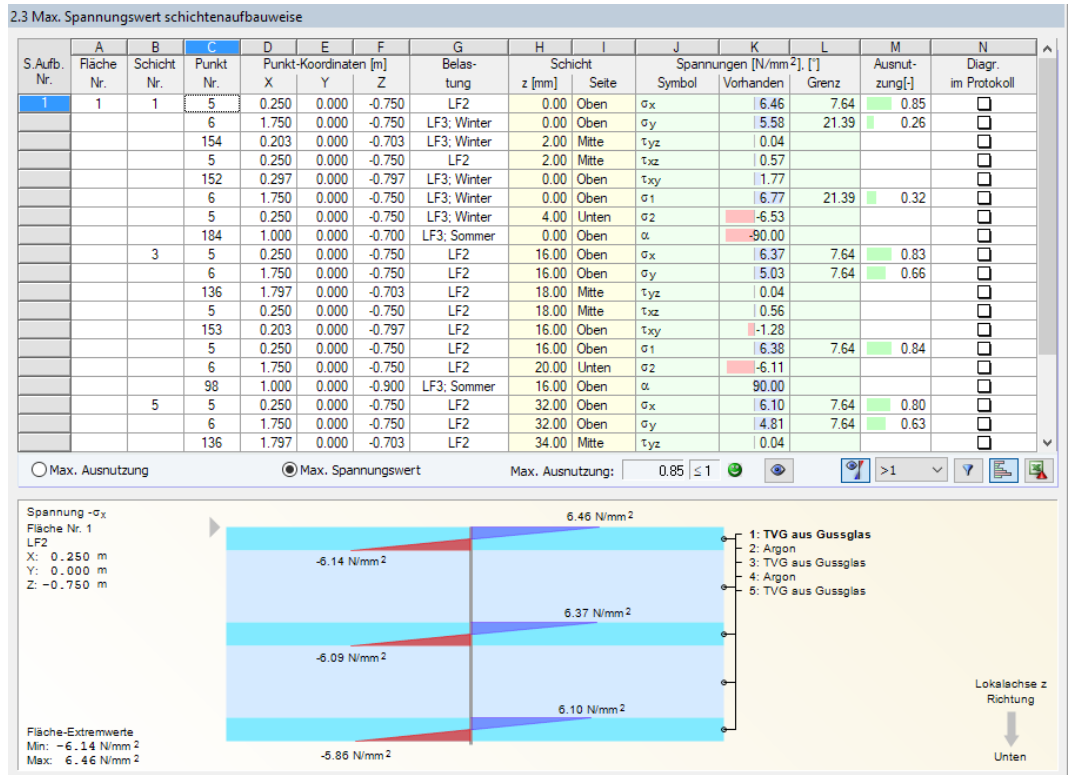


Bild 5.6: Maske 2.3 Max. Spannungswert schichtenaufbauweise

Diese Ergebnismaske präsentiert die Ausnutzungen bzw. Spannungen nach Schichtenaufbauten geordnet.

5.4 Spannungen punktweise

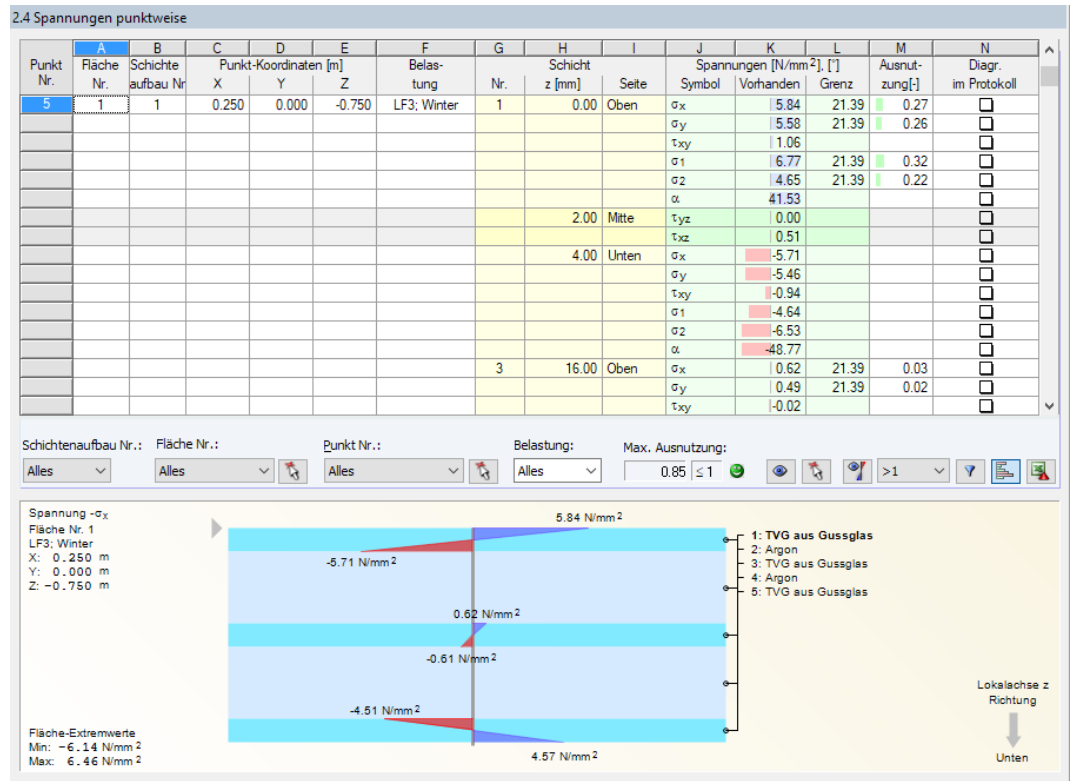


Bild 5.7: Maske 2.4 Spannungen punktweise

nach Punkten geordnet

Details...

Es werden die Spannungen und Ausnutzungen für jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkt angegeben, der sich in den bemessenen Flächen befindet. Der Dialog *Details*, Register *Ergebnisse* (siehe Bild 4.7, Seite 52) steuert, ob die Ergebnisse von FE-Netzknoten oder Rasterpunkten angezeigt werden.

Details...

Im Dialog *Details*, Register *Spannungen* (siehe Bild 4.5, Seite 47) kann festgelegt werden, welche Spannungsarten der Schichtränder und -mitten in der Tabelle erscheinen.

Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.1 beschrieben.

Filter für Ergebnisse

LF2

Alles

LF1; Sommer

LF1; Winter

LF2; Wind

LF3; Sommer

LF3; Winter

Für eine bessere Übersicht kann die Tabelle nach Schichtenaufbauten, Flächen und Punkten sowie nach Belastungen gefiltert werden. Die Listen am unteren Ende der Spalten ermöglichen die Auswahl nach Objektnummern bzw. Lastfällen.

Flächen und Punkte lassen sich über die Schaltfläche auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen.

5.5 Linienlagerreaktionen

Details...

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn mindestens ein Linienlager definiert wurde und im Dialog *Details*, Register *Ergebnisse* das entsprechende Häkchen gesetzt ist (siehe Bild 4.7, Seite 52). Es werden die Kräfte und Momente ausgegeben, die an den gelagerten Linien auftreten.

2.5 Linienlagerreaktionen

Linie Nr.	A Fläche Nr.	B Belastung	C Paket/Schicht Nr.	D Lagerstelle	E Stelle x [m]	F, G, H Lagerkräfte [kN/m]			I, J, K Lagermomente [kNm/m]		
						pX	pY	pZ	mX	mY	mZ
1	1	LF1; Sommer	1/2	Hilfslager auf Gasschicht	0.000	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
					0.100	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00
					0.200	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00
					0.300	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00	0.00
					0.400	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00
					0.500	0.00	0.00	-0.11	0.00	0.00	0.00
					0.600	0.00	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00
					0.700	0.00	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00
					0.800	0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00
					0.900	0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00
					1.000	0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00
					1.100	0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00
					1.200	0.00	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.00
					1.300	0.00	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00
					1.400	0.00	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00
					1.500	0.00	0.00	-0.11	0.00	0.00	0.00
					1.600	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00
Konstant (mittl.)					0.00	0.00	-0.10				
1	1	LF1; Sommer	1	Mitte	0.000	-0.04	-0.04	0.11	0.00	0.00	0.00
					0.100	-0.02	0.01	0.09	0.00	0.00	0.00
					0.200	-0.02	0.01	0.09	0.00	0.00	0.00
					0.300	-0.02	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00
					0.400	-0.01	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00
					0.500	-0.01	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00
					0.600	-0.01	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
					0.700	-0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00

Beziehen auf: Lokales Achsensystem x, y, z Globales Achsensystem X, Y, Z

Linie Nr.: Schicht Nr.: Lagerstelle: Belastung:

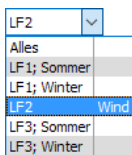
Bild 5.8: Maske 2.5 Linienlagerreaktionen

Fläche

Die Lagerreaktionen werden für jede untersuchte Fläche ausgegeben.

Belastung

In der Tabelle sind die Ergebnisse nach Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen geordnet aufgelistet. Über die Filterfunktion unterhalb der Tabelle kann ein bestimmter Lastfall eingestellt werden.

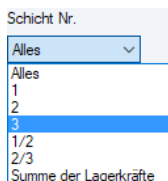


Paket/Schicht Nr.

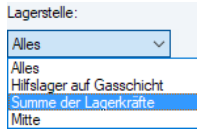
Die Ausgabe erfolgt nach Schichten bzw. Paketen (bei Scheibenverbund) geordnet. Bei Isolierglas werden die Hilfslager in der Tabelle mit Schrägstrich gekennzeichnet. Diese Hilfslager repräsentieren die seitlichen Berandungsflächen von Gasschichten (siehe Bild 3.27, Seite 40), deren Steifigkeit in Maske 1.7 *Isolierglas* geregelt ist.

Die Randbedingungen der Linienlager sind in Tabelle 3.6 ab Seite 29 erläutert. Bild 3.17 veranschaulicht die unterschiedliche Wirkung eines Linienlagers bei einer Berechnung als 2D- oder 3D-Modell.

Die Filterfunktion unterhalb der Tabelle bietet Auswahlmöglichkeiten, die die Auswertung der Ergebnisse erleichtern.



Lagerstelle



In dieser Spalte werden die Stellen angegeben, an denen die Schicht gestützt ist. Sie entsprechen der Lageranordnung gemäß Maske 1.3 *Linienlager*, Abschnitt *Stützung bzw. Einspannung* (siehe Bild 3.16, Seite 26). Bei einer 3D-Berechnung sind auch die Ausgabestellen *Oben* und *Unten* möglich (siehe Erläuterung in Tabelle 3.6 ab Seite 29). Für ein Isolierglas werden auch die Lagerkräfte der *Hilfslager auf Gasschicht* ausgegeben. Deren Funktion ist im Bild 3.27 auf Seite 40 veranschaulicht.

Stelle x

Die Auflistung der Lagerreaktionen erfolgt für jeden FE-Netzpunkt einer Linie. Die x-Stellen beziehen sich auf den Anfangsknoten der Linie. Das Flächenraster ist für Linienlagerkräfte nicht relevant. Zusätzlich wird der gemittelte *Konstant*-Wert für jede Linie ausgegeben.

Lagerkräfte $p_x / p_y / p_z$

- Lokales Achsensystem x, y, z
- Globales Achsensystem X, Y, Z

Die Kräfte können auf die globalen Achsen X, Y und Z oder die lokalen Achsen x, y und z der Linien bezogen werden. Der Achsenbezug ist über die Kontrollfelder unterhalb der Tabelle steuerbar.

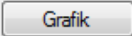
In den drei Spalten werden die Reaktionskräfte ausgegeben, die in jedem Lager wirken. Bei globalem Bezug der Lagerkräfte ergeben sich die Vorzeichen aus den Richtungen der globalen Achsen. Werden die lokalen Lagerkräfte p_x , p_y und p_z angezeigt, so sind die Kräfte auf die Achsen der Linienlager x, y und z bezogen. Die Vorzeichen ergeben sich damit aus den Richtungen der lokalen Lagerachsen (siehe Erläuterung auf Seite 26).

Lagermomente $m_x / m_y / m_z$

- Lokales Achsensystem x, y, z
- Globales Achsensystem X, Y, Z

In den drei Spalten werden die Reaktionsmomente aufgelistet, die in jedem Lager wirken. Die Momente sind entweder auf das globale XYZ-Achsenystem oder das lokale xyz-Linienlagerachsen-system bezogen. Bei lokalem Bezug werden die Lagermomente als m_x , m_y und m_z bezeichnet.

Grafik



Mit der Schaltfläche [Grafik] kann in das Arbeitsfenster von RFEM gewechselt werden. Dort lassen sich die *Linienlagerreaktionen* für die einzelnen Lastfälle, Schichten und Schichtenseiten grafisch auswerten. Ergebnisse von Hilfslagern sind in der RFEM-Grafik nicht verfügbar.

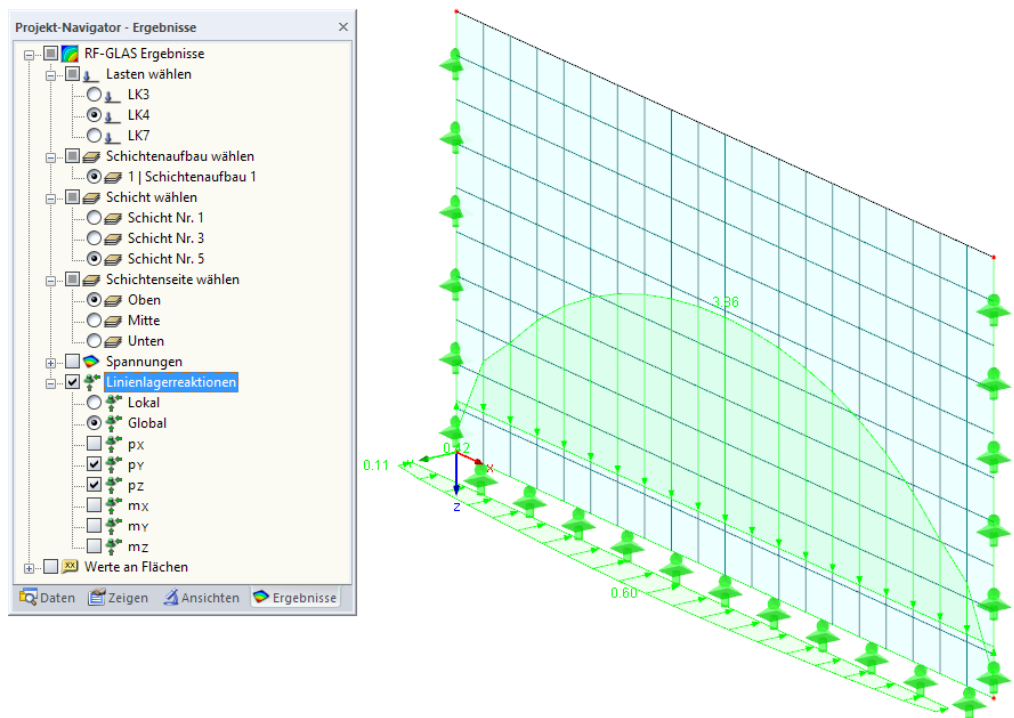


Bild 5.9: Grafik der *Linienlagerreaktionen* im RFEM-Arbeitsfenster

5.6 Knotenlagerreaktionen

Details...

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn mindestens ein Knotenlager definiert wurde und im Dialog *Details*, Register *Ergebnisse* das entsprechende Häkchen gesetzt ist (siehe Bild 4.7, Seite 52). Es werden die Kräfte und Momente ausgegeben, die an den gelagerten Knoten auftreten.

2.6 Knotenlagerreaktionen

Knoten Nr.	A Fläche Nr.	B Belastung	C Paket/Schicht Nr.	D Lagerstelle	E Lagerkräfte [kN]			H Lagemomente [kNm]		
					P _X	P _Y	P _Z	M _X	M _Y	M _Z
5	1	LF1; Sommer	1	Mitte	0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
5	1	LF1; Sommer	2	Mitte	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
5	1	LF1; Sommer	3	Mitte	0.03	-0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
5	1	LF1; Winter	1	Mitte	0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
5	1	LF1; Winter	2	Mitte	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
5	1	LF1; Winter	3	Mitte	0.03	-0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
5	1	LF2	1	Mitte	0.42	-0.04	0.07	0.00	0.00	0.00
5	1	LF2	2	Mitte	0.30	-0.04	0.10	0.00	0.00	0.00
5	1	LF2	3	Mitte	0.19	-0.04	0.14	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Sommer	1	Mitte	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Sommer	2	Mitte	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Sommer	3	Mitte	0.05	-0.03	0.06	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Winter	1	Mitte	0.21	-0.05	0.23	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Winter	2	Mitte	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
5	1	LF3; Winter	3	Mitte	0.11	0.04	0.18	0.00	0.00	0.00
5	1	LK14; Sommer	1	Mitte	0.22	-0.01	-0.05	0.00	0.00	0.00
5	1	LK14; Sommer	2	Mitte	0.32	-0.04	0.13	0.00	0.00	0.00
5	1	LK14; Sommer	3	Mitte	0.57	-0.08	0.52	0.00	0.00	-0.01
5	1	LK14; Winter	1	Mitte	0.54	-0.05	0.17	0.00	0.00	0.00
5	1	LK14; Winter	2	Mitte	0.34	-0.05	0.14	0.00	0.00	0.00
5	1	LK14; Winter	3	Mitte	0.17	-0.04	0.14	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Sommer	1	Mitte	-0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Sommer	2	Mitte	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Sommer	3	Mitte	-0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Winter	1	Mitte	-0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Winter	2	Mitte	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
6	1	LF1; Winter	3	Mitte	-0.03	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
6	1	LF2	1	Mitte	-0.42	-0.04	0.07	0.00	0.00	0.00
6	1	LF2	2	Mitte	-0.30	-0.04	0.10	0.00	0.00	0.00
6	1	LF2	3	Mitte	-0.19	-0.04	0.14	0.00	0.00	0.00
6	1	LF3; Sommer	1	Mitte	-0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00

Beziehen auf: Lokales Achsensystem X, Y, Z Globales Achsensystem X, Y, Z

Knoten Nr.: Schicht Nr.: Lagerstelle: Belastung:

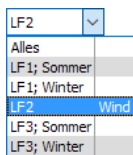
Bild 5.10: Maske 2.6 Knotenlagerreaktionen

Fläche

Die Lagerreaktionen werden für jede untersuchte Fläche ausgegeben.

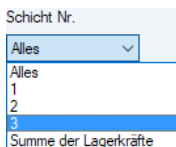
Belastung

In der Tabelle sind die Ergebnisse nach Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen geordnet aufgelistet. Über die Filterfunktion unterhalb der Tabelle kann ein bestimmter Lastfall eingestellt werden.



Paket/Schicht Nr.

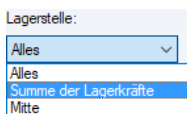
Die Ausgabe erfolgt nach Schichten bzw. Paketen (bei Scheibenverbund) geordnet. Die Filterfunktion unterhalb der Tabelle bietet Auswahlmöglichkeiten, die die Auswertung der Ergebnisse erleichtern.



Die Randbedingungen der Knotenlager sind in Tabelle 3.7 ab Seite 33 erläutert. Dort ist auch die unterschiedliche Wirkung eines Knotenlagers im 2D- oder 3D-Modell veranschaulicht.

Lagerstelle

In dieser Spalte werden die Stellen angegeben, an denen die Schicht gestützt ist. Sie entsprechen der Lageranordnung gemäß Maske 1.4 Knotenlager, Abschnitt Stützung bzw. Einspannung (siehe Bild 3.20, Seite 30). Bei einer 3D-Berechnung sind auch die Ausgabestellen *Oben* und *Unten* möglich (siehe Erläuterung in Tabelle 3.7 ab Seite 33). Hilfslager werden bei Knotenlagern nicht verwendet.



Lagerkräfte $P_X / P_Y / P_Z$

- Lokales Achsensystem X', Y', Z'
- Globales Achsensystem X, Y, Z

Die Kräfte können auf die globalen Achsen X, Y und Z oder die lokalen Achsen X', Y' und Z' der Knotenlager bezogen werden. Der Achsenbezug ist über die Kontrollfelder unterhalb der Tabelle steuerbar.

In den drei Spalten werden die Reaktionskräfte ausgegeben, die in jedem Lager wirken. Bei globalem Bezug der Lagerkräfte ergeben sich die Vorzeichen aus den Richtungen der globalen Achsen. Werden die lokalen Lagerkräfte $P_{X'}, P_{Y'}$ und $P_{Z'}$ angezeigt, so sind die Kräfte auf die gedrehten Lagerachsen X', Y' und Z' bezogen.

Lagermomente $M_X / M_Y / M_Z$

- Lokales Achsensystem x, y, z
- Globales Achsensystem X, Y, Z

In den drei Spalten werden die Reaktionsmomente aufgelistet, die in jedem Lager wirken. Die Momente sind entweder auf das globale XYZ -Achsensystem oder das lokale $X'Y'Z'$ -Lagerachsensystem bezogen. Bei lokalem Bezug werden die Lagermomente als $M_{X'}, M_{Y'}$ und $M_{Z'}$ bezeichnet.

5.7 Max. Verschiebungen

Die Nachweise der Verformungen werden nur geführt, wenn in Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit mindestens ein Lastfall für den Nachweis ausgewählt wurde (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 17).

3.1 Max. Verschiebungen

Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Belastung	Kombinations-typ	Paket Nr.	Verschiebungen [mm]		Ausnutzung u_z [%]
		X	Y	Z				u_z	Grenz u_z	
1	228	1.000	0.000	-0.500	LF1: Sommer	Charakteristisch	1	-0.56	5.00	0.11
	233	1.500	0.000	-0.500		Charakteristisch	2	0.00	5.00	0.00
	228	1.000	0.000	-0.500		Charakteristisch	3	0.56	5.00	0.11
	228	1.000	0.000	-0.500	LF1: Winter	Charakteristisch	1	-0.59	5.00	0.12
	233	1.500	0.000	-0.500		Charakteristisch	2	0.00	5.00	0.00
	228	1.000	0.000	-0.500		Charakteristisch	3	0.59	5.00	0.12
	145	1.000	0.000	-0.800	LF2	Charakteristisch	1	1.68	5.00	0.34
	41	1.000	0.000	-1.000		Charakteristisch	2	1.67	5.00	0.33
	41	1.000	0.000	-1.000		Charakteristisch	3	1.67	5.00	0.33
	228	1.000	0.000	-0.500	LF3: Sommer	Charakteristisch	1	-0.48	5.00	0.10
	41	1.000	0.000	-1.000		Charakteristisch	2	0.17	5.00	0.03
	228	1.000	0.000	-0.500		Charakteristisch	3	0.77	5.00	0.15
228	1.000	0.000	-0.500	LF3: Winter	Charakteristisch	1	1.39	5.00	0.28	
41	1.000	0.000	-1.000		Charakteristisch	2	0.17	5.00	0.03	
228	1.000	0.000	-0.500		Charakteristisch	3	-1.10	5.00	0.22	
Maximale Verschiebung / Maximale Ausnutzung										
1	145	1.000	0.000	-0.800	LF2	Charakteristisch	1	1.68	5.00	0.34
	145	1.000	0.000	-0.800		Charakteristisch	1	1.68	5.00	0.34

Max. Ausnutzung: 0.34 ≤ 1

Bild 5.11: Maske 3.1 Max. Verschiebungen

Diese Maske listet die Maximalwerte der Verschiebungen auf, die in den Lastfällen oder Kombinationen für Gebrauchstauglichkeit vorliegen und vergleicht sie mit den zulässigen Verformungen. Die Tabelle ist nach Flächennummern geordnet.

Die Spalten A bis E sind im Kapitel 5.1 erläutert.

Kombinationstyp

In dieser Spalte finden sich die in Maske *1.1 Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* zugewiesenen Bemessungssituationen wieder: *Charakteristisch*, *Häufig* oder *Quasi-ständig* (siehe [Bild 3.5](#), [Seite 17](#)).

Paket

Die Ausgabe erfolgt nach Paketen (Scheiben- bzw. Scheibenverbundschichten) geordnet. Bei einem Verbundglas wird der gesamte Schichtenaufbau als ein Paket betrachtet, das sich einheitlich verformt.

Liegt ein Isolierglas vor, so verformen sich die einzelnen Scheiben ohne Schubverbund. Die Nummerierung der Pakete kann in Maske *1.6 Klimalasten-Parameter* überprüft werden (siehe [Bild 3.24](#), [Seite 37](#)).

Verschiebungen


u_z

In Spalte H werden die für den Verformungsnachweis maßgebenden Verschiebungen angegeben, die in Richtung der lokalen Flächenachse z vorliegen. Die Achsen der Flächen lassen sich in RFEM über das Flächen-Kontextmenü oder den *Zeigen*-Navigator darstellen.

Grenz u_z

Die Werte in Spalte I geben die Grenzverformungen an, die für jede Fläche in Richtung der z -Achse gelten. Sie ermitteln sich aus den Bezugslängen L gemäß Vorgabe in Maske *1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter* (siehe [Kapitel 3.9](#), [Seite 42](#)) und den Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerten des Dialogs *Norm* (siehe [Bild 3.7](#), [Seite 18](#)).

Ausnutzung

Max. Ausnutzung: ≤ 1 

In der letzten Spalte werden die Quotienten aus vorhandener Verschiebung u_z (Spalte H) und Grenzverschiebung (Spalte I) angegeben. Werden die Grenzverschiebungen eingehalten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1 und der Gebrauchstauglichkeitsnachweis gilt als erfüllt.

5.8 Gasdruck

Diese Ergebnismaske wird nur angezeigt, wenn in Maske *1.2 Schichten* mindestens eine Schicht des Typs *Gas* definiert wurde. Klimalasten sind nicht unbedingt erforderlich.

3.2 Gasdruck

Belastung	A	B	C	Gasdruck p [MPa]
	Fläche Nr.	Schicht Nr.	Gasdruck	
LF1 Sommer, Eigengewicht, Höhendifferenz	1	2		0.101
	1	4		0.101
LF1 Winter, Eigengewicht, Höhendifferenz	1	2		0.097
	1	4		0.097
LF2 Wind	1	2		0.103
	1	4		0.103
LF3 Sommer, Luftdruck	1	2		0.101
	1	4		0.101
LF3 Winter, Luftdruck	1	2		0.103
	1	4		0.103

Bild 5.12: Maske 3.2 Gasdruck

In der Tabelle werden die *Gasdruck*-Ergebnisse für die einzelnen Gasschichten aufgelistet. Die Ausgabe erfolgt nach Lastfällen geordnet.

5.9 Stückliste

Abschließend erscheint eine Bilanz der in RF-GLAS untersuchten Flächen.

4.1 Stückliste

Fläche Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Material Bezeichnung	Dicke t [mm]	Anzahl Schichten	Fläche [m ²]	Oberfläche [m ²]	Volumen [m ³]	Gewicht [t]
1	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	8.00	3	2.000	4.000	0.048	0.120
	PVB 22 °C Belastung bis 3 min	0.38	2	2.000	0.000	0.002	0.002
Σ		24.76	5	2.000	4.000	0.050	0.122
2	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	10.00	2	2.000	4.000	0.040	0.100
	PVB 22 °C Belastung bis 3 min	0.38	2	2.000	0.000	0.002	0.002
	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	8.00	1	2.000	0.000	0.016	0.040
Σ		28.76	5	2.000	4.000	0.058	0.142
Σ Gesamt				4.000	8.000	0.107	0.263

Bild 5.13: Maske 4.1 Stückliste

[Details...](#)

In dieser Liste sind per Voreinstellung nur die bemessenen Flächen erfasst. Wird eine Stückliste für alle Flächen des Modells benötigt, so kann dies im *Details*, Register *Ergebnisse* eingestellt werden (siehe [Bild 4.7](#), [Seite 52](#)).

Fläche Nr.

Die Auflistung erfolgt nach Flächen geordnet.

Material Bezeichnung

Für jede Fläche werden die Materialien angegeben. Schichten aus gleichem Material und gleicher Dicke werden in einer Zeile zusammengefasst.

Dicke t

In Spalte B werden die Schichtdicken der einzelnen Positionen angegeben. Sie entsprechen den Eingabedaten in Maske *1.2 Schichten*.

Anzahl Schichten

Diese Spalte gibt an, wie viele Schichten jeweils mit gleichem Material und gleicher Dicke vorliegen.

Fläche

Spalte D gibt Aufschluss über die Flächeninhalte der einzelnen Positionen.

Oberfläche

Die Oberfläche ermittelt sich aus den Flächeninhalten der Ober- und Unterseiten einer Fläche. Die Seitenflächen der dünnwandigen Flächen werden vernachlässigt.

Volumen

Das Volumen einer Position stellt das Produkt aus Dicke und Flächeninhalt dar.

Gewicht

In der letzten Spalte wird die Masse jeder Position angegeben. Sie ermittelt sich als das Produkt von Volumen und spezifischem Gewicht des verwendeten Materials.

Summe

Für jede Fläche wird die Summe von *Volumen* und *Gewicht* ausgewiesen. Ganz am Ende der Liste befindet sich die Gesamtbilanz der relevanten Werte.

6 Ausdruck

6.1 Ausdruckprotokoll

Für die Daten des Moduls RF-GLAS wird – wie in RFEM – ein Ausdruckprotokoll generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Die Selektion im Ausdruckprotokoll steuert, welche Daten des Bemessungsmoduls schließlich im Ausdruck erscheinen.



Das Ausdruckprotokoll ist im RFEM-Handbuch beschrieben. Das Kapitel 10.1.3.5 *Selektion der Zusatzmodul-Daten* erläutert, wie die Ein- und Ausgabedaten von Zusatzmodulen für den Ausdruck aufbereitet werden können.

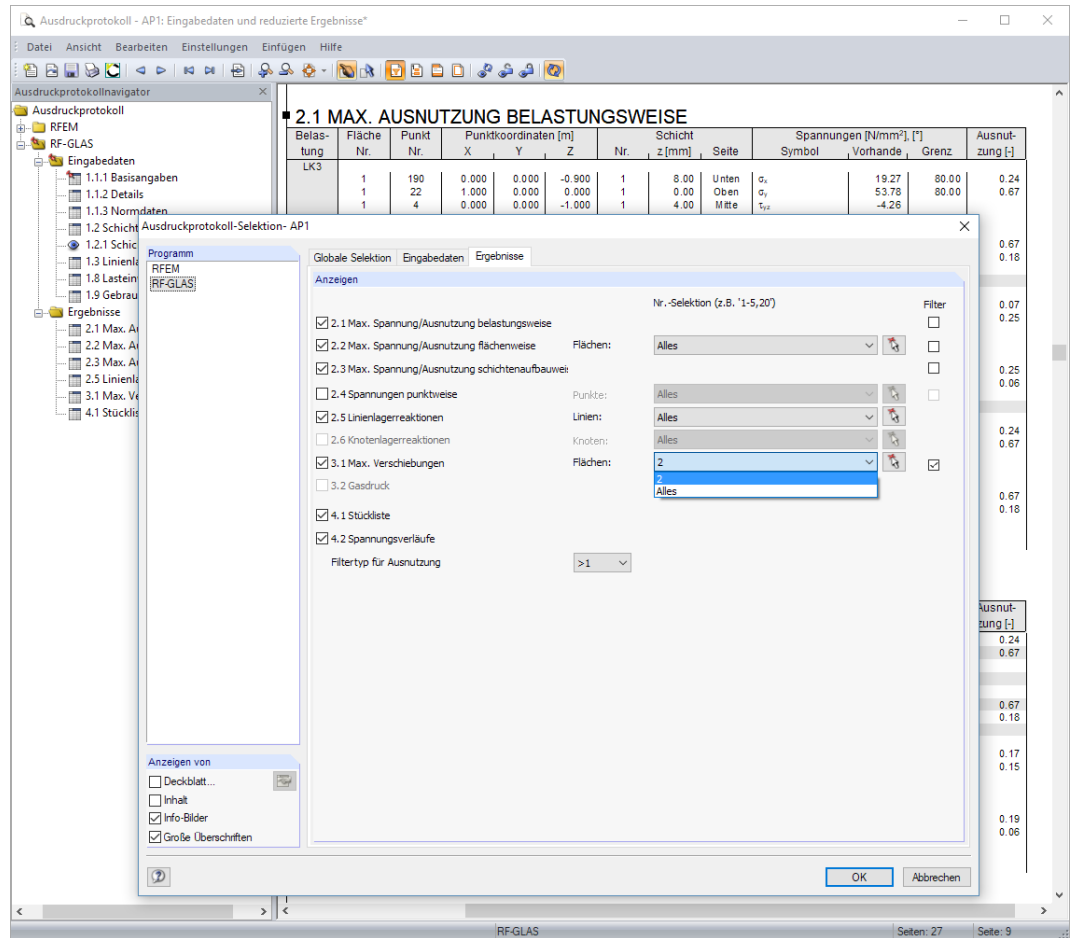


Bild 6.1: Selektion von Nachweisen und Objekten im Ausdruckprotokoll

Über die Filterfunktionen kann gesteuert werden, welche Objekte in die Dokumentation einfließen. Diese lassen sich in einer Liste festlegen oder mit der Schaltfläche grafisch im Arbeitsfenster von RFEM bestimmen.



Im Ausdruckprotokoll werden nur die Spannungsarten ausgewiesen, die in den Ergebnismasken von RF-GLAS zu sehen sind. Um daher z. B. die maximalen Schubspannungen zu drucken, sind in RF-GLAS die Spannungen τ_{\max} für die Ausgabe zu aktivieren. Die Auswahl von Spannungen ist im [Kapitel 4.1.1](#) auf [Seite 47](#) beschrieben.

6.2 Grafikausdruck

In RFEM kann jedes Bild, das im Arbeitsfenster angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übergeben oder direkt zum Drucker geleitet werden. Somit lassen sich auch die am Modell gezeigten Spannungen und Ausnutzungen für den Ausdruck aufbereiten.

Auch die Spannungsdiagramme der RF-GLAS-Ergebnismasken können in die Dokumentation integriert werden.

6.2.1 Ergebnisse am RFEM-Modell



Das Drucken von Grafiken ist im Kapitel 10.2 des RFEM-Handbuch beschrieben.

Die aktuelle Grafik der Spannungen oder Ausnutzungen kann gedruckt werden über das Menü

Datei → Grafik drucken



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

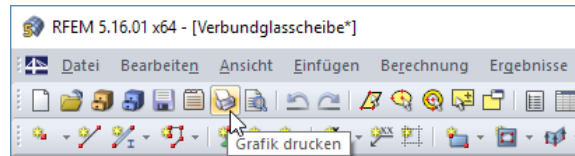


Bild 6.2: Schaltfläche [Grafik drucken] in RFEM-Symbolleiste

Es wird folgender Dialog angezeigt.

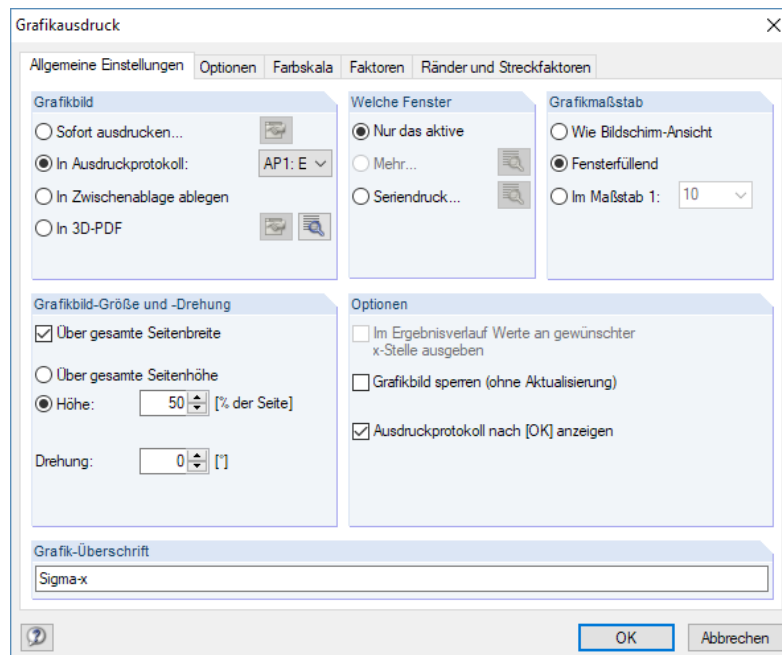
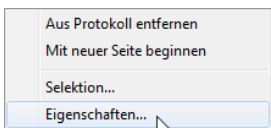


Bild 6.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Allgemeine Einstellungen*

Der Dialog *Grafikausdruck* ist im Kapitel 10.2 des RFEM-Handbuchs beschrieben. Dort sind auch die übrigen Dialogregister erläutert.

Eine Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag-and-drop an eine andere Stelle geschoben werden.

Um eine Grafik nachträglich im Ausdruckprotokoll anzupassen, führen Sie einen Rechtsklick auf den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator aus. Die Option *Eigenschaften* im Kontextmenü ruft wieder den Dialog *Grafikausdruck* auf, in dem Sie die Anpassungen vornehmen können.



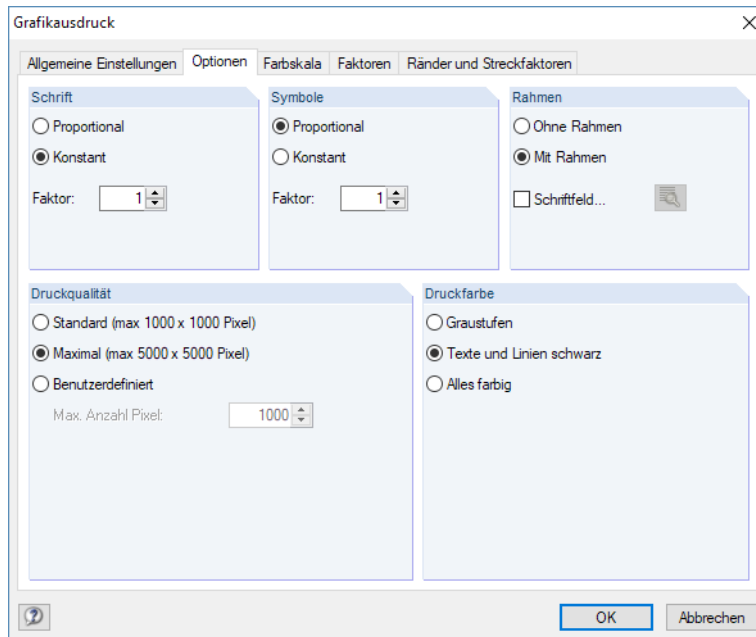


Bild 6.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

6.2.2 Ergebnisse in Schichten

In den Masken 2.1 bis 2.4 werden die Spannungsverläufe in den Schichten als Schnitte dargestellt. Diese Grafiken lassen sich über die Kontrollfelder *Diagramm im Protokoll* in das Ausdruckprotokoll übergeben.

2.2 Max. Ausnutzung flächenweise

Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Belastung	Schicht Nr.	Schicht z [mm]	Seite	Spannungen [N/mm ²], [°]		Ausnutzung [%]	Diagramm im Protokoll
		X	Y	Z					Symbol	Vorhanden		
1	190	0.000	0.000	-0.900	LK3	1	8.00	Unten	σ_x	19.27	80.00	<input type="checkbox"/>
	22	1.000	0.000	0.000	LK3	1	0.00	Oben	σ_y	53.78	80.00	<input type="checkbox"/>
	4	0.000	0.000	-1.000	LK3	1	4.00	Mitte	τ_{yz}	-4.26		<input type="checkbox"/>
	4	0.000	0.000	-1.000	LK3	5	20.76	Mitte	τ_{xz}	1.13		<input type="checkbox"/>
	104	1.900	0.000	-0.400	LK3	5	24.76	Unten	τ_{xy}	-9.24		<input type="checkbox"/>
	22	1.000	0.000	0.000	LK3	1	0.00	Oben	σ_1	53.78	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>
	22	1.000	0.000	0.000	LK3	1	0.00	Oben	σ_2	14.02	80.00	<input type="checkbox"/>
21	1.000	0.000	-0.100	LK3	1	0.00	Oben	α	90.00		<input type="checkbox"/>	
2	421	-2.572	-0.040	-0.900	LK3	1	10.00	Unten	σ_x	13.41	80.00	<input type="checkbox"/>
	253	-1.572	-0.040	0.000	LK3	1	10.00	Unten	σ_y	11.61	80.00	<input type="checkbox"/>
	7	-0.572	-0.040	-1.000	LK3	1	5.00	Mitte	τ_{yz}	-3.06		<input type="checkbox"/>
	7	-0.572	-0.040	-1.000	LK3	5	23.76	Mitte	τ_{xz}	-0.84		<input type="checkbox"/>
	234	-2.472	-0.040	-0.100	LK3	5	28.76	Unten	τ_{xy}	8.01		<input type="checkbox"/>
	7	-0.572	-0.040	-1.000	LK3	1	10.00	Unten	σ_1	14.98	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>
	389	-1.572	-0.040	-0.700	LK3	1	10.00	Unten	σ_2	5.00	80.00	<input type="checkbox"/>
305	-1.572	-0.040	-0.300	LK3	3	18.38	Unten	α	90.00		<input type="checkbox"/>	

Max. Ausnutzung
 Max. Spannungswert
 Max. Ausnutzung: 0.67 ≤ 1

Spannung - σ_1
 Fläche Nr. 1
 LK3
 X: 1.000 m
 Y: 0.000 m
 Z: 0.000 m

Fläche-Extremwerte
 Min: -13.47 N/mm²
 Max: 53.78 N/mm²

1: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 2: PVB 22 °C Belastung bis 3 min
 3: Einscheibensicherheitsglas (ESG)
 4: PVB 22 °C Belastung bis 3 min
 5: Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Lokalachse z Richtung
 ↓
 Unten

Bild 6.5: *Diagramm im Protokoll* festlegen

Im Ausdruckprotokoll erscheinen die Grafiken dann im Abschnitt 4.2 *Spannungsverläufe* (siehe Bild 6.6).

Ausdruckprotokoll - AP1: Eingabedaten und reduzierte Ergebnisse*
Seite: 29/29

Ausdruckprotokollnavigator

- [-] Ausdruckprotokoll
 - [-] RFEM
 - [-] RF-GLAS
 - [-] Eingabedaten
 - [-] 1.1.1 Basisangaben
 - [-] 1.1.2 Details
 - [-] 1.1.3 Normdaten
 - [-] 1.2 Schichten
 - [-] 1.2.1 Schichtendiagramme
 - [-] 1.3 Linienlager
 - [-] 1.8 Lasteinwirkungsdauer
 - [-] 1.9 Gebrauchstauglichkeitsp
 - [-] Ergebnisse
 - [-] 2.1 Max. Ausnutzung belast
 - [-] RF-GLAS FA1 - Sigma-x, Isor
 - [-] 2.2 Max. Ausnutzung fläche
 - [-] 2.3 Max. Ausnutzung schich
 - [-] 2.5 Linienlagerreaktionen
 - [-] 3.1 Max. Verschiebungen (Z)
 - [-] 4.1 Stückliste
 - [-] 4.2 Spannungsverläufe

Heinz Glaser
Sesamstraße 14
12345 Musterstadt

Projekt: 2018
Projekte 2018

Modell: Verbundglasscheibe

Datum: 11.10.2018

4.1 STÜCKLISTE

Fläche Nr.	Materialbezeichnung	Dicke t [mm]	Anzahl Schichten	Fläche [m ²]	Oberfläche [m ²]	Volumen [m ³]	Gewicht [t]
1	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	8,00	3	2,000	4,000	0,048	0,120
	PVB 22 °C Belastung bis 3 min	0,38	2	2,000	0,000	0,002	0,002
Σ		24,76	5	2,000	4,000	0,050	0,122
2	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	10,00	2	2,000	4,000	0,040	0,100
	PVB 22 °C Belastung bis 3 min	0,38	2	2,000	0,000	0,002	0,002
	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	8,00	1	2,000	0,000	0,016	0,040
Σ		28,76	5	2,000	4,000	0,058	0,142
Σ Gesamt				4,000	8,000	0,107	0,265

4.2 SPANNUNGSVERLÄUFE

Spannung - σ₁
Fläche Nr. 2
L1/3
X: -0,813 m
Y: -0,048 m
Z: -1,000 m

12,48 N/mm²

3,96 N/mm²

Fläche-Extremwerte
Min: -3,16 N/mm²
Max: 14,58 N/mm²

Lokale z-Achse Richtung
↓
Unten

Spannung - σ₁
Fläche Nr. 1
L1/4
X: 1,000 m
Y: 0,000 m
Z: 0,000 m

53,78 N/mm²

-13,47 N/mm²

Fläche-Extremwerte
Min: -13,47 N/mm²
Max: 53,78 N/mm²

Lokale z-Achse Richtung
↓
Unten

Spannung - σ₁
Fläche Nr. 1
L1/4
X: 1,000 m
Y: 0,000 m
Z: 0,000 m

19,61 N/mm²

-5,05 N/mm²

Fläche-Extremwerte
Min: -13,47 N/mm²
Max: 53,78 N/mm²

Lokale z-Achse Richtung
↓
Unten

Bild 6.6: Spannungsdiagramme im Ausdruckprotokoll

7 Allgemeine Funktionen

Dieses Kapitel beschreibt nützliche Menüfunktionen und stellt Exportmöglichkeiten für die Nachweise vor.

7.1 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM und für die Zusatzmodule gemeinsam verwaltet. In RF-GLAS ist der Dialog zum Anpassen der Einheiten zugänglich über das Menü

Einstellungen → **Einheiten und Dezimalstellen**.

Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*. In der Liste *Programm / Modul* ist RF-GLAS voreingestellt.

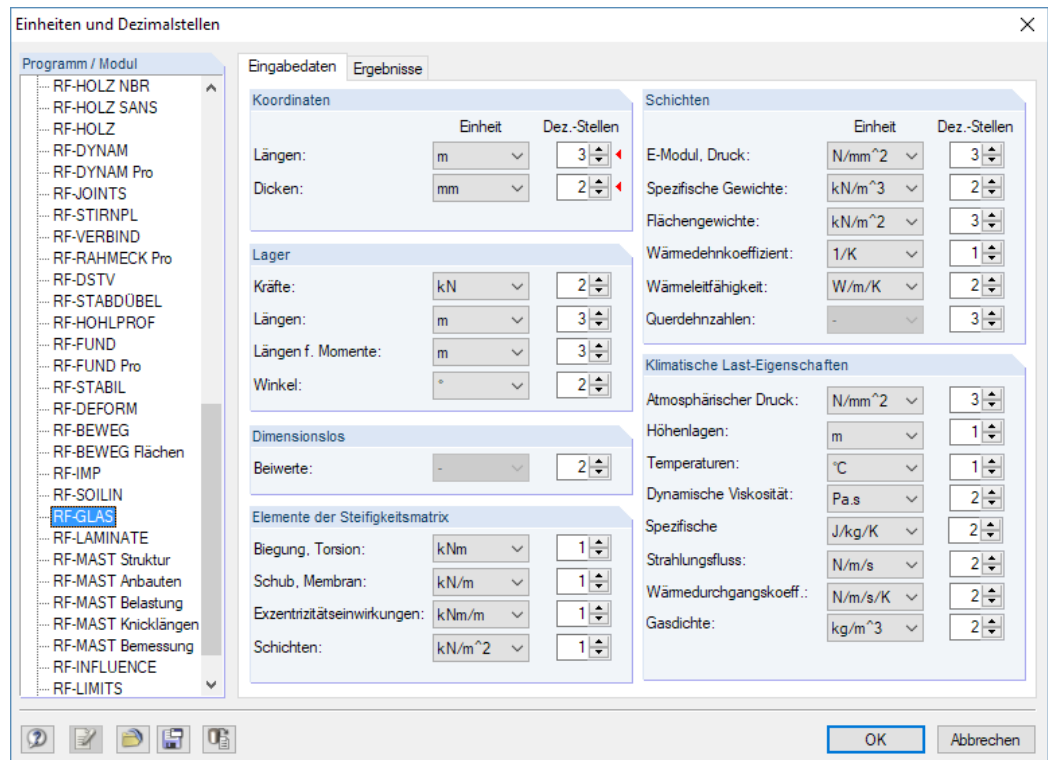


Bild 7.1: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die geänderten Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Modellen wieder verwendet werden. Diese Funktionen sind im Kapitel 11.1.3 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

7.2 Datenexport

Die Ergebnisse von RF-GLAS lassen sich auch in anderen Programmen verwenden.

Zwischenablage

Markierte Zellen der Ergebnismasken können mit [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert und dann mit [Strg]+[V] z. B. in ein Textverarbeitungsprogramm eingefügt werden. Die Überschriften der Tabellenspalten bleiben dabei unberücksichtigt.

Ausdruckprotokoll

Die Daten von RF-GLAS können in das Ausdruckprotokoll gedruckt (siehe [Kapitel 6.1, Seite 70](#)) und dort exportiert werden über das Menü

Datei → Export in RTF.

Diese Funktion ist im Kapitel 10.1.11 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Excel

RF-GLAS ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel oder in das CSV-Format. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

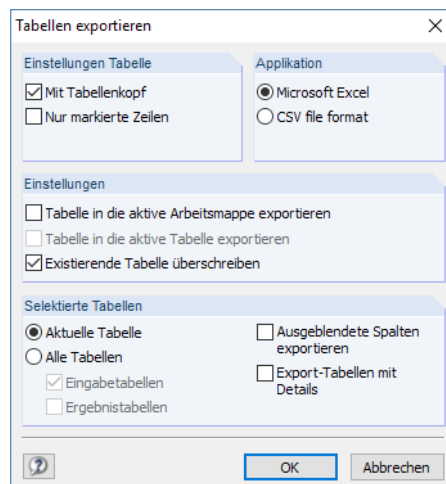


Bild 7.2: Dialog *Tabellen exportieren*

Wenn die Auswahl feststeht, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel wird automatisch aufgerufen (siehe [Bild 7.3](#)), d. h. das Programm braucht vorher nicht geöffnet werden.

Spannungen [N/mm ²], [°]													
Belastung	Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Nr.	z [mm]	Seite	Spannungen [N/mm ²], [°]			Ausnutzung [-]	Diagramm im Protokoll
			X	Y	Z				Symbol	Vorhanden	Grenz		
LK3													
	1	190	0,000	0,000	-0,900	1	8,00	Unten	σ_x	19,27	80,00	0,24	-
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_y	53,78	80,00	0,67	-
	1	4	0,000	0,000	-1,000	1	4,00	Mitte	τ_{yz}	-4,26			-
	1	4	0,000	0,000	-1,000	5	20,76	Mitte	τ_{xz}	1,13			-
	1	104	1,900	0,000	-0,400	5	24,76	Unten	τ_{xy}	-9,24			-
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_1	53,78	80,00	0,67	+
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_2	14,02	80,00	0,18	-
	1	21	1,000	0,000	-0,100	1	0,00	Oben	α	90,00			-
LK4													
	1	190	0,000	0,000	-0,900	1	8,00	Unten	σ_x	5,72	80,00	0,07	-
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_y	19,61	80,00	0,25	-
	1	4	0,000	0,000	-1,000	1	4,00	Mitte	τ_{yz}	-0,70			-
	1	212	0,100	0,000	-1,000	3	12,38	Mitte	τ_{xz}	0,28			-
	1	104	1,900	0,000	-0,400	5	24,76	Unten	τ_{xy}	-3,48			-
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_1	19,61	80,00	0,25	+
	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_2	5,12	80,00	0,06	-
	1	21	1,000	0,000	-0,100	1	0,00	Oben	α	90,00			-
-	Maximale Spannungen												
LK3	1	190	0,000	0,000	-0,900	1	8,00	Unten	σ_x	19,27	80,00	0,24	-
LK3	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_y	53,78	80,00	0,67	-
LK3	1	4	0,000	0,000	-1,000	1	4,00	Mitte	τ_{yz}	-4,26			-
LK3	1	4	0,000	0,000	-1,000	5	20,76	Mitte	τ_{xz}	1,13			-
LK3	1	104	1,900	0,000	-0,400	5	24,76	Unten	τ_{xy}	-9,24			-
LK3	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_1	53,78	80,00	0,67	+
LK3	1	22	1,000	0,000	0,000	1	0,00	Oben	σ_2	14,02	80,00	0,18	-
LK3	1	21	1,000	0,000	-0,100	1	0,00	Oben	α	90,00			-

Bild 7.3: Ergebnis in MS Excel

Die Spannungen der einzelnen Schichten können dann ggf. in einem anderen Programm für spezifische Nachweise verwendet werden.

7.3 RF-GLAS und RFEM

Jede Fläche, die in RFEM als Flächentyp mit der Steifigkeit *Glas* definiert wurde (siehe Bild 7.4), muss in RF-GLAS einem Schichtenaufbau zugewiesen werden.

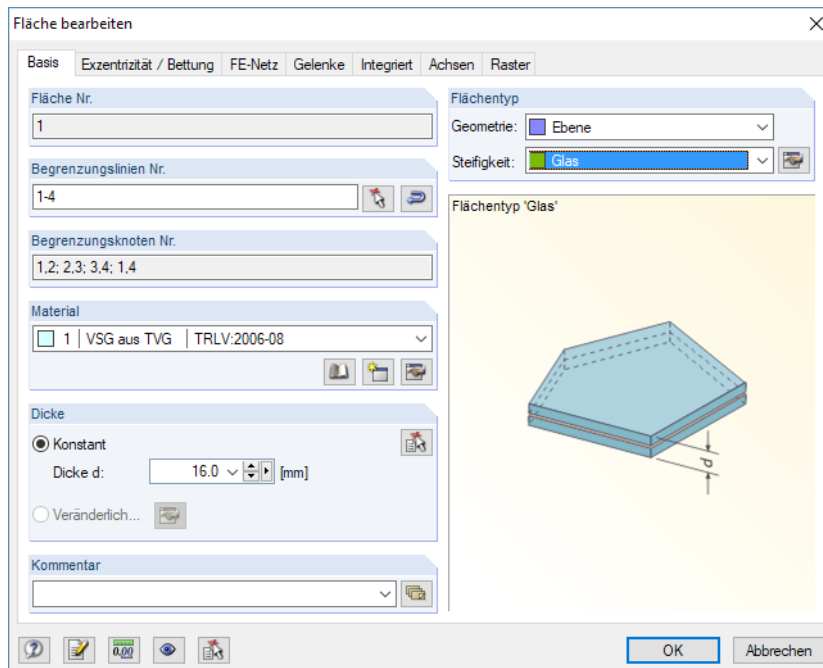


Bild 7.4: RFEM-Flächentyp mit Steifigkeit *Glas*

Im Regelfall verwenden RFEM und RF-GLAS eigene Steifigkeitsansätze. Das bedeutet: Wenn die Analyse ausschließlich in RF-GLAS erfolgen soll, spielen die in RFEM eingegebenen Materialien und Flächendicken keine Rolle. RF-GLAS rechnet mit separaten Steifigkeiten.

Des Weiteren werden die in RF-GLAS definierten Daten wie beispielsweise Linien- oder Knotenlager nur für dieses Modul verwendet. Sie haben keinen Einfluss auf die Vorgaben des Hauptprogramms.

Eine Wechselwirkung zwischen RF-GLAS und RFEM besteht jedoch, wenn in *Maske 1.1 Basisangaben* die Berechnungsart *Global - Gesamtes Modell in RFEM* aktiviert ist (siehe Kapitel 3.1, Seite 15). In diesem Fall werden die Steifigkeiten des Schichtenaufbaus für die weitere Verwendung nach RFEM exportiert. Diese Berechnungsart ist auf Einzel- oder Verbundglasscheiben beschränkt.

Die Option *Erzeugte temporäre Modelle speichern* ermöglicht es, die Modellierung in RF-GLAS auch für RFEM verfügbar zu machen (siehe Kapitel 4.2, Seite 54). Beim Speichern in RF-GLAS werden die Modelle des Moduls als neue RFEM-Dateien abgelegt. Die in RF-GLAS vorgenommenen Ergänzungen können dann im Hauptprogramm überprüft werden. Diese Funktion ist auch in der *Knowledge Base* auf unserer Website beschrieben.

In RFEM werden für den Flächentyp *Glas* keine Spannungen berechnet.

Berechnungsart

Lokal - Jede Glasfläche als individuelles Modell

Global - Gesamtes Modell in RFEM

- Scheibe
- Scheibe_RF_GLAS_S_S_1
- Scheibe_RF_GLAS_W_S_1





In RFEM empfiehlt es sich, die Teilsicherheitsbeiwerte der *Materialien* für alle Lastfälle und Lastkombinationen zu deaktivieren. Dies kann im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* erfolgen.

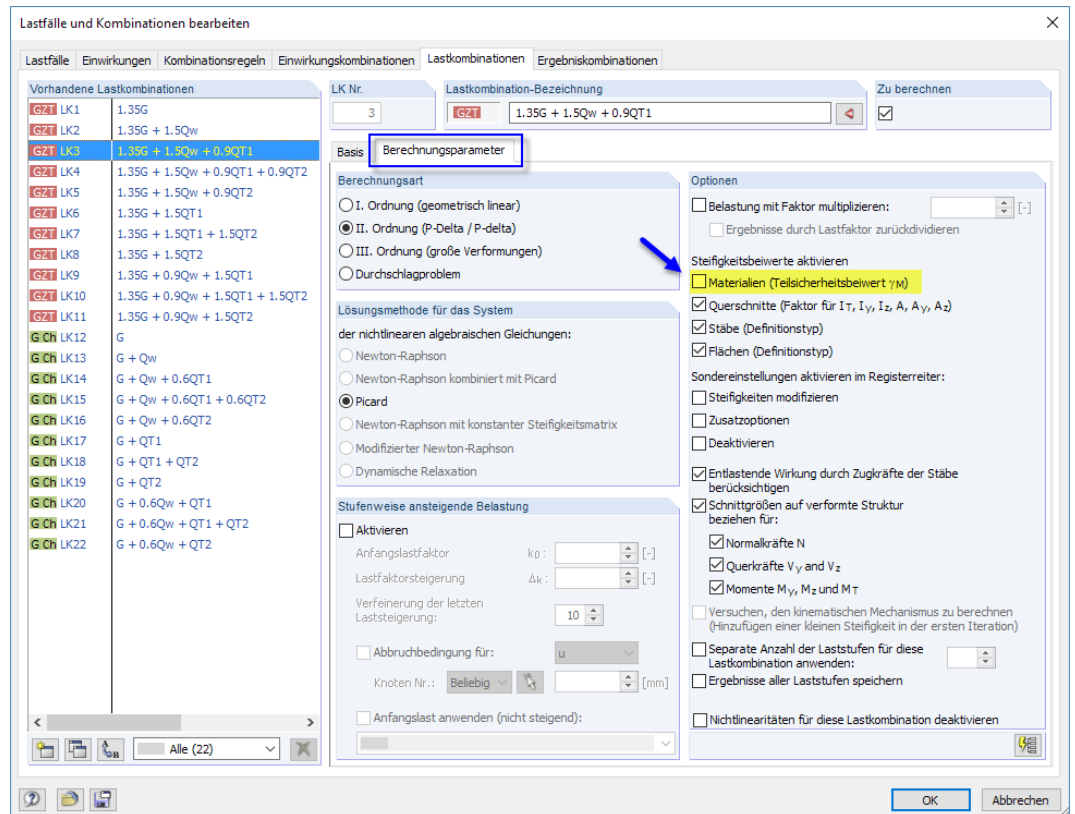


Bild 7.5: Deaktivieren der Steifigkeitsbeiwerte für Materialien im RFEM-Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastkombinationen* und *Berechnungsparameter*

Damit ist sichergestellt, dass dieser Teilsicherheitsbeiwert nicht zu einer Abminderung der Systemsteifigkeit führt. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M wird vielmehr für die Ermittlung des Bemessungswertes des Tragwiderstands R_D benötigt.

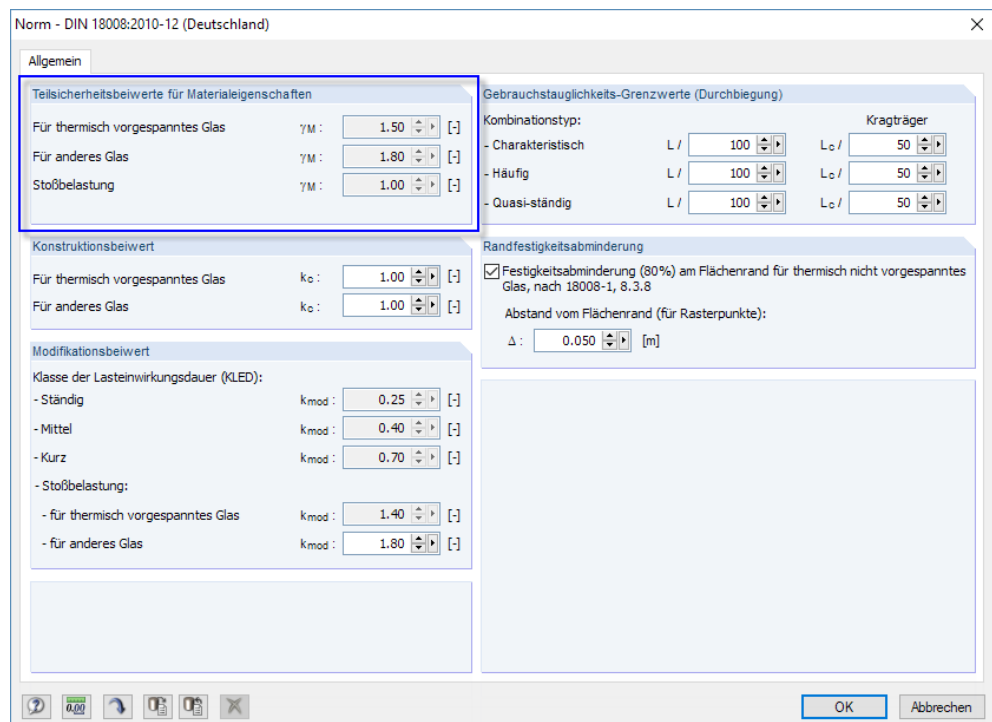


Bild 7.6: RF-GLAS-Dialog *Norm* mit Material-Teilsicherheitsbeiwerten

8 Beispiele

Dieses Kapitel stellt verschiedene Beispiele für die Berechnung mit RF-GLAS vor.

8.1 Steifigkeitsmatrix einer Verbundglasscheibe

Es wird ein Verbundglas untersucht, das aus folgenden Schichten besteht: Ein Einscheibensicherheitsglas (ESG) mit einer Dicke von 12 mm, eine PVB-Folie mit einer Dicke von 1,14 mm und ein ESG mit einer Dicke von 10 mm.

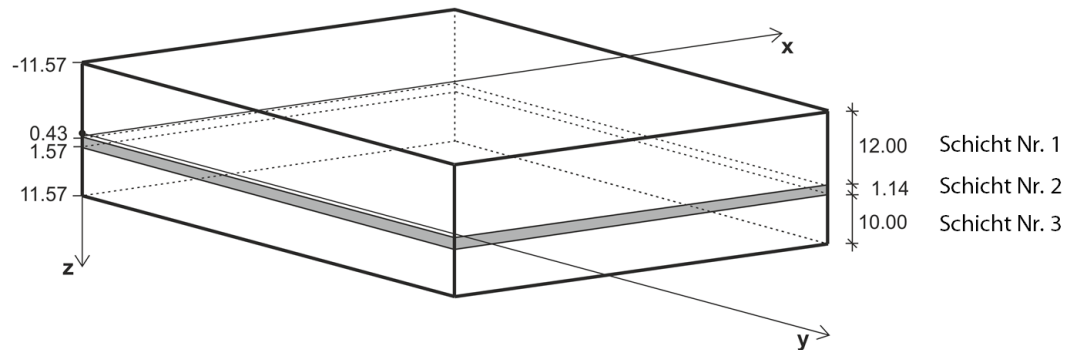


Bild 8.1: Schichtenaufbau und Abstände

Schichten							
Schicht Nr.	A Schicht-typ	B Material Bezeichnung	C Dicke t [mm]	D Grenzspannung σ_{limit} [N/mm ²]	E Elastizitätsmodul E [N/mm ²]	F Schubmodul G [N/mm ²]	G Querdehnzahl v [-]
1	Glas	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	12.00	120.00	70000.00	28455.30	0.23
2	Folie	PVB 22 °C Belastung bis 10 sec	1.14		12.00	4.00	0.50
3	Glas	Einscheibensicherheitsglas (ESG)	10.00	120.00	70000.00	28455.30	0.23

Bild 8.2: Schichtenaufbau in Maske 1.2 Schichten

Der Schubverbund zwischen den Schichten wird berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt nach 2D-Platten-Theorie.

8.1.1 Steifigkeitsmatrixelemente der Schichten

Die Steifigkeitsmatrix einer jeden Schicht ermittelt sich nach Gleichung 2.9 auf Seite 9.

Schicht Nr. 1

$$d_1 = \begin{bmatrix} \frac{70\,000}{1 - 0,23^2} & \frac{0,23 \cdot 70\,000}{1 - 0,23^2} & 0 \\ \frac{0,23 \cdot 70\,000}{1 - 0,23^2} & \frac{70\,000}{1 - 0,23^2} & 0 \\ \text{sym.} & & 28\,455,3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 73\,909,8 & 16\,999,3 & 0 \\ 16\,999,3 & 73\,909,8 & 0 \\ 0 & 0 & 28\,455,3 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Matrixelemente			
d ₁₁ :	<input type="text" value="73909.8"/> [MN/m ²]	d ₁₂ :	<input type="text" value="16999.3"/> [MN/m ²]
		d ₂₂ :	<input type="text" value="73909.8"/> [MN/m ²]
		d ₃₃ :	<input type="text" value="28455.3"/> [MN/m ²]

Bild 8.3: Steifigkeitsmatrix Schicht Nr. 1

Schicht Nr. 2

$$d_2 = \begin{bmatrix} 12 & 0,50 \cdot 12 & 0 \\ 1 - 0,50^2 & 1 - 0,50^2 & 0 \\ \text{sym.} & 12 & 4,0 \\ & 1 - 0,50^2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,0 & 8,0 & 0 \\ 8,0 & 16,0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,0 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Matrixelemente			
d11:	<input type="text" value="16.0"/> [MN/m ²]	d12:	<input type="text" value="8.0"/> [MN/m ²]
		d22:	<input type="text" value="16.0"/> [MN/m ²]
		d33:	<input type="text" value="4.0"/> [MN/m ²]

Bild 8.4: Steifigkeitsmatrix Schicht Nr. 2

Schicht Nr. 3

$$d_3 = d_1 = \begin{bmatrix} 70\,000 & 0,23 \cdot 70\,000 & 0 \\ 1 - 0,23^2 & 1 - 0,23^2 & 0 \\ \text{sym.} & 70\,000 & 28\,455,3 \\ & 1 - 0,23^2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 73\,909,8 & 16\,999,3 & 0 \\ 16\,999,3 & 73\,909,8 & 0 \\ 0 & 0 & 28\,455,3 \end{bmatrix} \text{ MN/m}^2$$

Matrixelemente			
d11:	<input type="text" value="73909.8"/> [MN/m ²]	d12:	<input type="text" value="16999.3"/> [MN/m ²]
		d22:	<input type="text" value="73909.8"/> [MN/m ²]
		d33:	<input type="text" value="28455.3"/> [MN/m ²]

Bild 8.5: Steifigkeitsmatrix Schicht Nr. 3

8.1.2 Gesamtsteifigkeitsmatrix

Die Gesamtsteifigkeitsmatrix nimmt dann gemäß [Gleichung 2.10](#) auf [Seite 9](#) folgende Form an:

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix}$$

Die Ermittlung der Steifigkeitsmatrixelemente ist auf den folgenden Seiten beschrieben.

Biege- und Drillsteifigkeitsglieder

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;11} \quad D_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;12}$$

$$D_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;22}$$

$$D_{33} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} d_{i;33}$$

$$D_{11} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73\,909,8 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^3 - (0,43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^3 - (1,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73\,909,8 \cdot 10^3 = 76,2 \text{ kNm}$$

$$D_{12} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16\,999,3 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^3 - (0,43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 8,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^3 - (1,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16\,999,3 \cdot 10^3 = 17,5 \text{ kNm}$$

$$D_{22} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73\,909,8 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^3 - (0,43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 16,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^3 - (1,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 73\,909,8 \cdot 10^3 = 76,2 \text{ kNm}$$

$$D_{33} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 28\,455,3 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^3 - (0,43 \cdot 10^{-3})^3}{3} 4,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^3 - (1,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} 28\,455,3 \cdot 10^3 = 29,3 \text{ kNm}$$

Exzentrizitätsglieder

$$D_{16} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;11} \quad D_{17} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;12} \quad D_{18} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;13}$$

$$D_{27} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;22} \quad D_{28} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;23}$$

$$D_{38} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{\max,i}^2 - z_{\min,i}^2}{2} d_{i;33}$$

$$D_{16} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73\,909,8 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^2 - (0,43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^2 - (1,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73\,909,8 \cdot 10^3 = -84,2 \text{ kNm/m}$$

$$D_{17} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16\,999,3 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^2 - (0,43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 8,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^2 - (1,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16\,999,3 \cdot 10^3 = -19,4 \text{ kNm/m}$$

$$D_{27} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73\,909,8 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^2 - (0,43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 16,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^2 - (1,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 73\,909,8 \cdot 10^3 = -84,2 \text{ kNm/m}$$

$$D_{38} = \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^2 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 28\,455,3 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^2 - (0,43 \cdot 10^{-3})^2}{2} 4,0 \cdot 10^3 +$$

$$+ \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^2 - (1,57 \cdot 10^{-3})^2}{2} 28\,455,3 \cdot 10^3 = -32,4 \text{ kNm/m}$$

Membranglieder

$$D_{66} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;11} \quad D_{67} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;12}$$

$$D_{77} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;22} \quad D_{88} = \sum_{i=1}^n t_i d_{i;33}$$

$$D_{66} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 73\,909,8 \cdot 10^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot 16,0 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 73\,909,8 \cdot 10^3 = 1\,626\,030 \text{ kN/m}$$

$$D_{67} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 69\,999,3 \cdot 10^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot 8,0 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 16\,999,3 \cdot 10^3 = 373\,993 \text{ kN/m}$$

$$D_{77} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 73\,909,8 \cdot 10^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot 16,0 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 73\,909,8 \cdot 10^3 = 1\,626\,030 \text{ kN/m}$$

$$D_{88} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 28\,455,3 \cdot 10^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot 4,0 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 28\,455,3 \cdot 10^3 = 626\,015 \text{ kN/m}$$

Schubglieder

$$D_{44} = D_{55} = \max \left(D_{44/55, \text{calc}} \cdot \frac{48}{5 \ell^2} \frac{1}{\sum_{i=1}^n E_i \frac{t_i^3}{12}} - \frac{1}{\sum_{i=1}^n E_i \frac{z_{\text{max},i}^3 - z_{\text{min},i}^3}{3}} \right)$$

$$D_{44/55, \text{calc}} = \frac{1}{\int_{-t/2}^{t/2} \frac{1}{G(z)} \left(\frac{\int_{z_0}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) (\bar{z} - z_0) d\bar{z}}{\frac{z}{t/2}} \right)^2 dz}, \quad z_0 = \frac{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) \bar{z} d\bar{z}}{\int_{-t/2}^{t/2} d_{11}(\bar{z}) d\bar{z}}$$

$$D_{44/55, \text{calc}} = 850,3 \text{ kNm}$$

$$\sum_{i=1}^n E_i \frac{t_i^3}{12} = 70\,000 \cdot 10^{-3} \frac{(12 \cdot 10^{-3})^3}{12} + 12 \cdot 10^{-3} \frac{(1,14 \cdot 10^{-3})^3}{12} + 70\,000 \cdot 10^{-3} \frac{(10 \cdot 10^{-3})^3}{12}$$

$$= 15,913 \text{ kNm}$$

$$\sum_{i=1}^n E_i \frac{z_{\max,i}^3 - z_{\min,i}^3}{3} =$$

$$= 70\,000 \cdot 10^{-3} \frac{(0,43 \cdot 10^{-3})^3 - (-11,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} +$$

$$+ 12 \cdot 10^{-3} \frac{(1,57 \cdot 10^{-3})^3 - (0,43 \cdot 10^{-3})^3}{3} +$$

$$+ 70\,000 \cdot 10^{-3} \frac{(11,57 \cdot 10^{-3})^3 - (1,57 \cdot 10^{-3})^3}{3} = 72,190 \text{ kNm}$$

$$D_{44} = D_{55} = \max \left(850,32, \frac{48}{5 \cdot 12} \frac{1}{\frac{1}{15,913} - \frac{1}{72,190}} \right) = \max(850,3, 166,0) = 850,3 \text{ kNm}$$

Gesamtsteifigkeitsmatrix

Die Gesamtsteifigkeit gemäß Gleichung 2.10 auf Seite 9 lautet:

$$D = \begin{bmatrix} 76,2 & 17,5 & 0 & 0 & 0 & -84,2 & -19,4 & 0 \\ & 76,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -84,2 & 0 \\ & & 29,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -32,4 \\ & & & 850,3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 850,3 & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & 1\,626\,030 & 373\,993 & 0 \\ & & & & & & 1\,626\,030 & 0 \\ & & & & & & & 626\,015 \end{bmatrix}$$

Bild 8.6: Gesamtsteifigkeitsmatrix

8.2 Verformungen einer Isolierglasscheibe

8.2.1 Geometrie und Klimalasten

Wir betrachten eine gelenkig gelagerte Isolierglasscheibe mit den Abmessungen 1,0 m x 1,5 m und einem Schichtenaufbau gemäß Bild 8.7.

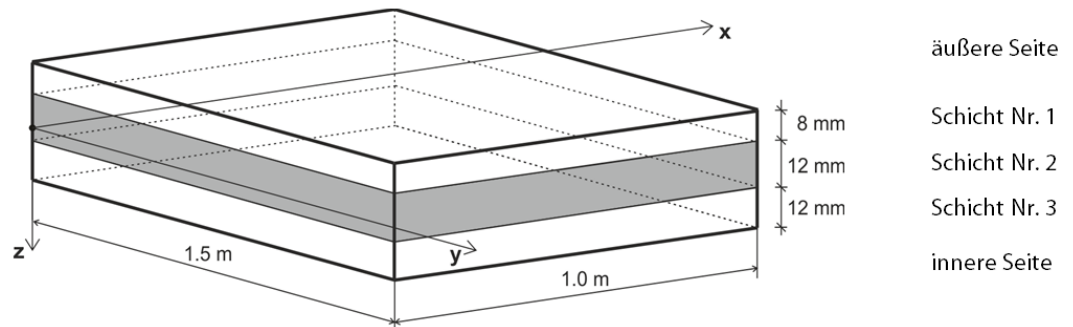


Bild 8.7: Schichtenaufbau

Geometrie

Abmessung in x-Richtung:	$a = 1,0 \text{ m}$
Abmessung in y-Richtung:	$a = 1,5 \text{ m}$
Dicke der äußeren Glasschicht:	$t_1 = 8 \text{ mm}$
Dicke der Luftschicht:	$t_1 = 12 \text{ mm}$
Dicke der inneren Glasschicht:	$t_1 = 12 \text{ mm}$

Glasparameter

Elastizitätsmodul:	$E = 70\,000 \text{ MPa}$
Schubmodul:	$G = 28\,455 \text{ MPa}$
Querdehnzahl:	$\nu = 0,23$

Klimalast

Herstellung

Temperatur:	$T_p = 0 \text{ °C}$
Atmosphärischer Druck:	$p_{p,met} = 101 \text{ kPa}$
Höhe über Meeresspiegel:	$H_1 = 0 \text{ m}$

Nutzung

Temperatur:	$T_1 = 25 \text{ °C}$ (außen = Gas = innen)
Atmosphärischer Druck:	$p_{au\beta en,met} = 97 \text{ kPa}$
Höhe über Meeresspiegel:	$H_2 = 100 \text{ m}$

Die Länge der finiten Elemente soll 50 mm betragen.

8.2.2 RFEM-Modell

In RFEM ist zunächst ein neues Modell mit dem *Modelltyp 3D* anzulegen. Die Scheibe kann dann als *Neue Rechteckplatte* erzeugt werden.

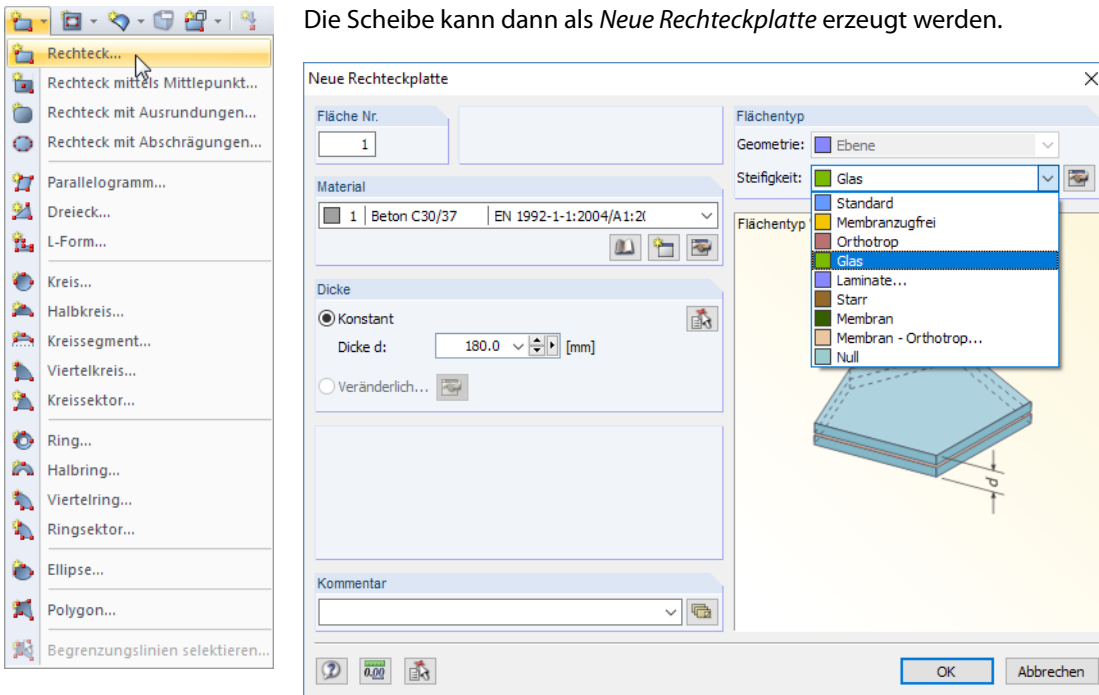


Bild 8.8: Dialog *Neue Rechteckplatte*

Material und *Dicke* spielen für das Beispiel keine Rolle, da diese Eigenschaften in RF-GLAS verwaltet werden. Wichtig hingegen ist es, im Abschnitt *Flächentyp* die Steifigkeit **Glas** festzulegen.

In RFEM brauchen keine Lager definiert werden, da die Lagerung im Zusatzmodul spezifiziert wird.



Obwohl im Modell keine äußere Last vorliegt, muss für die Berechnung in RF-GLAS ein Lastfall erzeugt werden. Das Eigengewicht soll nicht *Aktiv* sein.

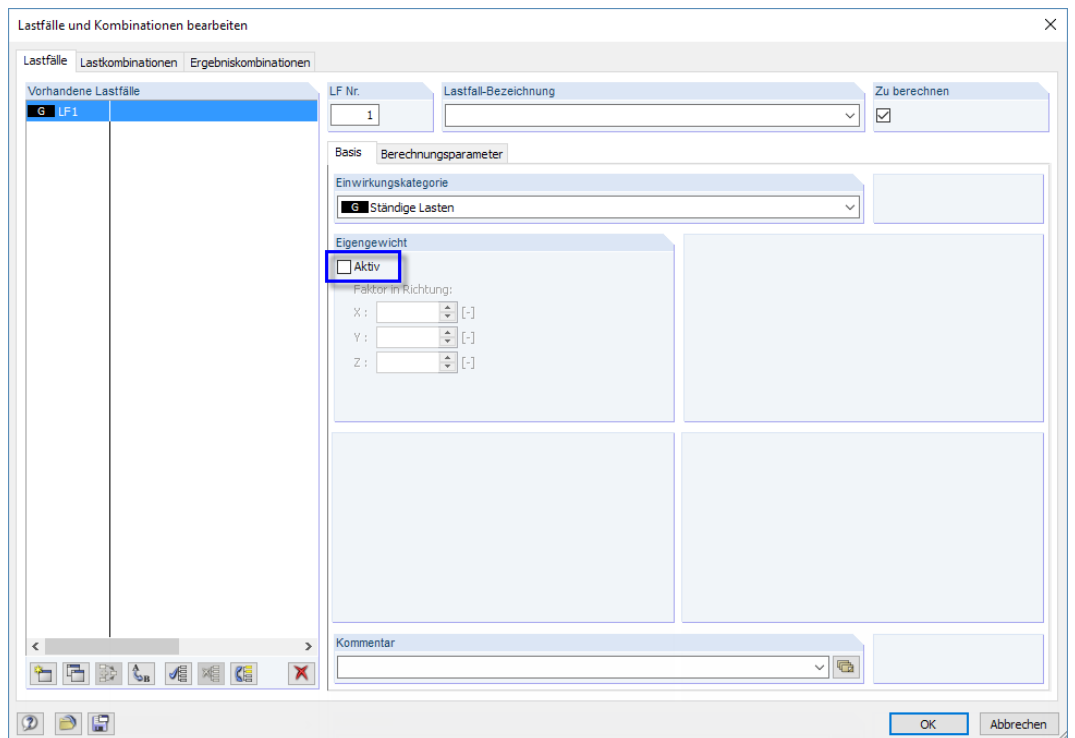


Bild 8.9: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*

Im Dialog *FE-Netz* wird eine Länge der finiten Elemente von **0,05 m** angestrebt.

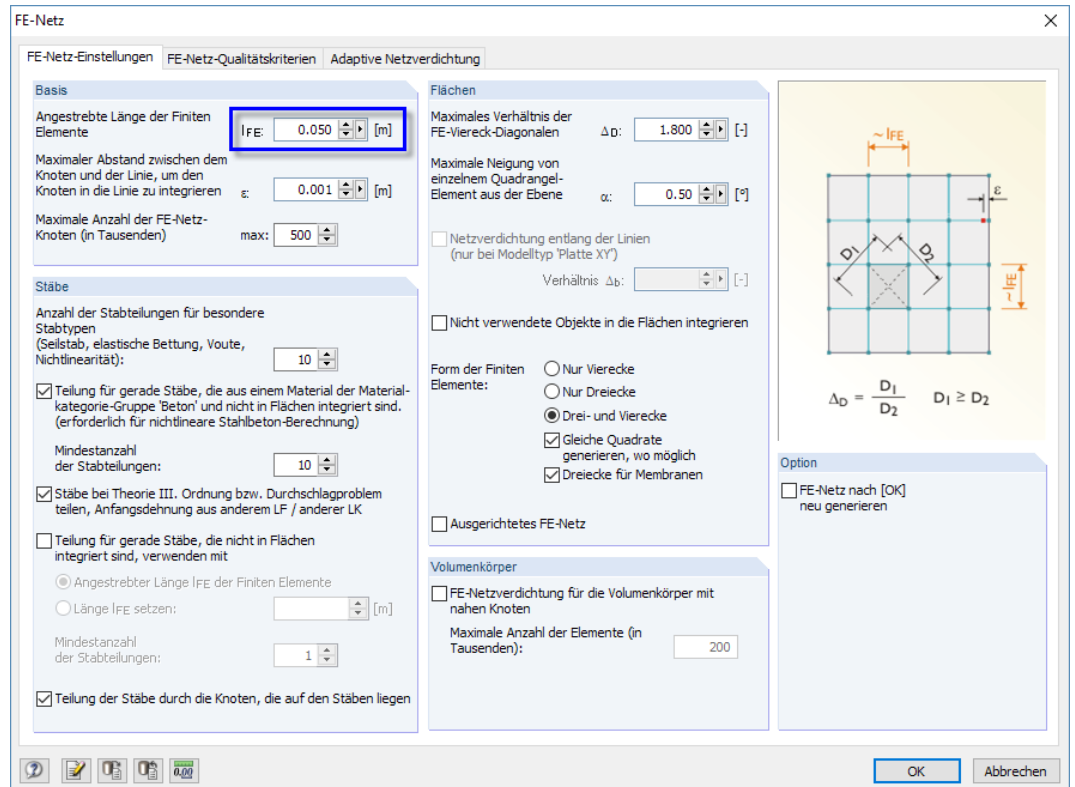


Bild 8.10: Dialog *FE-Netz*

Damit ist die Eingabe in RFEM abgeschlossen.

8.2.3 Berechnung mit RF-GLAS

Nach dem Aufruf von RF-GLAS kann in Maske *1.1 Basisangaben* kein Lastfall ausgewählt werden: Der LF1 enthält keine Lastdaten. Er ist rot gekennzeichnet.

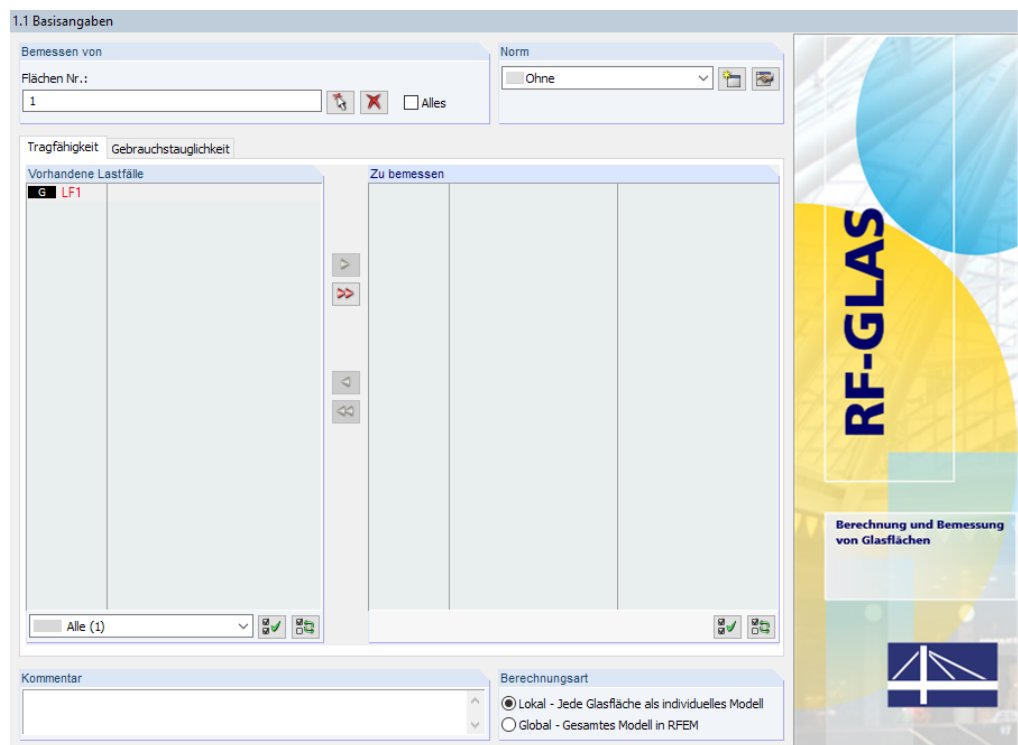


Bild 8.11: Maske *1.1 Basisangaben* von RF-GLAS

Daher ist zunächst in Maske *1.2 Schichten* ein Isolierglas mit Gasschicht zu definieren. Danach kann in Maske 1.1 ein Lastfall ausgewählt werden.

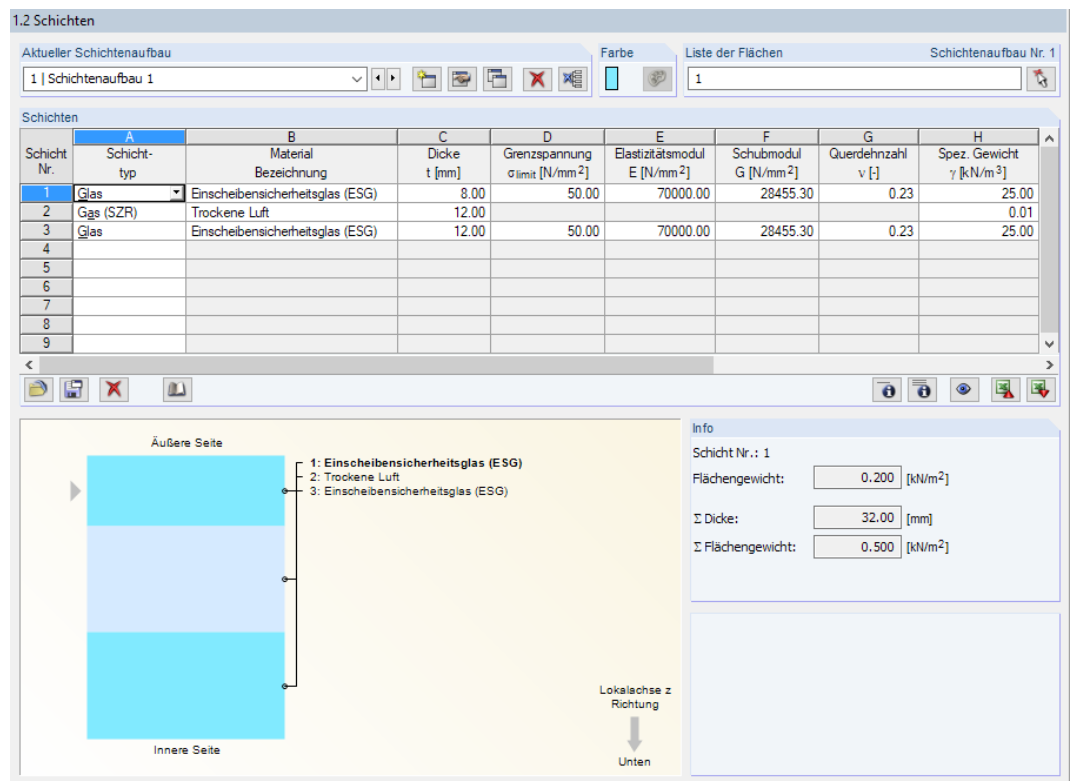


Bild 8.12: Maske *1.2 Schichten*

Vorerst ist die Verformung der Glasscheibe von Interesse ist. Deshalb ist der **LF1** nur im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske *1.1 Basisangaben* auszuwählen.

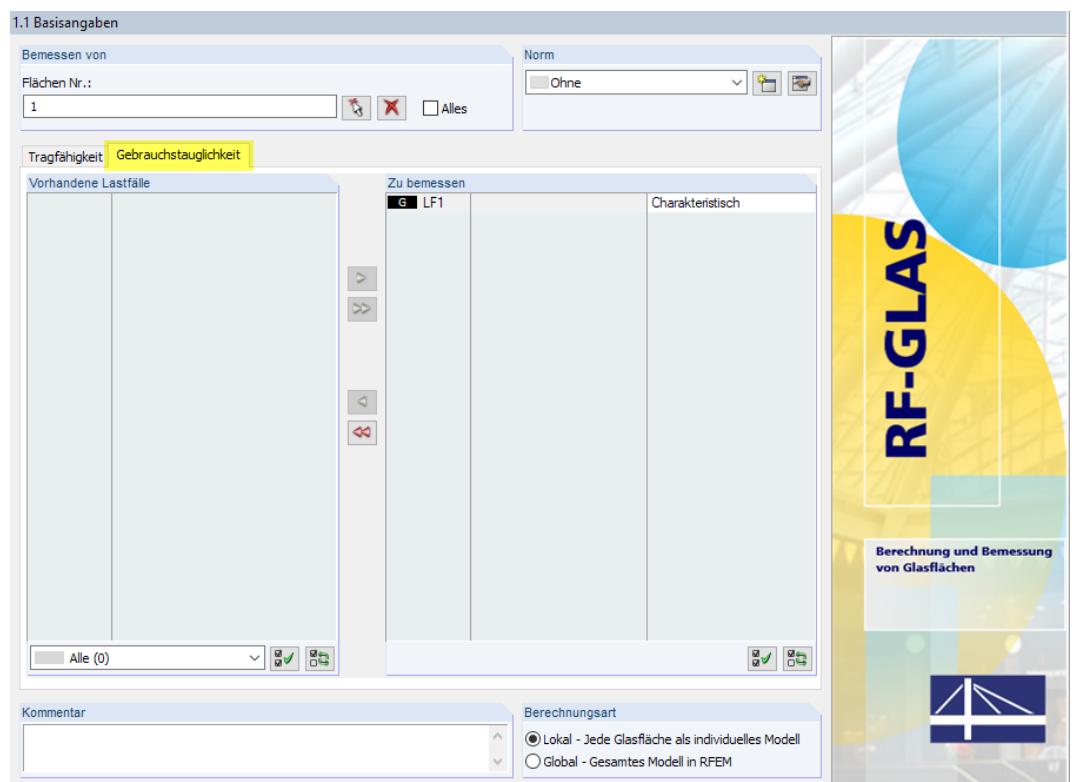


Bild 8.13: Maske *1.1 Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

In Maske 1.3 *Linienlager* ist für die Linien 1 bis 4 der Lagertyp **Gelenkig - Typ 1** festzulegen.

1.3 Linienlager

Aktueller Schichtenaufbau: 1 | Schichtenaufbau 1

Liste der Flächen: 1

Lagertyp		A	B
Lager Nr.	An Linien Nr.	Lager Typ	
1	1-4	Gelenkig - Typ 1	
2			

Paket Nr.	Lager-Anordnung	Bezugs-System	Drehung β [°]	Lagerung bzw. Feder [kN/m ²]			Einspannung bzw. Feder [kNm ² /m]		
				u_x	u_y	u_z	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z
1	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Mitte	Lokal	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Bild 8.14: Maske 1.3 *Linienlager*

In den Masken 1.4 *Knotenlager* und 1.5 *Randstäbe* erfolgen keine Eingaben.

In Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas* sind die Lastparameter für die sommerliche Belastung gemäß Kapitel 8.2.1 wie folgt zu definieren:

1.6 Klimalasten-Parameter für Isolierglas

Aktueller Schichtenaufbau: 1 | Schichtenaufbau 1

Liste der Flächen: 1

Klimatische Lastparameter - Sommer

Sommerliche klimatische Belastung verwenden
 Automatische Berechnung der Gastemperatur

Herstellung

Atmosphärischer Druck	$p_{p,met}$	101.0	kPa
Höhenlage	H_1	0.0	m
Temperatur	T_p	0.0	°C

Montage

Allgemein

Atmosphärischer Druck	$p_{out,me}$	97.0	kPa
Differenz des atmosphärischen Drucks	Δp	-4.0	kPa
Höhenlage	H_2	100.0	m
Höhenlagedifferenz	ΔH	100.0	m

Außenseite

Lufttemperatur	T_e	25.0	°C
----------------	-------	------	----

Gas Nr. 1 (Schicht Nr.: 2)

Gastemperatur	T_1	25.0	°C
Differenz der Gastemperaturen	ΔT_1	25.0	°C

Innenseite

Lufttemperatur	T_i	25.0	°C
----------------	-------	------	----

Lastfälle für Klimalasten

Temperaturdifferenzen: LF1
 Atmosphärische Druckdifferenzen: LF1
 Höhendifferenzen: LF1

Äußere Seite: 1: Einscheibensicherheitsglas (ESG), 2: Trockene Luft, 3: Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Innere Seite: 25.0°C

Lokalachse z Richtung Unten

Bild 8.15: Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas*, Register *Klimatische Lastparameter - Sommer*

Im Register *Klimatische Lastparameter - Winter* ist das Kontrollfeld *Winterliche klimatische Belastung verwenden* zu deaktivieren.

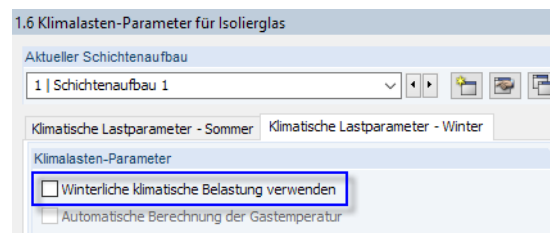


Bild 8.16: Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas*, Register *Klimatische Lastparameter - Winter*

In Maske 1.7 können die Voreinstellungen unverändert belassen werden.

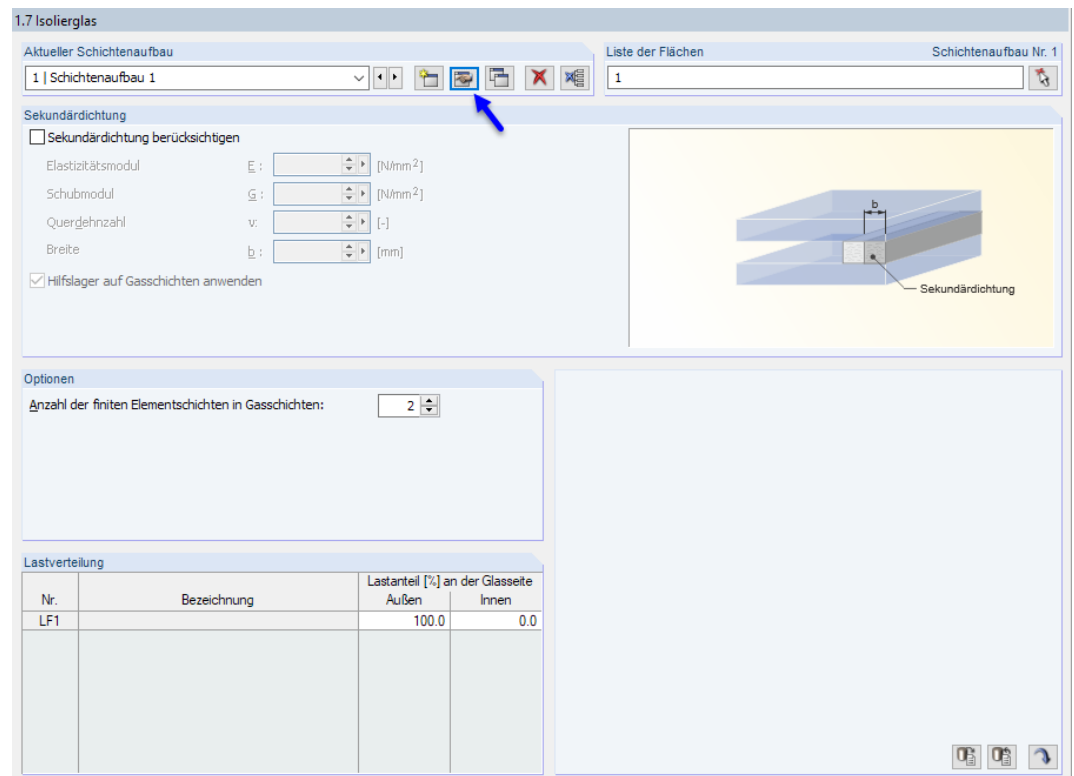


Bild 8.17: Maske 1.7 *Isolierglas*



Über die Schaltfläche [Details für Schichtenaufbau] (im Bild 8.17 gekennzeichnet) ist es möglich, die Berechnungsvorgaben für den Schichtenaufbau zu überprüfen.

Im Dialog *Details für Schichtenaufbau* ist das Kontrollfeld *Erzeugte temporäre Modelle speichern* anzuhaken (siehe Bild 8.18). Damit ist es möglich, die Ergebnisse von RF-GLAS später anhand eines RFEM-Modells zu überprüfen.

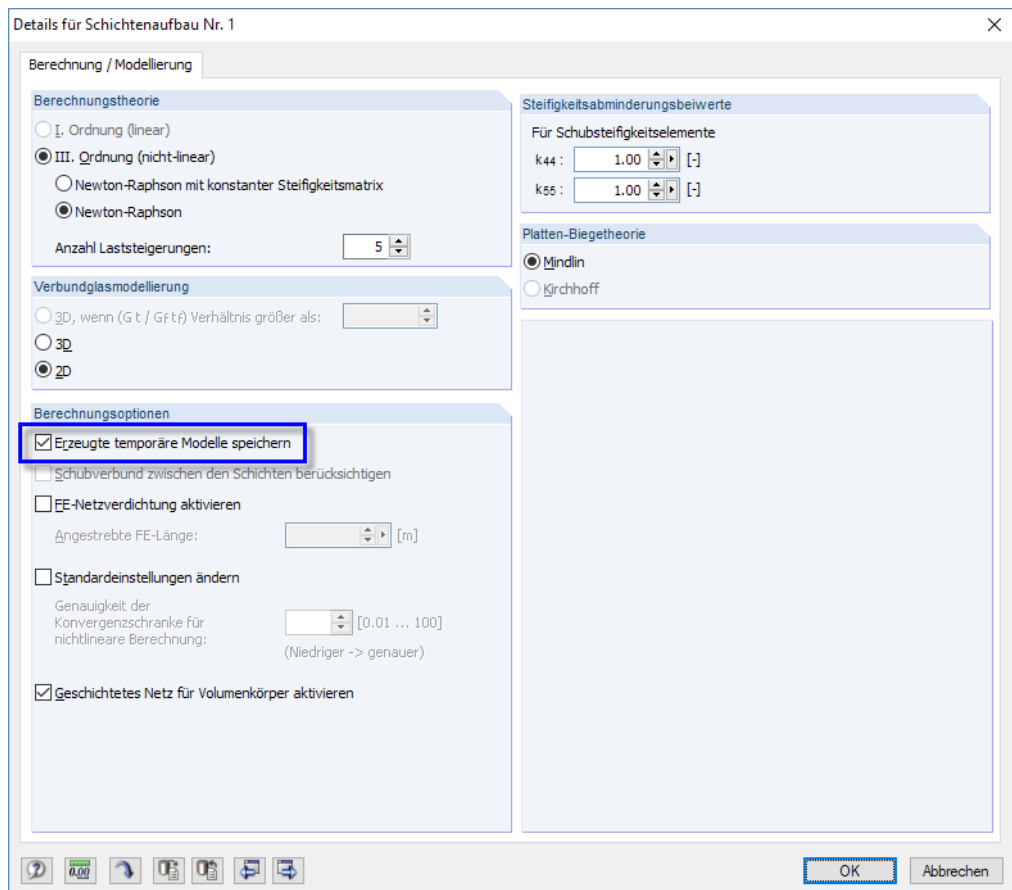


Bild 8.18: Dialog *Details für Schichtenaufbau Nr. 1*

In Maske *1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter* ist die Fläche **1** zur *Liste der Flächen* hinzuzufügen. Die *Bezugslänge L* wird automatisch eingetragen.

1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Zuordnung der Bezugslängen zu den Flächen

Nr.	A	B		C	D	E	F
	Liste der Flächen	Typ	Bezugslänge	L [m]	Krag-träger	Verformung bezogen auf	Kommentar
1	1	Minimale Begrenzungslinie		1.000	<input type="checkbox"/>	Unverformtes System	
2							

Bild 8.19: Maske *1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter*

8.2.4 Berechnung

Berechnung

Die [Berechnung] wird über die gleichnamige Schaltfläche gestartet. Da ein Isolierglas vorliegt, erfolgt die Berechnung als 3D-Modell, in dem die einzelnen Schichten als Volumenkörper analysiert werden.

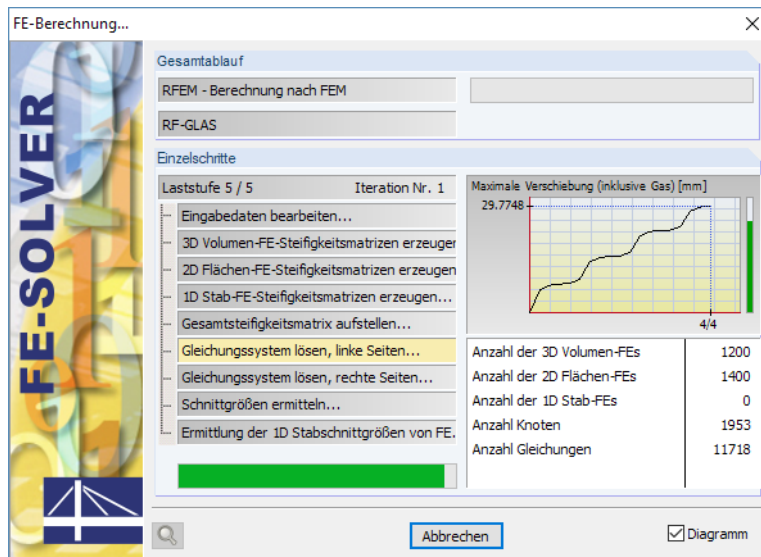


Bild 8.20: Berechnung

Bei der Berechnung wird ein Diagramm mit dem Verlauf der maximalen Verschiebung inklusive Verschiebung in den Gaselementen angezeigt. Da die Verformungen beachtlich sind, wird Isolierglas immer nach Theorie III. Ordnung (Theorie großer Verformungen) berechnet. Auf diese Weise wird die Modellgeometrie korrekt erfasst.

Nach der Berechnung werden in Maske 3.1 *Max. Verschiebungen* die Verformungen u_z senkrecht zur Scheibe ausgegeben.

3.1 Max. Verschiebungen

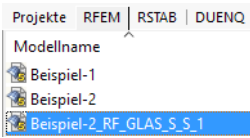
Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Belastung	Kombinations-typ	Packet Nr.	Verschiebungen [mm]		Ausnutzung u_z [%]
		X	Y	Z				u_z	Grenz u_z	
1	326	0.750	-0.500	0.000	LF1; Sommer	Charakteristisch	1	-2.80	10.00	0.28
	326	0.750	-0.500	0.000				Charakteristisch	2	0.98
Maximale Verschiebung / Maximale Ausnutzung										
1	326	0.750	-0.500	0.000	LF1; Sommer	Charakteristisch	1	-2.80	10.00	0.28
	326	0.750	-0.500	0.000				Charakteristisch	1	-2.80

Max. Ausnutzung: 0.28 ≤ 1

Bild 8.21: Maske 3.1 Max. Verschiebungen

8.2.5 Kontrolle mit RFEM

Die Ergebnisse lassen sich anhand des RFEM-Modells überprüfen, das gemäß Vorgabe im Dialog *Details für Schichtenaufbau Nr. 1* während der Berechnung erzeugt wurde (siehe Bild 8.18, Seite 90). Dieses RFEM-Modell muss aber noch mit den Anpassungen in RF-GLAS abgeglichen werden.



RF-GLAS kann mit [OK] beendet werden. Das generierte RFEM-Modell befindet sich im selben Projektordner wie die Originaldatei. Es kann über den Projektmanager oder den Explorer geöffnet werden.

Im RFEM-Modell ist das Gasvolumen zu löschen. Anschließend ist den Scheiben-Volumenkörpern eine äquivalente Flächenlast p zuzuweisen. Sie kann wie folgt aus der thermischen Zustandsgleichung idealer Gase bestimmt werden:

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \tag{8.1}$$

$$\frac{p_p V_{01}}{T_p} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_{\text{out}})]}{T_1} \tag{8.2}$$

mit

C_v : Nachgiebigkeit der Glasplatten, definiert als $C_v(p) = V(p)/p$ [m³/Pa]

$V(p)$: Volumen zwischen unverformter und verformter Position der Glasschicht infolge des Drucks p . Der Wert der Nachgiebigkeit ist vom Momentendruck abhängig.

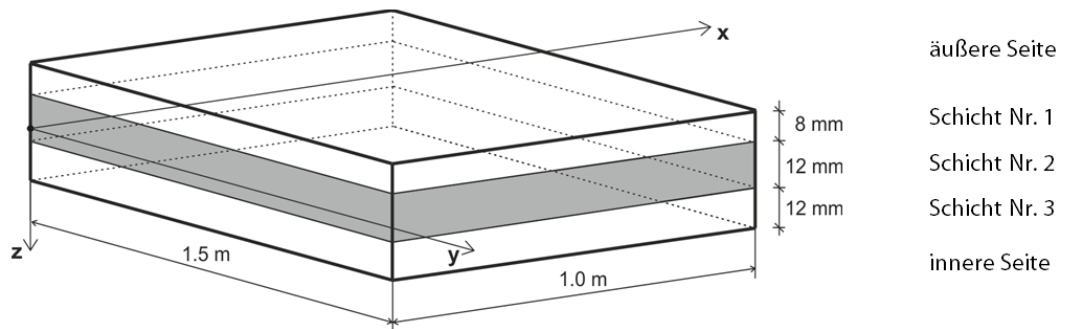


Bild 8.22: Schichtenaufbau

Das Anfangsgasvolumen beträgt:

$$V_{01} = a \cdot b \cdot t_2 = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,012 = 0,018 \text{ m}^3$$

Der Außengasdruck während der Nutzung wird wie folgt berechnet:

$$p_{\text{out}} = p_{\text{out,met}} - c_2 H_2 = p_{p,\text{met}} + \Delta p_{\text{met}} - c_2 H_2 = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H$$

Durch Substitution erhält man:

$$\frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = p_1 [V_{01} + C_v (p_1 - p_p - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H)]$$

$$C_v p_1^2 + [V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)] p_1 - \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p} = 0$$

Der innere Gasdruck während der Nutzung ist dann:

$$p_1 = \frac{C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2 C_v}$$

$$p_p = p_{p,\text{met}} - c_2 H_1 = 101\,000 - 12 \cdot 0 = 101\,000 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{met}} = p_{\text{out},\text{met}} - p_{p,\text{met}} = 97\,000 - 101\,000 = -4\,000 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{out}} = p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H = 101\,000 - 4\,000 - 12 \cdot (100 - 0) = 95\,800 \text{ Pa}$$

Der Faktor C_v für die Nachgiebigkeit der Glasplatten hängt vom Lagertyp, den Abmessungen und der Steifigkeit der Glasscheiben ab. Er wird nach folgender Formel berechnet:

$$C_v = C_{v1} + C_{v2}$$

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{1}{p} \iint_{00}^{ab} w_1(x,y) \, dx dy$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{1}{p} \iint_{00}^{ab} w_2(x,y) \, dx dy$$

mit

C_{v1} : Nachgiebigkeit von Schicht 1

C_{v2} : Nachgiebigkeit von Schicht 3

Da der Faktor C_v vom Druck $p = p_1 - p_{\text{out}}$ abhängt, erfolgt die Berechnung iterativ.

1. Iterationsschritt

Bei $p_1 = 100\,800 \text{ Pa}$ erhält man

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 100\,800 - 95\,800 = 5\,000 \text{ Pa.}$$

RFEM ermittelt bei nichtlinearer Analyse mit einer FE-Länge von 50 mm und einer Belastung von $p = 5\,000 \text{ Pa}$ maximale Durchbiegungen von

$$w_1 = -6,144 \text{ mm und } w_2 = 3,207 \text{ mm.}$$

Mithilfe des Moduls RF-IMP lassen sich die Verformungen der einzelnen Punkte im Modell ermitteln. Dann kann das Volumen zwischen der verformten Fläche und der Fläche vor der Verformung, d. h. $V_1 = 4,058 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ und $V_2 = 2,047 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ berechnet werden.

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{4,058 \cdot 10^{-3}}{5\,000} = 8,116 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{2,047 \cdot 10^{-3}}{5\,000} = 4,094 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 8,116 \cdot 10^{-7} + 4,094 \cdot 10^{-7} = 1,221 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = \frac{C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2 C_v}$$

Die Wurzel in obiger Formel ermittelt sich wie folgt:

$$\begin{aligned} & \sqrt{[V_{01} - C_v (p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}} = \\ & = \sqrt{[0,018 - 1,221 \cdot 10^{-6} \cdot 95\,800]^2 + 4 \cdot 1,221 \cdot 10^{-6} \frac{101\,000 \cdot 0,018 \cdot 298,15}{273,15}} = 0,1396 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Damit ergibt sich folgender Gasdruck:

$$p_1 = \frac{1,221 \cdot 10^{-6} \cdot 95\,800 - 0,018 + 0,1396}{2 \cdot 1,221 \cdot 10^{-6}} = 97\,694 \text{ Pa}$$

2. Iterationsschritt

Bei $p_1 = 97\,694$ Pa erhält man

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,694 - 95\,800 = 1\,894 \text{ Pa.}$$

RFEM ermittelt für die Belastung von $p = 1\,894$ Pa maximale Durchbiegungen von

$$w_1 = -3,497 \text{ mm und } w_2 = 1,323 \text{ mm.}$$

Mit RF-IMP lassen sich wieder die Verformungen der Punkte im Modell und daraus das Volumen zwischen der verformten Fläche und der Fläche vor der Verformung mit $V_1 = 2,253 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ und $V_2 = 0,840 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ bestimmen.

$$C_{v1}(p) = \frac{V_1}{p} = \frac{2,253 \cdot 10^{-3}}{1\,894} = 1,190 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_{v2}(p) = \frac{V_2}{p} = \frac{0,840 \cdot 10^{-3}}{1\,894} = 4,435 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,190 \cdot 10^{-6} + 4,435 \cdot 10^{-7} = 1,633 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = \frac{C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H) - V_{01} + \sqrt{[V_{01} - C_v(p_p + \Delta p_{\text{met}} - c_2 \Delta H)]^2 + 4 C_v \frac{p_p V_{01} T_1}{T_p}}}{2 C_v}$$

Die Wurzel in obiger Formel ermittelt sich wie folgt:

$$\sqrt{[0,018 - 1,633 \cdot 10^{-6} \cdot 95\,800]^2 + 4 \cdot 1,633 \cdot 10^{-6} \frac{101\,000 \cdot 0,018 \cdot 298,15}{273,15}} = 0,1\,792 \text{ m}^3$$

Damit ergibt sich folgender Gasdruck:

$$p_1 = \frac{1,633 \cdot 10^{-6} \cdot 95\,800 - 0,018 + 0,1792}{2 \cdot 1,633 \cdot 10^{-6}} = 97\,270 \text{ Pa}$$

3. Iterationsschritt

Die weiteren Iterationsschritte verlaufen analog. Nachfolgend werden nur die wichtigsten Werte angegeben.

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,270 - 95\,800 = 1\,470 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,920 \text{ mm und } w_2 = 1,034 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,873 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,656 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,274 \cdot 10^{-6} + 4,464 \cdot 10^{-7} = 1,720 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,204 \text{ Pa}$$

4. Iterationsschritt

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,204 - 95\,800 = 1\,404 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,821 \text{ mm und } w_2 = 0,988 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,808 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,627 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,288 \cdot 10^{-6} + 4,468 \cdot 10^{-7} = 1,735 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,193 \text{ Pa}$$

5. Iterationsschritt

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,193 - 95\,800 = 1\,393 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,805 \text{ mm und } w_2 = 0,981 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,800 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,623 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,290 \cdot 10^{-6} + 4,469 \cdot 10^{-7} = 1,737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,192 \text{ Pa}$$

6. Iterationsschritt

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,192 - 95\,800 = 1\,392 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,803 \text{ mm und } w_2 = 0,980 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,796 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,622 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,290 \cdot 10^{-6} + 4,469 \cdot 10^{-7} = 1,737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,192 \text{ Pa}$$

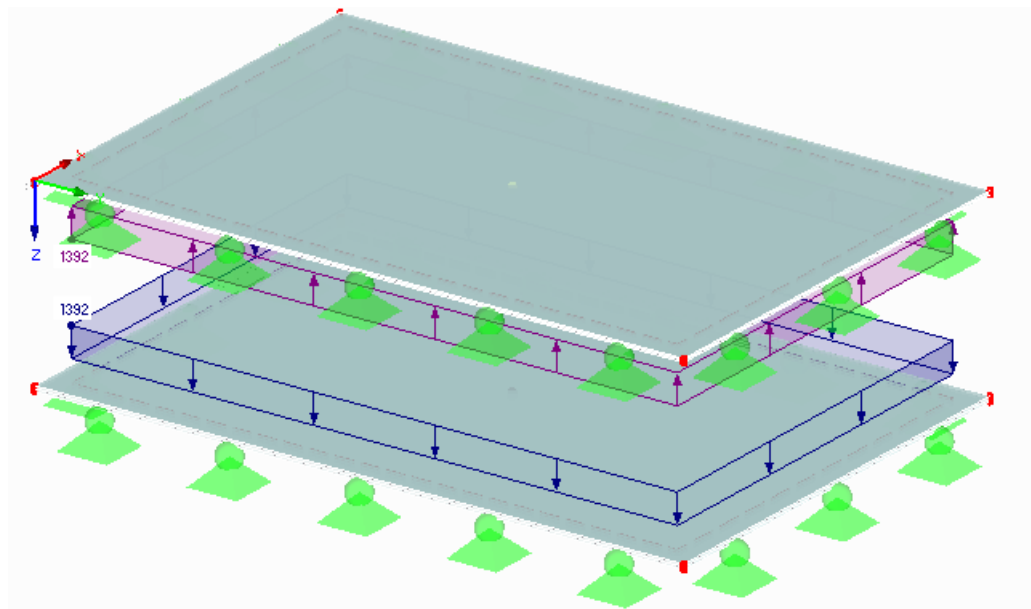


Bild 8.23: RFEM-Modell

7. Iterationsschritt

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,192 - 95\,800 = 1\,392 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,802 \text{ mm und } w_2 = 0,980 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,796 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,622 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,290 \cdot 10^{-6} + 4,469 \cdot 10^{-7} = 1,737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,191 \text{ Pa}$$

8. Iterationsschritt

$$p = p_1 - p_{\text{out}} = 97\,191 - 95\,800 = 1\,391 \text{ Pa}$$

$$w_1 = -2,802 \text{ mm und } w_2 = 0,980 \text{ mm}$$

$$V_1 = 1,796 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ und } V_2 = 0,622 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$C_v = C_{v1} + C_{v2} = 1,290 \cdot 10^{-6} + 4,469 \cdot 10^{-7} = 1,737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pa}$$

$$p_1 = 97\,191 \text{ Pa}$$

Da die Ergebnisse für den Gasdruck p_1 beim siebten und achten Iterationsschritt identisch sind, wird der Iterationsprozess abgebrochen. Als maximale Durchbiegungen ergeben sich somit

$$w_1 = -2,802 \text{ mm und } w_2 = 0,980 \text{ mm.}$$

Zum Vergleich: Die von RF-GLAS ermittelten Verschiebungen u_z betragen $-2,80 \text{ mm}$ und $0,98 \text{ mm}$ (siehe [Bild 8.21](#), [Seite 91](#)).

8.3 Verformungen einer Isolierglasscheibe nach TRLV

Wir berechnen das im Kapitel 8.2 vorgestellte Beispiel nach TRLV [3] Anhang A (bzw. DIN 18008-2 [4] Anhang A).

Das Modell muss hierfür folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Rechteckige Fläche ohne Öffnung
- Genau eine Gasschicht
- Linienlager des Typs *Gelenkig - Typ 7* an allen Begrenzungslinien
- Belastung nur durch Flächenlast

Die Berechnung erfolgt nach Theorie I. Ordnung und Kirchhoffscher Biegetheorie.

8.3.1 RFEM-Modell

Zusätzlich zur Klimalast erhält die äußere Glasschicht eine Windlast von 1 kN/m^2 . Diese Belastung wird in RFEM im neuen Lastfall 2 *Wind* arrangiert.

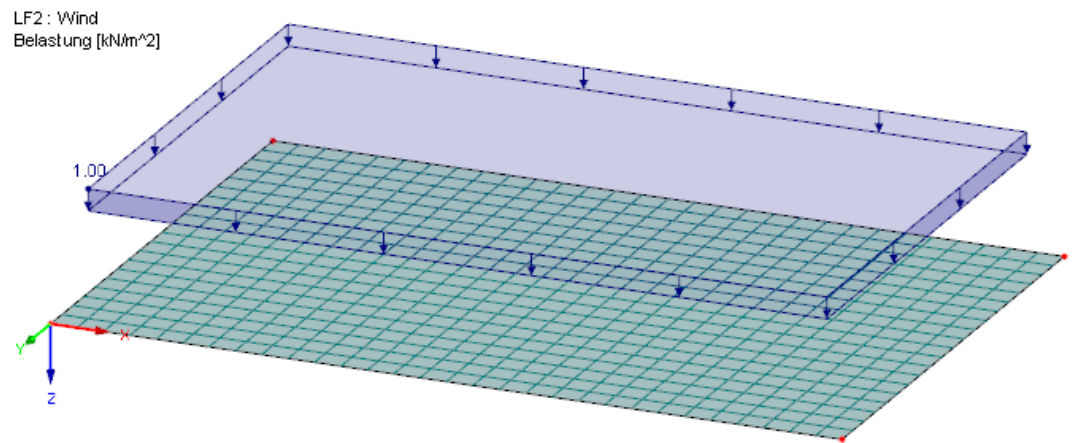


Bild 8.24: LF2 mit Windlast in RFEM

8.3.2 Berechnung mit RF-GLAS

In Maske 1.1 *Basisangaben* von RF-GLAS ist die Norm **TRLV:2006-08** einzustellen.

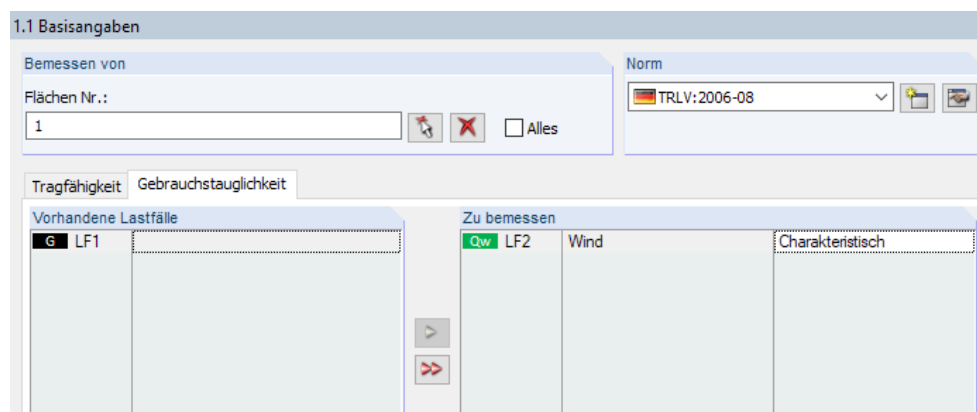


Bild 8.25: Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

Für die Bemessung der *Gebrauchstauglichkeit* ist der **LF2** relevant.

In Maske 1.3 *Linienlager* ist der Lagertyp auf **Gelenkig - Typ 7** zu ändern.

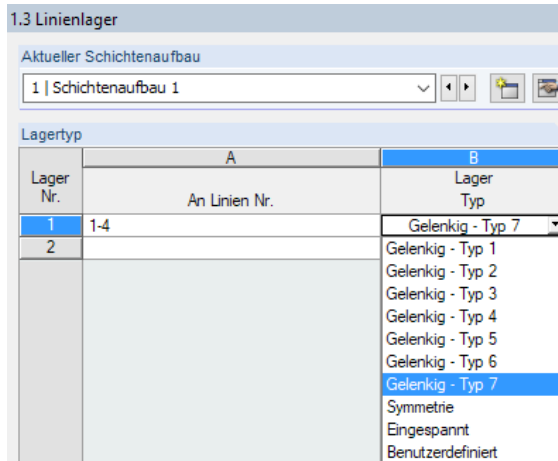


Bild 8.26: Maske 1.3 *Linienlager*

In Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas* sind die Lastparameter für die sommerliche Belastung dem **LF2** zuzuordnen.

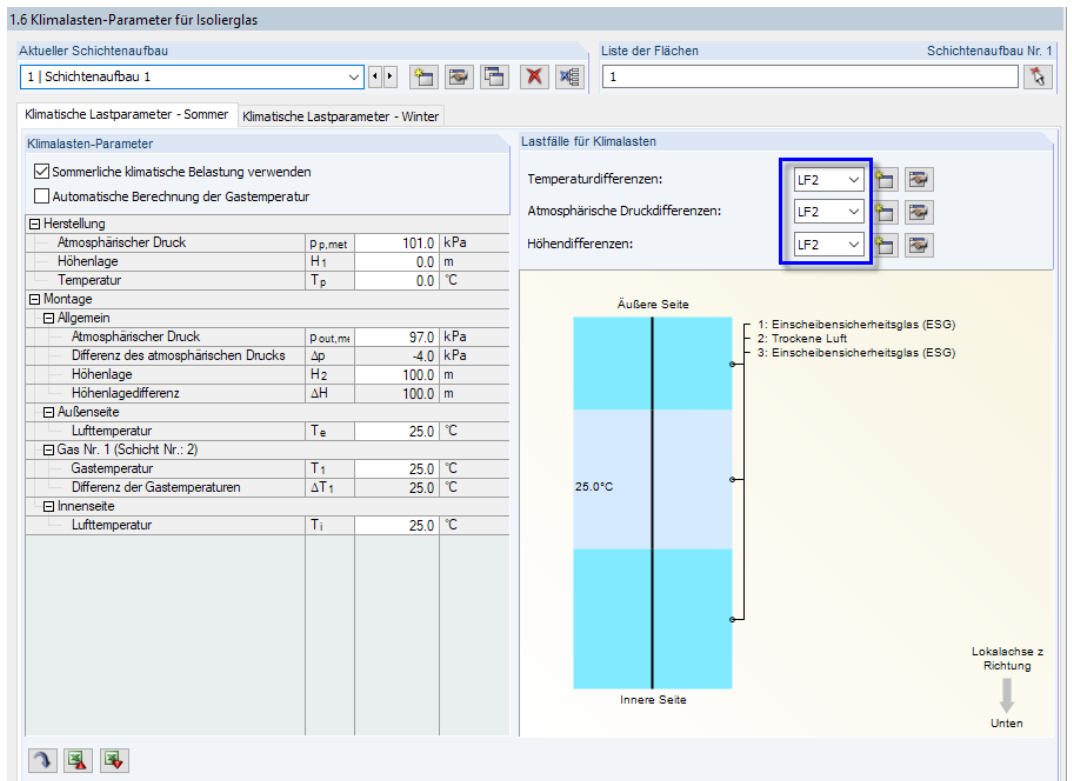


Bild 8.27: Maske 1.6 *Klimalasten-Parameter für Isolierglas*, Register *Klimatische Lastparameter - Sommer*

Im Register *Klimatische Lastparameter - Winter* ist zu überprüfen, ob das Kontrollfeld *Winterliche klimatische Belastung verwenden* inaktiv ist.

In Maske 1.7 ist das Kontrollfeld **Berechnung nach Anhang A** anzuhaken. Der Lastanteil soll zu 100 % *Außen* wirken.

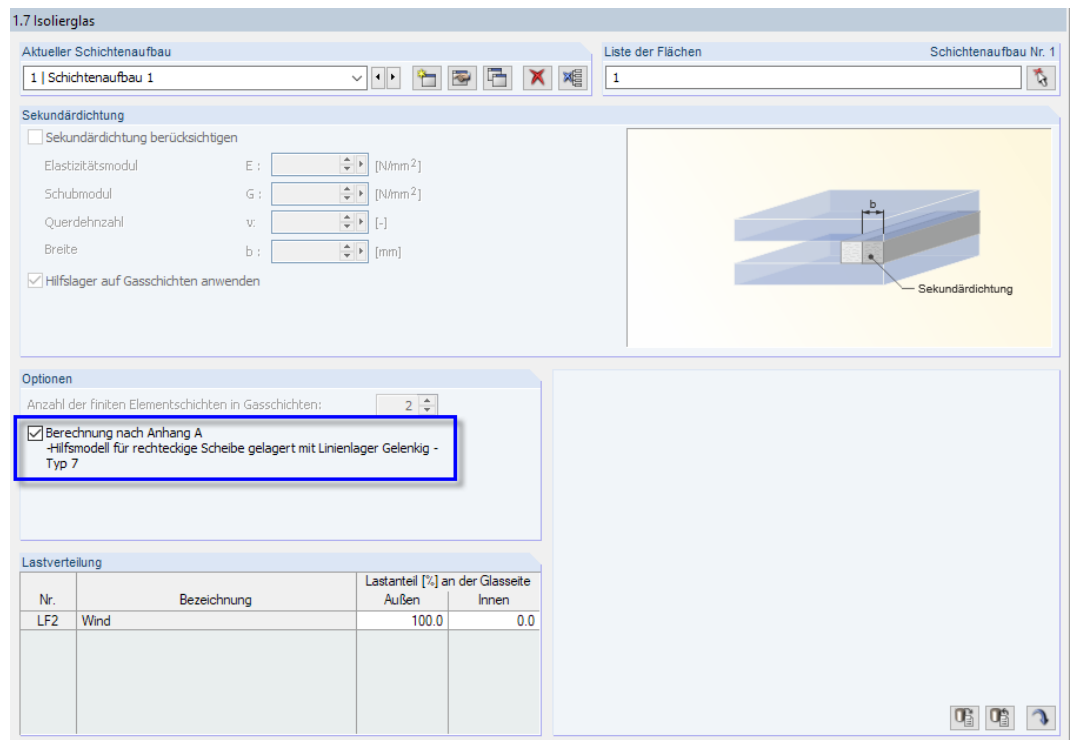


Bild 8.28: Maske 1.7 Isolierglas



Über die Schaltfläche [Details für Schichtenaufbau] lassen sich wieder die Berechnungsvorgaben für den Schichtenaufbau kontrollieren. Für die Analyse nach [3] ist nur eine lineare Berechnung nach *I. Ordnung* möglich.

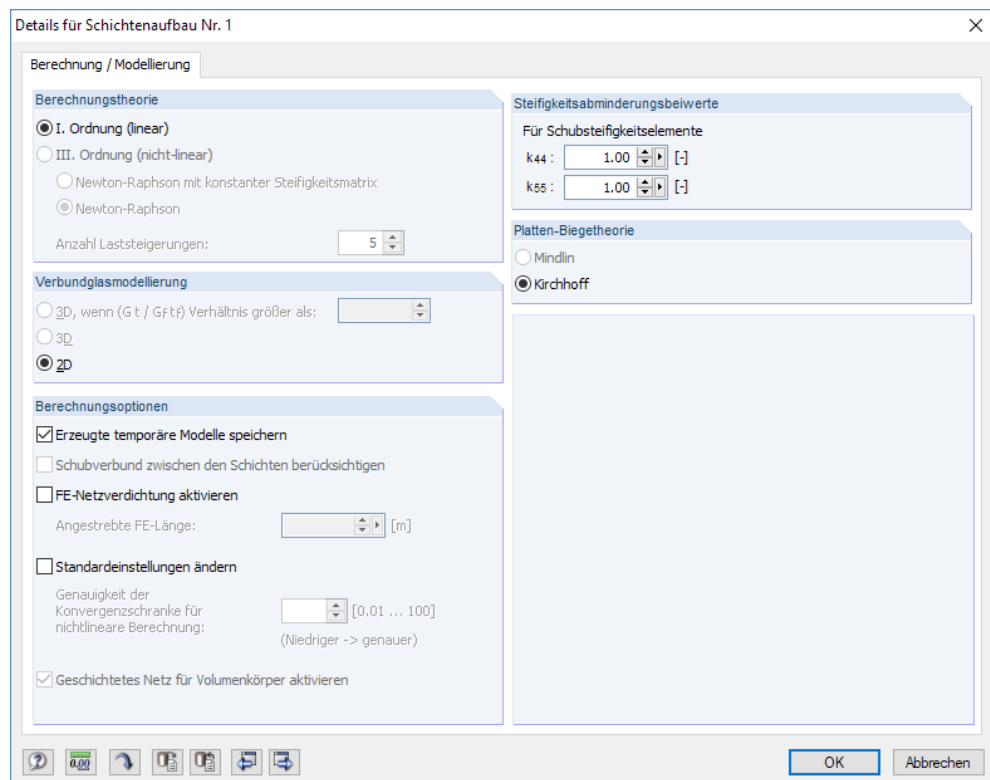


Bild 8.29: Dialog Details für Schichtenaufbau Nr. 1

Berechnung

Die [Berechnung] liefert maximale Durchbiegungen von $w_1 = -2,01$ mm (Außenscheibe) und $w_2 = 1,32$ mm (Innenscheibe).

3.1 Max. Verschiebungen											
Fläche Nr.	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J
	Punkt Nr.	X	Y	Z	Belastung	Kombinationstyp	Packet Nr.	Verschiebungen [mm]	Grenz u_z	Ausnutzung u_z [%]	
1	326	0.750	-0.500	0.000	LF2; Sommer	Charakteristisch	1	-2.01	10.00	0.20	
	326	0.750	-0.500	0.000		Charakteristisch	2	1.32	10.00	0.13	
Maximale Verschiebung / Maximale Ausnutzung											
1	326	0.750	-0.500	0.000	LF2; Sommer	Charakteristisch	1	-2.01	10.00	0.20	
	326	0.750	-0.500	0.000		Charakteristisch	1	-2.01	10.00	0.20	

Bild 8.30: Maske 3.1 Max. Verschiebungen

8.3.3 Kontrolle mit RFEM

Die Ergebnisse lassen sich wieder im RFEM-Modell überprüfen, das gemäß Vorgabe im Dialog *Details für Schichtenaufbau Nr. 1* während der Berechnung erzeugt wurde (siehe Bild 8.29).

Der Anteil der äußeren Glasscheibe an der Gesamtbiegesteifigkeit nach [3] (A.1) beträgt:

$$\delta_1 = \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{8^3}{8^3 + 12^3} = 0,2286$$

Der Anteil der inneren Glasscheibe nach [3] (A.2) beträgt:

$$\delta_2 = \frac{t_2^3}{t_1^3 + t_2^3} = \frac{12^3}{8^3 + 12^3} = 0,7714$$

Die charakteristische Kantenlänge nach [3] (A.3) ist:

$$a^* = 28,9 \sqrt[4]{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_V}}$$

mit

$$B_V : \text{ aus Verhältnis } a/b = 1000/1500 = 0,667$$

a/b	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
B_V	0,0194	0,0237	0,0288	0,0350	0,0421	0,0501	0,0587	0,0676	0,0767	0,0857

Tabelle 8.1: [3] Tabelle A1

Durch lineare Interpolation erhält man:

$$B_V = 0,0373$$

$$a^* = 28,9 \sqrt[4]{\frac{t_3 \cdot t_1^3 \cdot t_2^3}{(t_1^3 + t_2^3) B_V}} = 28,9 \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 8^3 \cdot 12^3}{(8^3 + 12^3) \cdot 0,0373}} = 546 \text{ mm}$$

Der Faktor φ ermittelt sich nach [3] (A.4) wie folgt:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1000}{546}\right)^4} = 0,081$$

Der Druck im Isolierglas infolge klimatischer Veränderungen nach [3] (A.5) beträgt:

$$p_0 = c_1 \Delta T - \Delta p_{\text{met}} + c_2 \Delta H = 340 \cdot 25 - (97\,000 - 101\,000) + 12 \cdot 100 = 13\,700 \text{ Pa} = 13,7 \text{ kN/m}^2$$

Das folgende Bild zeigt, wie die Windlast und die Klimlast auf die Isolierglasscheibe wirken.

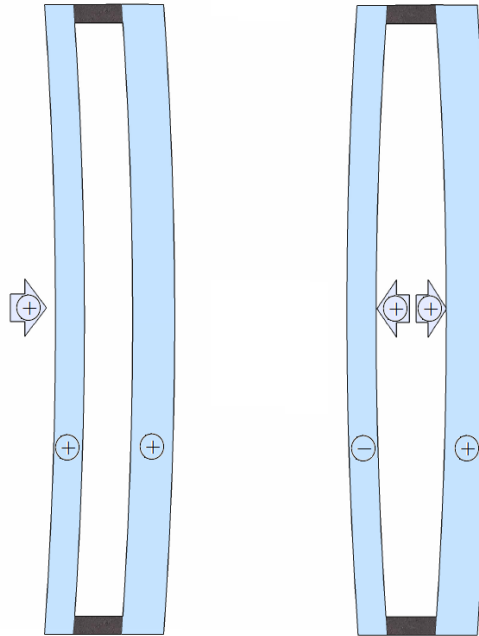


Bild 8.31: Windlast w_1 (links) und Last infolge klimatischer Änderungen p_0 (rechts)

Für die Gesamtlast lassen sich die Anteile gemäß [3] Tabelle A2 wie folgt ermitteln:

Belastung auf	Last	Lastanteil äußere Scheibe	Lastanteil innere Scheibe
Äußere Scheibe	Wind w_1	$(\delta_1 + \varphi \delta_2) \cdot w_1$	$(1 - \varphi) \delta_2 \cdot w_1$
Innere Scheibe	Wind w_2	$(1 - \varphi) \delta_1 \cdot w_2$	$(\varphi \delta_1 + \delta_2) \cdot w_2$
Beide Scheiben	Innerer Druck p_0	$-\varphi \cdot p_0$	$+\varphi \cdot p_0$

Tabelle 8.2: [3] Tabelle A2

Damit gilt:

Belastung auf	Last	Lastanteil äußere Scheibe	Lastanteil innere Scheibe
Äußere Scheibe	w_1	$(0,2286 + 0,081 \cdot 0,7714) \cdot 1,0 = 0,29 \text{ kN/m}^2$	$(1 - 0,081) \cdot 0,7714 \cdot 1,0 = 0,71 \text{ kN/m}^2$
Beide Scheiben	p_0	$-0,081 \cdot 13,7 = -1,11 \text{ kN/m}^2$	$0,081 \cdot 13,7 = 1,11 \text{ kN/m}^2$

Tabelle 8.3: Belastung für Glasscheiben

Die Gesamtbelastung beträgt somit:

- Äußere Scheibe: $f_1 = 0,29 + (-1,11) = -0,82 \text{ kN/m}^2$
- Innere Scheibe: $f_2 = 0,71 + 1,11 = 1,82 \text{ kN/m}^2$

Diese Lasten spiegeln sich im RFEM-Modell wider, das während der Berechnung erzeugt wurde. Die Ausgabe der Klimlasten erfolgt dabei getrennt für die Parameter Temperaturdifferenz, atmosphärische Druckdifferenz und Höhendifferenz (siehe folgende Bilder).

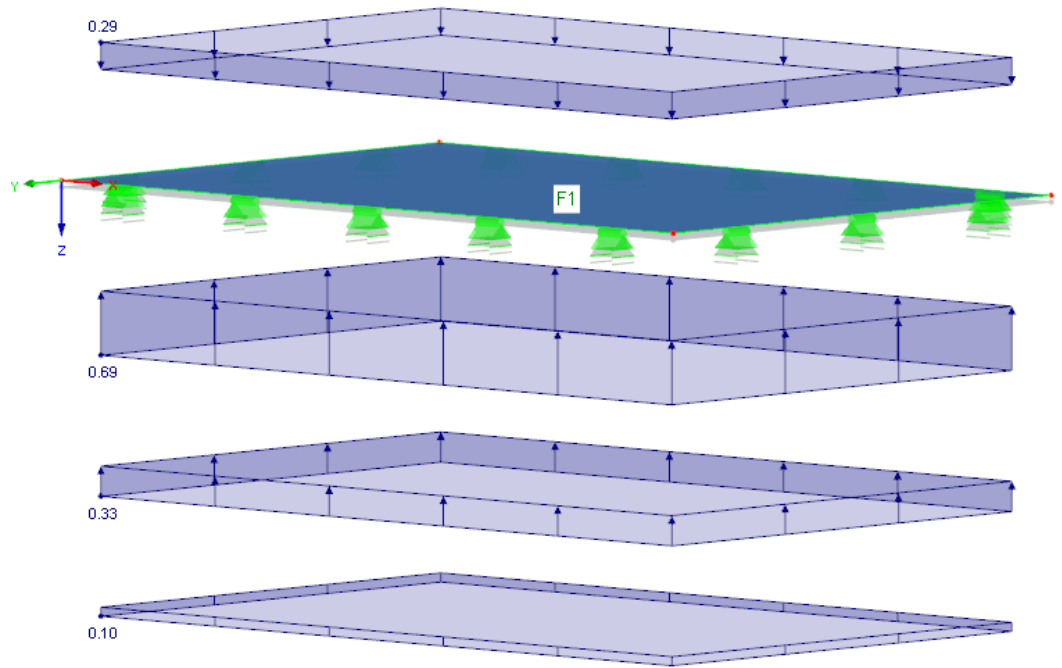


Bild 8.32: Windlast w_1 (oben) und Lasten infolge klimatischer Änderungen p_0 (unten) für äußere Scheibe

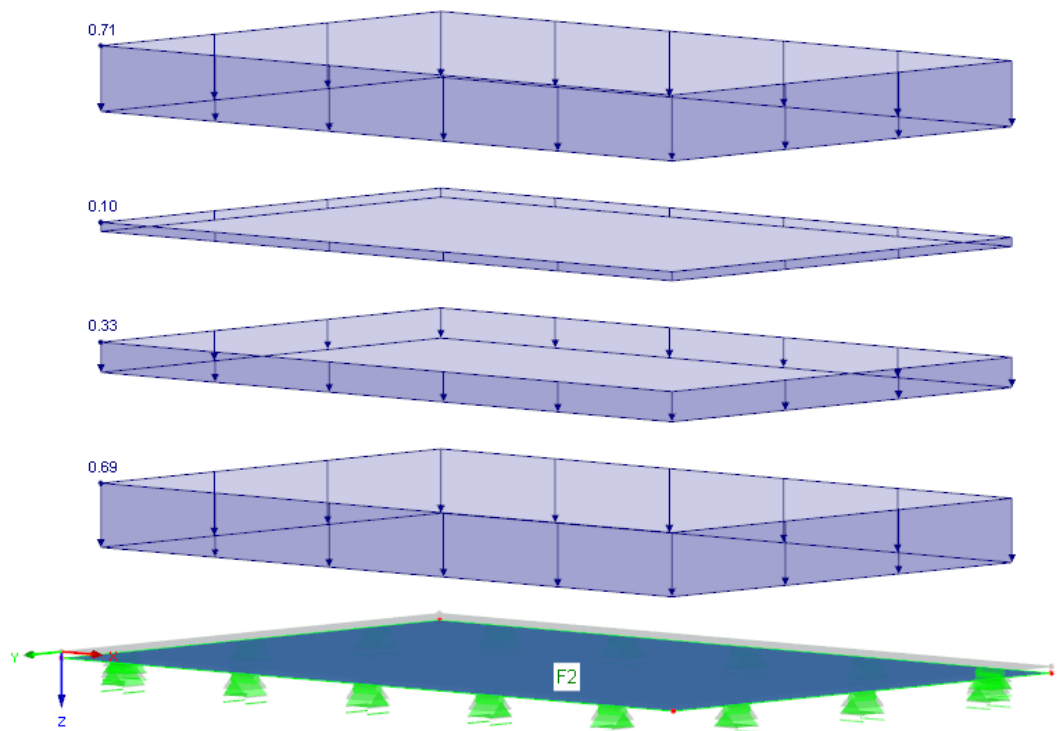


Bild 8.33: Windlast w_1 (oben) und Klimalasten p_0 (unterhalb) für innerere Scheibe

Literatur

- [1] *DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [2] *DIN 18008-1: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
- [3] *Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen.* Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, 2006.
- [4] *DIN 18008-2: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
- [5] Robert Ofner. *Leichtbau und Glasbau: Bemessung von Glaskonstruktionen – Vorlesungsskript Wintersemester 2003/2004.* Technische Universität Graz; Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke.
- [6] Bernhard Weller et al. *Glasbau-Praxis: Konstruktion und Bemessung.* Bauwerk, Berlin, 2009.
- [7] Rudolf Hess und Bernhard Weller. *Glasbau-Praxis in Beispielen: Konstruktion und Berechnung.* Bauwerk, Berlin, 2005.

Index

3D	11	F	
A		FE-Netz	54
Ansichtsmodus	23, 57	FE-Netz-Punkt	52, 58
Atmosphärischer Druck	37	Filter	57
Ausdruckprotokoll	59, 70, 71, 75	Fläche	15, 21, 25, 31, 42, 58, 69
Außergewöhnlich	16	Folie	6, 21, 54
Ausfall	30, 34	Formelzeichen	5
Ausnutzung	56, 57, 58, 59, 67	G	
B		Gas	7, 21
Bach	50, 51	Gasdruck	67
Basisangaben	14	Gebrauchstauglichkeit	17, 19, 42
Beenden von RF-GLAS	14, 56	Geschichtetes Netz	54
Belastungstyp	41	Gewicht	69
Bemessungssituation	16, 17, 67	Glas	21
Benutzerprofil	74	Grafik	57, 59
Berechnung	45	Grafikausdruck	71
Berechnung starten	55	Grenzspannung	58
Berechnungsart	15	Grenzwert	15, 17, 18
Berechnungstheorie	53	Grundspannungen	47
Bezugsebene	44	H	
Bezugslänge	17, 43, 67	Häufig	17, 67
Biegung	10, 13	Herstellung	37
Blättern in Masken	14, 56	Hilfslager	39, 63, 64
C		I	
Charakteristisch	17, 67	Installation	3
D		Isolierglas	7, 16, 36, 39, 53, 84
Detaileinstellungen	46	K	
Dezimalstellen	22, 74	Kirchhoff	55
Diagramm	59	Klimalast	36, 37
Drucken	71	Knotenlager	30, 65
Durchbiegung	17, 19	Kombinationstyp	67
E		Kommentar	15
Einheiten	22, 74	Konstruktionsbeiwert	19, 58
Einscheibenglas	6	Koordinaten	58
Einspannung	29, 34	Kragträger	43
Einwirkungskombination	19	L	
Ergebniskombination	16, 17	Lagerkräfte	64, 66
Ergebnismasken	56	Lagerstelle	64, 65
Ergebnisse	52, 56	Lagertyp	25, 27, 31, 32
Ergebnistabellen	52	Lasteinwirkungsdauer	41
Excel	75	Lastfall	16, 17, 38
Exzentrizität	10	Lastkombination	16
		Laststeigerung	53

Lastverteilung	40	Schichttyp	21
Linienlager	25, 63	Schub	11, 13
M		Schubspannung	48, 55
Masken	14	Schubverbund	6, 7, 9, 12, 54
Material	21	Sekundärdichtung	7, 39
Membran	10, 13	Sommer	37
Mindlin	55	Spannung	47, 56, 57, 58, 61, 62
Mises	50, 51	Ständig und vorübergehend	16
Modifikationsbeiwert	19, 58	Starten von RF-GLAS	4
Montage	37	Stefigkeitsabminderung	54
N		Stefigkeitsmatrix	9, 10, 12, 13, 23, 24, 79
Navigator	14	Stückliste	68
Newton-Raphson	53	Stützung	29, 34
Nichtlinearität	30, 34	Symmetrie	29
Norm	15, 18	SZR	21
Normalspannung	48	T	
P		Teilsicherheitsbeiwert	19
Paket	24, 37, 63, 67	Temperatur	37
Panel	60	Temporäres Modell	54, 77
Parallelfäche	43	Torsion	10, 13
Platten-Biegetheorie	55	Tragfähigkeit	15
Programmaufruf	4	Tresca	50, 51
Punkt	58	TRLV	18, 97
Q		U	
Quasi-ständig	17, 67	Unverformtes System	43
Querschubspannung	49	V	
R		Verbundglas	6, 26, 54, 79
Randbedingungen	27, 28, 32, 33	Verbundsicherheitsglas	23
Randfestigkeitsabminderung	19	Verformungsnachweis	17, 84
Randstab	35	Vergleichsspannung	50, 51
Rankine	50, 51	Verschiebungen	66, 67
Rasterpunkt	52, 58	Verschobene Referenzebene	44
Relationsbalken	57	Volumen	69
RFEM-Grafik	71	Vorgespanntes Glas	23
S		Vorzeichen Lagerkräfte	64, 66
Schaltflächen	56	W	
Schema	26, 31	Winter	38
Schicht	20, 49, 58, 63, 65, 72	Z	
Schichtenaufbau	20, 53, 61	Zwischenablage	75