

Entwicklung eines vereinfachten
Verfahrens zur Berücksichtigung der
Klimabelastung bei der Bemessung von
Isolierglas bei Überkopfverglasung

T 2676

T 2676

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltene Darstellung und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Forschungsvorhaben

Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur
Berücksichtigung der Klimabelastung bei der Bemessung
von Isolierglas bei Überkopfverglasung

Kurztitel:

Überkopfverglasung
Klimalast bei Isolierglas
vereinfachtes Verfahren

März 1995

Auftraggeber:

Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
Az.: IV-1-5-760/94

Forschende Stelle:

Prof. Dr. Franz Feldmeier
Fachhochschule Rosenheim
Marienberger Straße 26
D 83024 Rosenheim

Kurzfassung

Bei Isolierglas wird zwischen den Glasscheiben ein Luft- bzw. Gasvolumen dicht eingeschlossen. Eine Änderung der Temperatur oder eine Änderung des äußeren Luftdruckes führen zu einer Druckdifferenz zwischen diesem Scheibenzwischenraum und der Umgebung. Diese *klimatisch* bedingte Belastung führt zu einer Beanspruchung, welche die Beanspruchung durch Wind oder Schnee deutlich übersteigen kann.

Die Größe der klimatischen Belastung kann aufbauend auf der linearen Plattentheorie geschlossen abgeleitet werden. Es zeigt sich, daß die resultierenden komplizierten Gleichungen mit ausgezeichneter Genauigkeit durch wesentlich einfachere Ausdrücke angenähert werden können. Damit kann die Klimabelastung schnell und übersichtlich berechnet werden:

- Klimaeinflüsse und Ortshöhe führen zu einem dimensionslosen *Klimafaktor Cf*
- Seitenverhältnis und Scheibenaufbau bestimmen die *charakteristische Länge a**
- Die Klimabelastung ergibt sich dann aus der Länge der kurzen Kante der Scheibe.

Die Klimabelastung beansprucht *kleinen* Scheiben am stärksten. Isolierglasscheiben, deren Kantenlänge mit der charakteristischen Länge a^* übereinstimmt, weisen die maximale Biegespannung und damit das höchste Glasbruchrisiko auf. Erst bei sehr großen Scheiben, deren kurze Kante das Dreifache der charakteristischen Länge a^* überschreitet, ist die Klimabelastung zu vernachlässigen. Damit ist im Überkopfbereich bei den meisten Isoliergläsern die Klimabelastung zu berücksichtigen.

Abstract

In the case of insulating glass the air or gas volume is confined between the glass panes. A change of temperature or a change of the external air pressure results in a pressure difference between the gap and the surrounding area. This load *caused by the climate* leads to a stress which may well exceed the stress caused by wind or snow.

The dimension of the climatic load can be derived on the basis of the linear plate theory. The present research project shows that the resulting complex equations can be approximated to rather simple expressions with excellent precision. Thus, the climatic load can quickly and easily be calculated:

- Climatic influences and the altitude lead to a non-dimensional *climatic factor Cf*
- The aspect ratio and structure of the unit determine the *characteristic length a**
- The climatic load results from the length of the short edge of the unit.

The climatic load stresses *small* units the most. Insulating glass units whose length of the short edge correspond with the characteristic length a^* show a maximal bending stress and thus, the largest risk of failure. Only in the case of very large units whose short edge exceed the characteristic length a^* three times the climatic load is to be neglected. Thus, the climatic load is to be taken into account for most insulating units used in roof glazings.

Inhalt

1	Problemstellung	1
2	Die klimatische Belastung von Isolierglas	1
3	Grundlagen	
3.1	Klimatische Einwirkungen	
3.1.1	Luftdruck	
3.1.1.1	Definition	3
3.1.1.2	Einfluß der Ortshöhe	3
3.1.1.3	Hoch- und Tiefdruckgebiete	4
3.1.2	Temperatur	4
3.2	Lineare Plattentheorie	
3.2.1	Grundlagen	
3.2.2.1	Randbedingungen und Gültigkeit	4
3.2.1.2	Lösung der Plattengleichung	5
3.2.2	Verformung und Spannung	
3.2.2.1	Durchbiegung	6
3.2.2.2	Volumenänderung	6
3.2.2.3	Biegezugspannung	6
3.2.2.4	Beiwerte	7
3.3	Das statische System Isolierglas	
3.3.1	Geometrie	8
3.3.2	Charakteristischer Druck	8
3.3.3	Isolierglasrandverbund	9
3.4	Klimainduzierte Druckdifferenz	
3.4.1	Gleichgewichtsbedingung	9
3.4.2	Grundgleichung der Druckdifferenz	11
4	Vereinfachte Darstellung	
4.1	Grundlagen	12
4.2	Der Klimafaktor	
4.2.1	Definition	12
4.2.2	Linearisierung	12
4.3	Faktor der äußeren Flächenlasten, Windlast	
4.2.1	Definition	15
4.2.2	Linearisierung	15
4.4	Der Differenzdruck	
4.4.1	Linearisierung der Grundgleichung	15
4.4.2	Überlagerung klassischer Flächenlast mit Klimaeinwirkung	16
4.5	Charakteristische Kantenlänge	
4.5.1	Definition	17
4.5.2	Beispiel für Verformung und Spannung	17
4.5.3	Druckdifferenz als Funktion der Kantenlänge	19
5	Anwendung	
5.1	Klimatische Randbedingungen	
5.1.1	Luftdruck	20
5.1.2	Temperatur	21
5.2	Diagramme	22
5.3	Die 1 m Grenze	22
6	Zusammenfassung	24
Literatur		
Anhang	Tabelle der Klimafaktoren	
	Tabelle der charakteristischen Länge	

1 Problemstellung

Die "Technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Überkopfverglasungen" [DIBt94] legen Grundlagen zur Bemessung von Glas im Überkopfbereich fest. Neben den üblichen Einwirkungen aus Eigengewicht, Wind und Schnee nach DIN 1055 werden bei Isolierglas mit einer Stützweite in Haupttragrichtung bis zu 1,0 m erstmalig auch Einwirkungen aus Klimaveränderung berücksichtigt.

Die hierzu zitierte wissenschaftliche Literatur [Feld84, Feld 91] ist für den normalen Anwender in der Praxis weder ausreichend noch anwendbar. Es ist daher notwendig, die Grundlagen der klimatischen Beanspruchung von Isolierglas nochmals zusammenfassend darzustellen und ein vereinfachtes Verfahren zur Berücksichtigung der Klimabelastung bei Isolierglas zu entwickeln.

Ziel ist es, eine einfache Möglichkeit zur Ermittlung der klimatisch bedingten Druckdifferenz zwischen dem Scheibenzwischenraum des Isolierglases und dem Außendruck zu finden. Dabei ist auch die vorgesehene Abgrenzung von 1 Meter Kantenlänge zu überprüfen.

2 Die klimatische Belastung von Isolierglas

Zweischeiben-Isolierglas besteht aus zwei parallelen Glasscheiben, die im Randbereich durch einen umlaufenden Abstandhalter und entsprechende Klebstoffe mechanisch stabil und möglichst gasdicht verbunden sind. Das eingeschlossene Luft- bzw. Gasvolumen bestimmt u.a. die thermischen Eigenschaften der Scheibe (k-Wert), bewirkt aber auch eine mechanische Kopplung beider Scheiben und ist Ursache der klimatischen Belastung.

Die klimatische Belastung des Isolierglases entsteht einerseits durch die thermische Ausdehnung des im Scheibenzwischenraum eingeschlossenen Gases bei Temperaturänderung, andererseits durch eine Änderung des äußeren Luftdruckes. Beide Effekte führen zu einer Druckdifferenz zwischen dem Gas im Scheibenzwischenraum und der Außenatmosphäre und damit zu einer flächigen Belastung der Scheiben. Die bei Änderung von Temperatur und Luftdruck resultierende Verformung einer Isolierglasscheibe ist in Bild 2.1 anschaulich dargestellt.

Die absolute Größe der klimatisch bedingten Druckdifferenz kann mit mehreren kN/m² übliche Windlasten ganz erheblich übersteigen. Die Größe dieser Belastung mag im ersten Augenblick überraschen, sie wird aber verständlich, wenn man den normalen Luftdruck von ca 1 bar oder 1013 hPa in die übliche Windlasteinheit umrechnet:

$$1013 \text{ hPa} = 101 \text{ kN/m}^2.$$

Ein Prozent Änderung im Luftdruck stellt damit eine Flächenlast von ca 1 kN/m² dar.

Allerdings besteht ein wichtiger Unterschied zur Windlast: während Windlasten unabhängig von der Verformung der Scheibe sind, werden Druckunterschiede zwischen Scheibenzwischenraum und außen durch die Verformung der Scheiben gemildert oder weitestgehend abgebaut. Die am Ende verbleibende klimatische Belastung hängt vom Aufbau der Isolierglasscheibe und der Steifigkeit der Einzelscheiben ab.

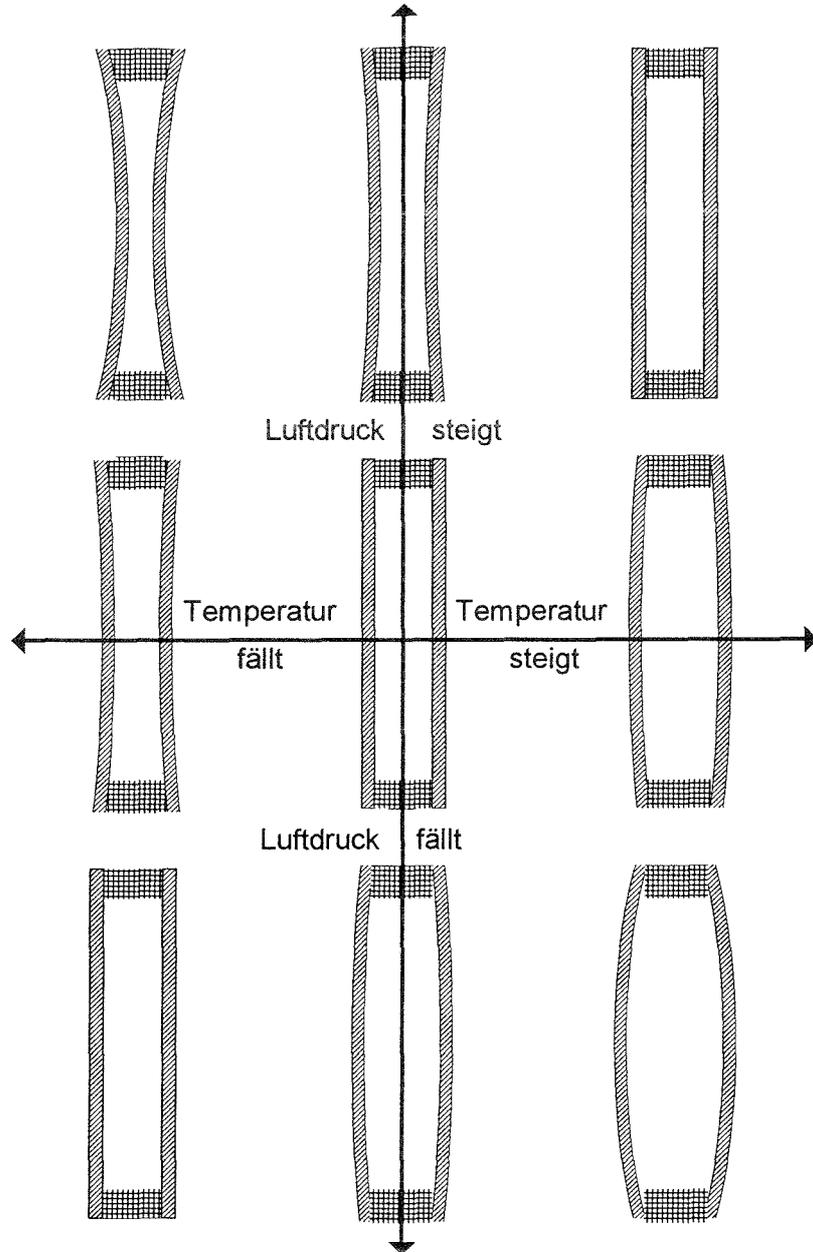


Bild 1 Klimatische Beanspruchung von Isolierglas. Bei steigender Temperatur im Scheibenzwischenraum und bei fallendem äußeren Luftdruck bauchen Isolierglasscheiben aus. Bei steigendem Luftdruck oder fallender Temperatur bauchen sie ein. Bei ungünstiger Überlagerung kommt es zu einer hohen Belastung der Scheibe.

3 Grundlagen

3.1 Klimatische Einwirkungen

3.1.1 Luftdruck

3.1.1.1 Definition

Der Luftdruck resultiert aus dem Gewicht der Lufthülle (Schweredruck) und hängt von der Luftdichte und der Höhe der Luftsäule ab. Die Höhe der Luftsäule hängt von der Höhe der Atmosphäre (meteorologische Hoch- und Tiefdruckgebiete) und der Ortshöhe ab. Die übliche Einheit für den Luftdruck ist das Hektopascal (hPa). Es gilt:

$$1 \text{ hPa} = 0,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

In der Meteorologie (z.B. Wetterkarten) wird der Luftdruck immer auf Meereshöhe bezogen angegeben. Der mittlere Luftdruck oder Normaldruck bezogen auf Meereshöhe beträgt:

$$760 \text{ mmHg} = 1013 \text{ hPa} = 101,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Da die Bezeichnung "barometrischer Druck" nicht eindeutig ist, werden zur klaren Unterscheidung folgende Bezeichnungen verwendet:

meteorologischer Druck: Luftdruck bezogen auf Meereshöhe

atmosphärischer Druck: Luftdruck bezogen auf Ortshöhe

3.1.1.2 Einfluß der Ortshöhe

Der Luftdruck hängt von der geographischen Höhe eines Orts ab. Auf Meereshöhe beträgt der Luftdruck im Mittel 1013 hPa (Normaldruck). Mit zunehmender Höhe nimmt der Druck ab. Bis in eine Höhe von 11 km gilt die internationale Höhenformel, welche auch die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe berücksichtigt:

$$p(h) = 1013 \text{ hPa} \cdot \left(1 - \frac{h}{44,3 \text{ km}}\right)^{5,255}$$

Diese Gleichung kann abschnittsweise linearisiert werden. Für Höhen bis 1000 m ergibt sich pro 100 m Höhe eine Druckabnahme von 12 hPa, so daß sich eine Änderung der Ortshöhe nach folgender Gleichung in eine Druckänderung umrechnen läßt:

$$\Delta p = 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\Delta h}{100 \text{ m}}$$

3.1.1.3 Hoch- und Tiefdruckgebiete

Neben der Ortshöhe hängt der Luftdruck auch von der Wetterlage ab. In Europa können Hochdruckgebiete etwa 1050 hPa, Tiefdruckgebiete 950 hPa erreichen. Für die Änderung relativ zum Normaldruck gilt daher:

$$\Delta p(\text{Hoch}) = +4,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; \quad \Delta p(\text{Tief}) = -6,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Meteorologische Druckangaben werden dabei immer auf Meereshöhe bezogen und übliche Barometer immer auf Meereshöhe kalibriert. Bei der Ermittlung des atmosphärischen Luftdrucks muß deshalb die Ortshöhe berücksichtigt werden.

3.1.2 Temperatur

Wie alle Stoffe ändern auch Gase mit der Temperatur ihr Volumen. Da Gase aber wesentlich leichter komprimierbar sind, ist es notwendig, neben der Temperatur auch den Druck des Gases zu berücksichtigen. Für alle bei Isolierglas möglichen Füllgase, auch für Luft, gilt die *Zustandsgleichung idealer Gase*:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$$

Hierin bedeutet p der Druck in Pa, V das Volumen in m^3 und T die absolute Temperatur in K. Nimmt man das Volumen des Scheibenzwischenraumes als konstant an, so ergibt sich mit zunehmender Temperatur auch ein zunehmender Druck. Es gilt das *Gay-Lussacsche Gesetz*, welches sich hier am bequemsten in folgender Form schreibt:

$$\Delta p = 3,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\Delta T}{10 \text{ K}}$$

3.2 Lineare Plattentheorie

3.2.1 Grundlagen

3.2.1.1 Randbedingungen und Gültigkeit

Die Belastung durch Schnee, Winddruck oder Sog bzw. durch eine klimatisch bedingte Druckdifferenz zwischen dem Scheibenzwischenraum (SZR) und der Umgebung bildet in jedem Fall eine flächige Belastung senkrecht zur Ebene der Glasscheiben.

Solange die Verformung die Dicke der Glasscheiben nicht überschreitet, liefert die klassische lineare Theorie der *Kirchhoff-Platte* [Girk] ausreichend genaue Resultate. Dies gilt in aller Regel für bei Klimabeanspruchung auftretende Durchbiegung und ganz allgemein bei kleinen Scheibenformaten. Bei großen dünnen Scheiben müssen unter Windbeanspruchung Membranspannungen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Bericht wird die klimatische Belastung untersucht, so daß eine genauere Beschreibung der Platte bei großer Durchbiegung nicht notwendig erscheint. Erst bei der Überlagerung von Klima- und Windlasten bei großen Scheiben und großer Durchbiegung wird eine genauere Beschreibung notwendig.

Der Entwurf zur Richtlinie "Überkopfverglasung" [DIBt94] verlangt bei der Bemessung der oberen Scheibe von Isolierglas eine Begrenzung der Durchbiegung auf die Plattendicke. Für die untere Scheibe ist kein Durchbiegungsnachweis gefordert. Allerdings wird diese Scheibe erst nach Versagen (Bruch) der oberen Scheibe voll belastet. Nach dem Bruch der oberen Scheibe tritt aber keine Klimalast auf. Damit ist in allen Fällen, auch für die Überlagerung aus Schnee, Wind und Klimabelastung der oberen Scheibe, die Gültigkeit der linearen Theorie sichergestellt.

3.2.1.2 Lösung der Plattengleichung

Sind die Auflager unnachgiebig ($z=0$) aber momentenfrei, so reduziert sich das Problem auf die Lösung der Differentialgleichung für die Biegefläche $w(x,y)$ bei vorgegebener konstanter Flächenlast p mit den Randbedingungen $w=0$ und $\Delta w=0$. (Bild 3.1):

$$K \cdot \Delta \Delta w = p$$

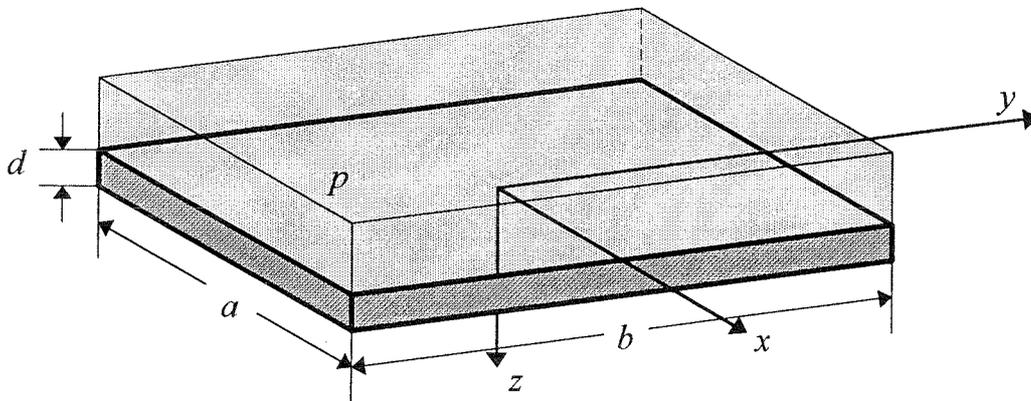


Bild 3.1 Bezeichnung der Abmessungen der Platte und Lage des Koordinatensystems.

a	kurze Kante
b	lange Kante
d	Dicke der Platte
p	Flächenlast

Die Plattensteifigkeit K berechnet sich aus der Dicke der Glasscheibe und den elastischen Konstanten des Glases ($E=70000 \text{ N/mm}^2$; $\mu=0,22$):

$$K = \frac{Ed^3}{12(1-\mu^2)}$$

Zur Lösung der Plattengleichung kann die Biegefläche als *Naviersche* Doppelreihe dargestellt werden. Die folgende Entwicklung zeigt aber eine deutlich bessere Konvergenz, insbesondere wenn der langsamer konvergierende Anteil abgespalten und geschlossen aufsummiert wird. Der Koordinatenursprung liegt in Plattenmitte, siehe Bild 3.1. Es gilt:

$$w(x, y) = \frac{pa^4}{K} \frac{4}{\pi^5} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \sin \frac{n\pi}{2} \cos \alpha_n x \left\{ 1 - \frac{1}{2 \cosh \gamma_n} \left((2 + \gamma_n \tanh \gamma_n) \cosh \alpha_n y - \alpha_n y \sinh \alpha_n y \right) \right\}$$

Dabei bedeutet:

- a Länge der kurzen Kante
- b Länge der langen Kante
- $e=a/b$ das Seitenverhältnis kleiner gleich 1

und α_n und γ_n folgende Abkürzungen

$$\alpha_n = n\pi/a$$

$$\gamma_n = \alpha_n b/2 = n\pi/(2e)$$

Aus diesem Ausdruck für die Biegefläche lassen sich dann alle weiteren Größen ableiten. Die dabei auftretenden Summen werden im folgenden als Beiwerte A bezeichnet. Diese Beiwerte hängen nur vom Seitenverhältnis ab und sind in Tabelle 3.1 zusammen gestellt.

3.2.2 Verformung und Spannung

3.2.2.1 Durchbiegung

Die maximale Verformung oder Durchbiegung der Scheibe liegt in Scheibenmitte ($x=y=0$). Man erhält

$$w = \frac{pa^4}{K} A_w(e)$$

mit

$$A_w(e) = \frac{4}{\pi^5} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \sin \frac{n\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2 \cosh \gamma_n} (2 + \gamma_n \tanh \gamma_n) \right\}$$

3.2.2.2 Volumenänderung

Das mit der Verformung verknüpfte Volumen δV erhält man durch Integration der Biegefläche zu:

$$\delta V = \frac{pa^6}{eK} A_V(e)$$

mit

$$A_V(e) = \frac{4}{\pi^6} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^6} \sin^2 \frac{n\pi}{2} \left\{ 2 - 3 \frac{\tanh \gamma_n}{\gamma_n} + \frac{1}{\cosh^2 \gamma_n} \right\}$$

3.2.2.3 Biegezugspannung

Da die kurze Kante parallel zur x-Richtung verläuft, erhält man die maximale Biegespannung aus:

$$\sigma = \frac{6}{d^2} \cdot K \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \Bigg|_{x=y=0}$$

oder nach einiger Rechnung:

$$\sigma = \frac{6}{d^2} p a^2 A_m(e)$$

mit

$$A_m(e) = \frac{4}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \sin \frac{n\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{1-\mu}{2 \cosh \gamma_n} \left(\frac{2}{1-\mu} + \gamma_n \tanh \gamma_n \right) \right\}$$

3.2.2.4 Beiwerte

Die folgende Tabelle 3.2 gibt die zur Berechnung notwendigen Beiwerte

Tab. 3.1 Beiwerte zur Berechnung von Durchbiegung, Volumen und Spannung

Seitenverhältnis	A_w	A_v	A_m
1:1	0,00406	0,00170	0,0442
0,95	0,00449	0,00188	0,0483
0,90	0,00496	0,00208	0,0527
0,85	0,00547	0,00230	0,0576
0,80	0,00603	0,00253	0,0628
0,75	0,00663	0,00279	0,0683
0,70	0,00727	0,00307	0,0742
2:3	0,00772	0,00327	0,0784
0,65	0,00796	0,00338	0,0805
0,60	0,00867	0,00370	0,0869
0,55	0,00940	0,00404	0,0934
1:2	0,01013	0,00440	0,0999
0,45	0,01084	0,00478	0,1062
0,40	0,01150	0,00516	0,1119
0,35	0,01207	0,00555	0,1169
1:3	0,01223	0,00569	0,1183
0,30	0,01252	0,00595	0,1208
0,25	0,01282	0,00635	0,1233
0,20	0,01297	0,00674	0,1246
0,15	0,01302	0,00714	0,1250
0,10	0,01302	0,00754	0,1250
0,05	0,01302	0,00794	0,1250
0,00	0,01302	0,00833	0,1250

3.3 Das statische System Isolierglas

3.3.1 Geometrie

Die Geometrie einer Isolierglaseinheit wird durch den Aufbau und die Größe (Format) bestimmt, siehe Bild 3.2

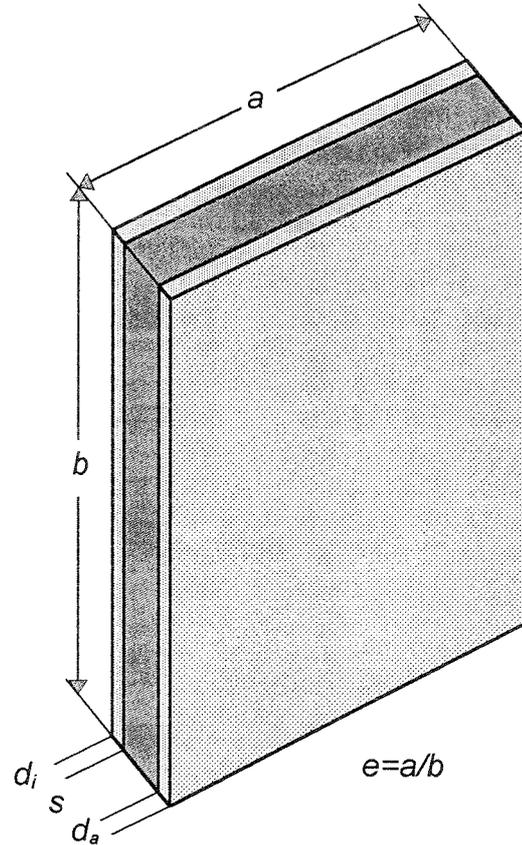


Bild 3.2
Geometrie einer Isolierglasscheibe (schematisch)

Format

- a kurze Kante
- b lange Kante
- e Seitenverhältnis $e=a/b$
(Anmerkung: $0 \leq e \leq 1$)

Aufbau

- d_a Dicke der äußeren Scheibe
- d_i Dicke der inneren Scheibe
- s Scheibenzwischenraum

Aus den Scheibendicken ergeben sich die Plattensteifigkeit K_a bzw. K_i :

$$K_a = \frac{Ed_a^3}{12(1-\mu^2)}; \quad K_i = \frac{Ed_i^3}{12(1-\mu^2)};$$

sowie die reduzierte Steifigkeit k des Systems:

$$k = \frac{K_a K_i}{K_a + K_i}$$

3.3.2 Charakteristischer Druck

Der Aufbau einer Isolierglasscheibe ist durch die Glasdicken und den Scheibenaufbau bestimmt. Die Vielzahl von möglichen Kombinationen kann durch die Definition geeigneter neuer Kenngrößen reduziert werden. Hierzu gehört der charakteristische Druck. Die spätere Rechnung zeigt die Zweckmäßigkeit der Abkürzung

$$p^* = \frac{sk}{a^4 A_V(e)}$$

Diese Größe p^* hat die Dimension eines Druckes und hängt nur von Aufbau und den Abmessungen der Isolierglasscheibe ab (A_V ist der vom Seitenverhältnis abhängige Volumenbeiwert).

3.3.3 Isolierglasrandverbund

Bild 3.3 zeigt einen typischen Isolierglasrandverbund unbelastet und mit Über- bzw. Unterdruck im Scheibenzwischraum. Während bei Unterdruck der Abstandhalter die Last aufnimmt und lediglich ein Verdrehen um den Winkel α auftritt, wird der freiliegende Rand bei Überdruck zusätzlich zur Verdrehung noch gedehnt. Bei üblichen Verglasungen mit Glashalteleisten wird diese Dehnung behindert und tritt deshalb nicht in Erscheinung. Um ein einfaches Modell zu erhalten, wird daher davon ausgegangen, daß der Abstand am Glasrand s_0 konstant bleibt; statisch entspricht dies einem starren Auflager und damit den in 3.2 vorausgesetzten Bedingungen.

Bei den hier vorausgesetzten kleinen Durchbiegungen bleibt auch die Verdrehung (der Winkel α) im Auflager klein. Auch bei Annahme eines sehr harten Dichtstoffes ergibt sich ein übertragenes Drehmoment, das nur wenige Prozent des Einspannmoments beträgt. Damit ist die Verdrehung praktisch unbehindert und das Lager kann statisch als frei drehbar angenommen werden. Diese Abschätzungen gelten auch noch für typische *Structural-Glazing*-Aufbauten mit im Vergleich zu normalem Isolierglas deutlich größeren Klebbebreiten.

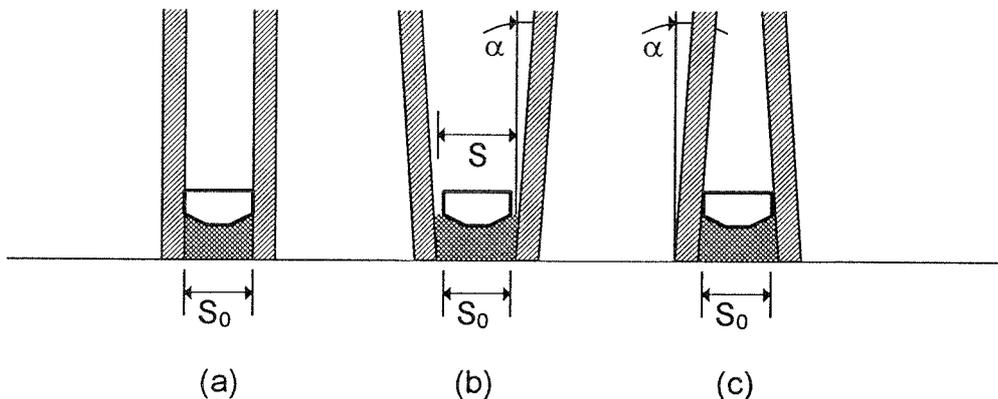


Bild 3.3 Die Verformung am freiliegenden Randverbund bei Überdruck (b) und bei Unterdruck (c) im Scheibenzwischraum relativ zum unbelasteten Zustand (a). Die Randdehnung und die Randverdrehung sind vergrößert dargestellt.

3.4 Klimainduzierte Druckdifferenz

3.4.1 Gleichgewichtsbedingung

Der Zustand des eingeschlossenen Gases wird durch die Größen

p_0	Druck
V_0	Volumen
T_0	absolute Temperatur

beim Verschließen des Isolierglases bestimmt. Die Adsorption des eingeschlossenen Wasserdampfes an das Trocknungsmittel kann durch eine Korrektur von p_0 berücksichtigt werden. Bei planparalleler Produktion der Scheiben berechnet sich das Volumen des Scheibenzwischenraums unter Vernachlässigung der Randverbundbreite zu:

$$V_0 = a \cdot b \cdot s = \frac{a^2 \cdot s}{e}$$

Alle üblichen Füllgase können als *ideale Gase* behandelt werden. Ändern sich die Umgebungsbedingungen und damit auch Temperatur T_{SZR} , Druck p_{SZR} und Volumen V_{SZR} des Scheibenzwischenraums, so gilt aufgrund der Gasgleichung:

$$V_{SZR} = \frac{T_{SZR}}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p_{SZR}} \cdot V_0 \quad (*)$$

Andererseits ergibt sich die Volumenänderung aus der Verformung der Glasscheiben zu:

$$V_{SZR} = V_0 + \delta V_a + \delta V_i \quad (**)$$

Ursache ist die Differenz zwischen dem Druck im Scheibenzwischenraum p_{SZR} und dem äußeren Druck an der Außenscheibe p_a bzw. an der Innenscheibe p_i . Dieser kann, berücksichtigt man z.B. den Staudruck durch Wind oder Schneelasten, durchaus verschieden sein. Es ist üblich, den atmosphärischen Luftdruck p am Einbauort abzuspalten; man schreibt also:

$$p_a = p + w_a; \quad p_i = p + w_i$$

und

$$p_{SZR} = p + \Delta p$$

Dabei ist Δp die Druckdifferenz zwischen Scheibenzwischenraum und atmosphärischem Luftdruck, w_a und w_i sind die zusätzlichen Flächenlasten durch Wind, Schnee, etc. Zur Erläuterung (auch der Vorzeichen der Verformung) siehe Bild 3.4. Das mit der Verformung verbundene Volumen für die beiden Scheiben berechnet sich zu:

$$\delta V_a = (p_{SZR} - p_a) \cdot \frac{a^6 A_v}{eK_a} = (\Delta p - w_a) \cdot \frac{a^6 A_v}{eK_a}$$

bzw.

$$\delta V_i = (p_{SZR} - p_i) \cdot \frac{a^6 A_v}{eK_i} = (\Delta p - w_i) \cdot \frac{a^6 A_v}{eK_i}$$

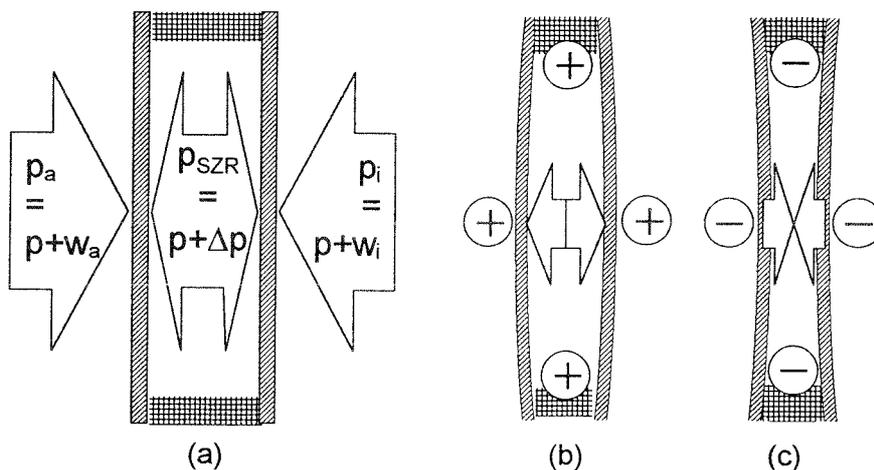


Bild 3.4 (a) Druckbezeichnung am Isolierglas; die Belastung ergibt sich aus der Druckdifferenz, z.B. Außenscheibe: $p_{SZR} - p_a = \Delta p - w_a$
 (b) Bei Überdruck im SZR ergibt sich eine konvexe Verformung (Ausbauchung) und Zugbeanspruchung im Randverbund (positives Vorzeichen).
 (c) Bei Unterdruck im SZR ergibt sich eine konkave Verformung (Einbauchung) und Druckbeanspruchung im Randverbund (negatives Vorzeichen)

Damit erhält man durch Gleichsetzen von (*) und (**) und Einsetzen der Ausdrücke für die Volumina schließlich folgende in der gesuchten Größe Δp quadratische Gleichung:

$$\frac{T_{SZR}}{T_0} \frac{P_0}{p + \Delta p} = 1 + (\Delta p - w_a) \frac{\alpha^4 A_V}{sK_a} + (\Delta p - w_i) \frac{\alpha^4 A_V}{sK_i}$$

3.4.2 Grundgleichung der Druckdifferenz

Die Lösung der quadratischen Gleichung wird durch die in 3.3 definierte Abkürzung wesentlich übersichtlicher. Die obige Gleichung schreibt sich unter Verwendung der reduzierten Biegesteifigkeit k und des charakteristischen Druckes p^* in folgender Form:

$$\frac{T_{SZR}}{T_0} \frac{P_0}{p + \Delta p} = 1 + \frac{\Delta p}{p^*} - \frac{k}{p^*} \left(\frac{w_a}{K_a} + \frac{w_i}{K_i} \right)$$

Damit lautet die Lösung für die gesuchte Druckdifferenz

$$\Delta p = \frac{p}{2} \left\{ \sqrt{\left[1 - \frac{p^*}{p} + \frac{k}{p} \left(\frac{w_a}{K_a} + \frac{w_i}{K_i} \right) \right]^2 + 4 \frac{T_{SZR}}{T_0} \frac{P_0 \cdot p^*}{p^2}} - \left[1 + \frac{p^*}{p} - \frac{k}{p} \left(\frac{w_a}{K_a} + \frac{w_i}{K_i} \right) \right] \right\}$$

Man erkennt, daß die Druckdifferenz einerseits von Aufbau und Format der Isolierglasscheibe, ausgedrückt durch den charakteristischen Druck p^* , andererseits von den Klimabedingungen und den zusätzlichen Flächenlasten abhängt. Wie zu erwarten, gehen letztere im Verhältnis der Biegesteifigkeit der Einzelscheiben ein.

Eine Auswertung dieser Gleichung mit EDV-Unterstützung ist heute kein Problem. Damit kann der Über- bzw. Unterdruck Δp im Scheibenzwischenraum ausgehend von den Belastungen berechnet werden. Alle weiteren Größen lassen sich dann aus den in 3.2 zusammen gestellten Gleichungen ableiten.

4 Vereinfachte Darstellung

4.1 Grundlage

Die in 3.4.2 angegebene Grundgleichung ist sehr unübersichtlich, insbesondere gehen die Einwirkungen "Klima" und "Wind" in komplizierter Weise ein, so daß die übliche lineare Superposition nicht mehr möglich ist. Im folgenden werden daher die Einwirkungen und die Charakteristika der Isolierglasscheibe auf die Möglichkeit hin untersucht, lineare Näherungen zu erlauben.

Vereinfachungen in Form von linearen Näherungen sind immer dann möglich, wenn Größen stark verschiedener Größenordnung eingehen. Glücklicherweise läßt das vorliegende System derartige Vereinfachungen zu. Als Näherung wird dabei jeweils die Taylor-Entwicklung der entsprechenden Funktion nach der 1. Ordnung abgebrochen und der verbleibende Fehler abgeschätzt.

Es zeigt sich, daß für praxisrelevante Bedingungen eine wesentliche Vereinfachung möglich ist. Dabei bleibt der Linearisierungsfehler in jedem Schritt unter 1% und damit im Rahmen der Genauigkeit der Einwirkungen vernachlässigbar.

4.2 Der Klimafaktor

4.2.1 Definition

Die klimatischen Einflüsse lassen sich in einem Klimafaktor C_f zusammenfassen. Dieser Faktor enthält alle klimatisch relevanten Bedingungen bei Produktion und am Einbauort. Es gilt folgende Definition:

$$C_f = \frac{T_{SZR}}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p} - 1$$

Dabei ist

T_0	Temperatur bei Produktion in K
p_0	atmosphärischer Druck bei Produktion in hPa
T_{SZR}	Temperatur im Scheibenzwischenraum am Einbauort in K
p	atmosphärischer Druck am Einbauort in hPa

4.2.2 Linearisierung

Eine Linearisierung des Klimafaktors ist nicht unbedingt nötig, da die Klimabedingungen, mit Ausnahme der Ortshöhe, durch die natürlichen Schwankungen vorgegeben sind und entsprechende Werte zum Nachweis festgelegt werden müssen. Trotzdem ist eine Linearisierung sinnvoll, da die verschiedenen Einflüsse klarer erkennbar werden. Sie ist möglich, da die Änderung von Temperatur (Kelvin-Skala) und Druck relativ klein gegen die Größen selbst sind. Als Bezugswerte werden gewählt:

$$T_N = 20^\circ C = 293 K$$

$$p_N = 1013 \text{ hPa}$$

Die Temperatur der Isolierglasscheibe bei Fertigung und Einbauort läßt sich damit schreiben:

$$T_0 = T_N + \Delta T_P$$

$$T_{SZR} = T_N + \Delta T_E$$

dabei bezeichnet:

- T_N Normaltemperatur 293 K
- T_0 Temperatur im Scheibenzwischenraum bei Produktion in K
- ΔT_P Temperaturdifferenz zur Normaltemperatur bei Produktion in K
- T_{SZR} Temperatur im Scheibenzwischenraum am Einbauort in K
- ΔT_E Temperaturdifferenz zum Normaltemperatur am Einbauort in K

Für den atmosphärischen Druck bei Fertigung und Einbau gilt:

$$p_0 = p_N + \Delta p_P - 12 \frac{\text{hPa}}{100\text{m}} \cdot h_P$$

$$p = p_N + \Delta p_E - 12 \frac{\text{hPa}}{100\text{m}} \cdot h_E$$

dabei bezeichnet:

- p_N Normaldruck 1013 hPa
- p_0 Druck im Scheibenzwischenraum bei Produktion in hPa
- Δp_P meteorologische Druckdifferenz zum Normaldruck bei Produktion in hPa
- p atmosphärischer Druck am Einbauort in hPa
- Δp_E meteorologische Druckdifferenz zum Normaldruck am Einbauort in hPa
- h_P Ortshöhe der Produktion in m
- h_E Ortshöhe des Einbauortes in m

Damit schreibt sich der Klimafaktor

$$C_f = \left(\frac{1 + \frac{\Delta T_E}{293 \text{ K}}}{1 + \frac{\Delta T_P}{293 \text{ K}}} \right) \cdot \frac{1 + \frac{\Delta p_P}{1013 \text{ hPa}} - 0,012 \frac{h_P}{100 \text{ m}}}{1 + \frac{\Delta p_E}{1013 \text{ hPa}} - 0,012 \frac{h_E}{100 \text{ m}}} - 1$$

Setzt man folgende maximalen Werte für die Temperatur-, Druck und Höhenänderung an:

$$\Delta T_P; \Delta T_E = \pm 30 \text{ K}$$

$$\Delta p_P; \Delta p_E = \pm 50 \text{ hPa}$$

$$h_P = +500 \text{ m}$$

$$h_P - h_E = \pm 500 \text{ m}$$

so sind alle von 1 verschiedenen Summanden kleiner 0,1, so daß der Linearisierungsfehler im folgenden Ausdruck für den Klimafaktor bei +1% liegt.

$$C_f = \left(1 + \frac{\Delta T_E}{293 \text{ K}} \right) \left(1 - \frac{\Delta T_P}{293 \text{ K}} \right) \left(1 + \frac{\Delta p_P}{1013 \text{ hPa}} - 0,012 \frac{h_P}{100 \text{ m}} \right) \left(1 - \frac{\Delta p_E}{1013 \text{ hPa}} + 0,012 \frac{h_E}{100 \text{ m}} \right) - 1$$

weiteres schrittweises Ausmultiplizieren liefert jeweils in erster Ordnung

$$C_f = \left(1 + \frac{\Delta T_E - \Delta T_P}{293\text{K}}\right) \left(1 - \frac{\Delta p_E - \Delta p_P}{1013\text{hPa}} + 0,012 \frac{h_E - h_P}{100\text{m}}\right) - 1$$

und schließlich

$$C_f = \frac{\Delta T}{293\text{K}} - \frac{\Delta p_{met}}{1013\text{hPa}} + 0,012 \frac{\Delta h}{100\text{m}}$$

Der Klimafaktor kann demnach als Summe der einzelnen Einflüsse aus Temperatur, meteorologischem Druck und Ortshöhe geschrieben werden. Dabei charakterisieren die folgenden Größen jeweils die Differenz zwischen Einbauort und Fertigung:

ΔT	$= \Delta T_E - \Delta T_P$	Temperaturdifferenz in °C oder K
Δp_{met}	$= \Delta p_E - \Delta p_P$	Differenz des meteorologischen Druckes in hPa
Δh	$= h_E - h_P$	Differenz der Ortshöhe in m

Beispiel:

Produktion:	20°C	1030 hPa	200 m
Einbau:	45°C	970 hPa	600 m

$$C_f = \frac{45^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{293\text{K}} - \frac{970\text{hPa} - 1030\text{hPa}}{1013\text{hPa}} + 0,012 \frac{600\text{m} - 200\text{m}}{100\text{m}} = 0,085 + 0,059 + 0,048 = 0,192$$

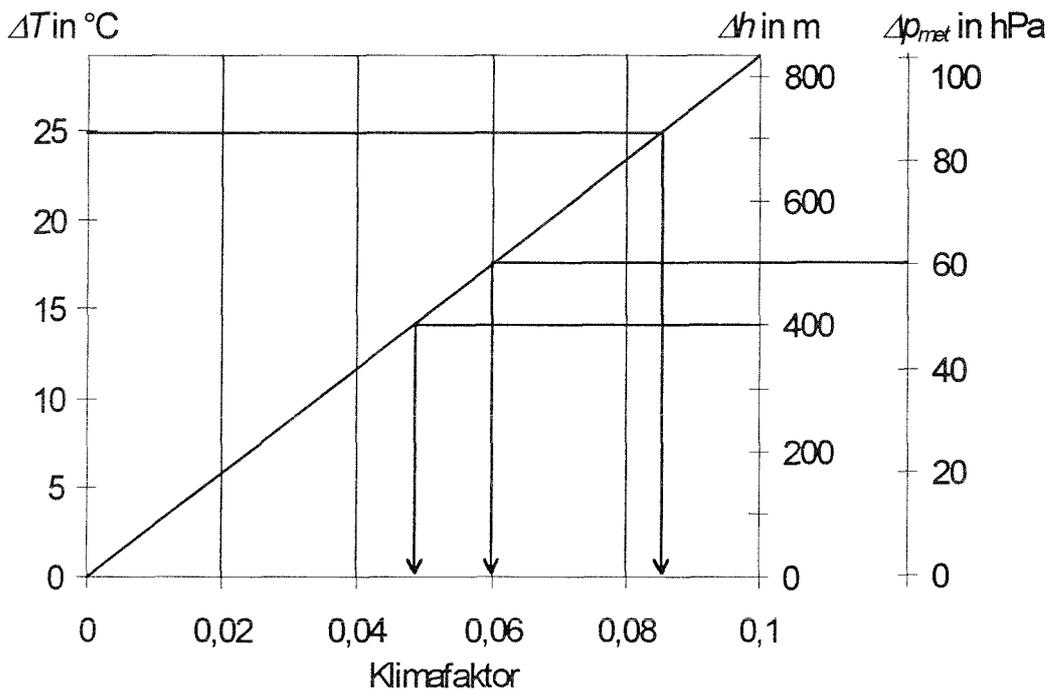


Bild 4.1 Nomogramm zum Ermitteln der Klimafaktoren aus Temperaturänderung, meteorologischer Luftdruckänderung und Änderung der Ortshöhe.
(Das Ablesebeispiel entspricht dem Rechenbeispiel, Vorzeichen beachten!)

4.3 Faktor der äußeren Flächenlasten, Windfaktor

4.3.1 Definition

Die auf die äußere bzw. innere Scheibe von außen einwirkenden Flächenlasten lassen sich ebenfalls zu einem Faktor Wf zusammenfassen. Die Flächenlasten tragen entsprechend der jeweiligen Biegesteifigkeit der Einzelscheiben bei und werden auf den atmosphärischen Druck bezogen:

$$Wf = \frac{k}{p} \cdot \left(\frac{w_i}{K_i} + \frac{w_a}{K_a} \right)$$

Dabei ist

- K_i Biegesteifigkeit der Innenscheibe in Nm
- K_a Biegesteifigkeit der Außenscheibe in Nm
- k reduzierte Biegesteifigkeit in Nm
- w_i Flächenbelastung der Innenscheibe in kN/m²
- w_a Flächenbelastung der Außenscheibe in kN/m²
- p atmosphärischer Druck am Einbauort ca 1 bar = 100 kN/m²

4.3.2 Linearisierung

Da $k \leq K_i$ bzw. $k \leq K_a$ und $p = 100 \text{ kN/m}^2$ gilt für Flächenlasten bis 10 kN/m² jedenfalls:

$$Wf \leq 0,1.$$

Der Windfaktor erfüllt damit bereits die für weitere Näherungen wichtige Eigenschaft.

4.4 Der Differenzdruck

4.4.1 Linearisierung der Grundgleichung

Mit den unter 4.3 und 4.4 eingeführten Klima- und Windfaktoren läßt sich die Grundgleichung kompakter schreiben und umformen:

$$\Delta p = \frac{p}{2} \left\{ \sqrt{\left[1 - \frac{p^*}{p} + Wf \right]^2 + 4(1 + Cf) \frac{p^*}{p}} - \left[1 + \frac{p^*}{p} - Wf \right] \right\}$$

Schrittweise Umformung liefert:

$$\Delta p = \frac{p}{2} \left\{ \sqrt{\left[1 + \frac{p^*}{p} - Wf \right]^2 + 4 \left(Cf \frac{p^*}{p} + Wf \right)} - \left[1 + \frac{p^*}{p} - Wf \right] \right\}$$

und

$$\Delta p = \frac{p}{2} \left[1 + \frac{p^*}{p} - Wf \right] \left\{ \sqrt{1 + 4 \frac{\left(Cf \frac{p^*}{p} + Wf \right)}{\left[1 + \frac{p^*}{p} - Wf \right]^2}} - 1 \right\}$$

Eine genauere Analyse zeigt, daß der zweite Summand unter der Wurzel für alle Werte von p^* die Größe $Cf+Wf$ nicht übersteigt und somit für praxisrelevante Bedingungen unter ca 0,3 bleibt. Damit kann auch die Wurzel entwickelt werden. Der größte Fehler tritt bei $p=p^*$ auf und liegt bei $-(Cf+Wf)/8$, also üblicher Weise bei maximal 5%. Man erhält:

$$\Delta p = \frac{p^* \cdot Cf + p \cdot Wf}{1 + \frac{p^*}{p} - Wf}$$

Berücksichtigt man noch, daß Wf für normale Flächenlasten unter 0,02 liegt, so zerfällt die bisher unübersichtliche Gleichung in zwei Summanden:

- der erste Summand enthält die Klimabelastung
- der zweite Summand enthält die äußeren Flächenlasten

$$\Delta p = \frac{p^* \cdot Cf}{1 + p^*/p} + \frac{p \cdot Wf}{1 + p^*/p}$$

4.4.2 Überlagerung klassischer Flächenlast mit Klimaeinwirkung

Mit der in 4.4.1 gefundenen Näherung ist auch gezeigt, daß zur Berechnung der Druckdifferenz zwischen Scheibenzwischenraum und dem äußeren Druck Klimabelastung und klassische Flächenlasten linear überlagert werden können. Damit besteht die Möglichkeit, die Klimaeinwirkung analog zu anderen Flächenlasten zu behandeln und bei gleichzeitiger Einwirkung entsprechende Superpositionsregeln zu entwickeln.

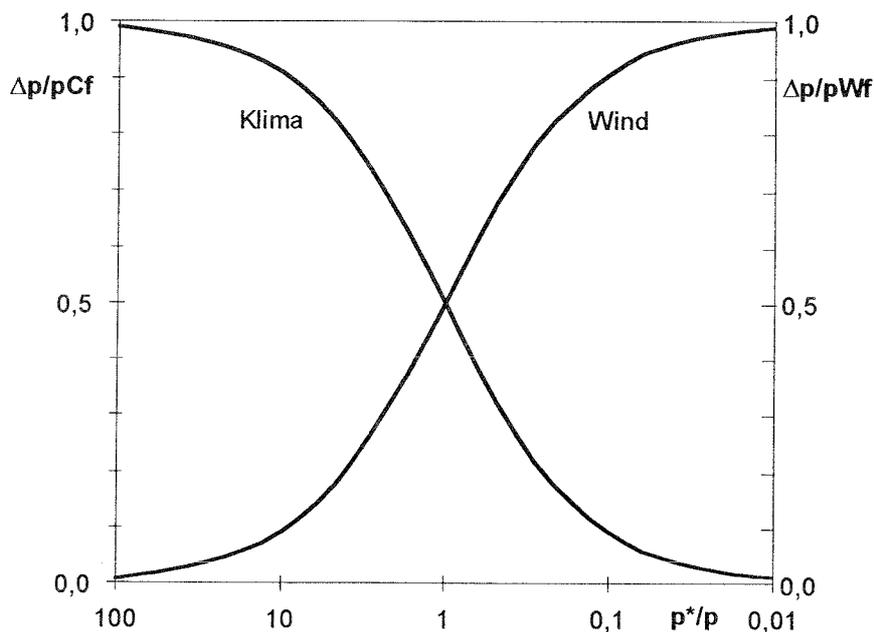


Bild 4.2 Normierte Druckdifferenz zwischen Scheibenzwischenraum und Außenluft. Bei einem großen charakteristischen Druck (kleine Scheiben) überwiegt der Klimaeinfluß, bei kleinem charakteristischen Druck (große Scheiben) die Windlast

4.5 Charakteristische Kantenlänge

4.5.1 Definition

Wie Bild 4.2 zeigt, ist der Bereich, in dem der *charakteristische Druck* p^* dem äußeren Luftdruck gleich, also p^* etwa gleich 100 kPa, von besonderer Bedeutung. Es läßt sich allgemein zeigen [Feld84], daß für diese Bedingung die größte Biegebeanspruchung der Isolierglasscheibe auftritt. Man definiert deshalb über $p^* = p_N$ die *charakteristische Kantenlänge* a^* :

$$a^* = \sqrt[4]{\frac{s \cdot k}{p_N \cdot A_V(e)}}$$

Diese für einen Isolierglasaufbau charakteristische Kantenlänge hängt noch vom Seitenverhältnis ab. Der größte Wert ergibt sich für ein quadratisches Format, bei schmalen Formaten ist der Wert ca 20% kleiner. Z.B. liegt a^* für den Aufbau 4/12/4 zwischen 0,34 m ($e=1,0$) und 0,26 m ($e=0,4$).

Vernachlässigt man den Einfluß des Seitenverhältnisses und wählt den Wert a_1^* bei quadratischem Format, so ist eine weitere Vereinfachung möglich:

$$a_1^* = \sqrt[4]{\frac{s \cdot k}{170\text{Pa}}}$$

Diese *charakteristische Kantenlänge* a_1^* des Quadratformats hängt nur noch vom Scheibenaufbau ab und könnte daher auch als *kritische Kantenlänge* des Aufbaus bezeichnet werden. *Kritische Kantenlänge* deshalb, da wie schon oben erwähnt für diese oder kürzere Kantenlänge die größten Biegespannungen auftreten. Tabelle 4.1 gibt eine Vorstellung der Größe der charakteristischen Kantenlängen für verschiedenen Aufbauten.

Tab 4.1 Charakteristische Kantenlänge in mm für typische Isolierglasaufbauten bei Überkopfverglasung

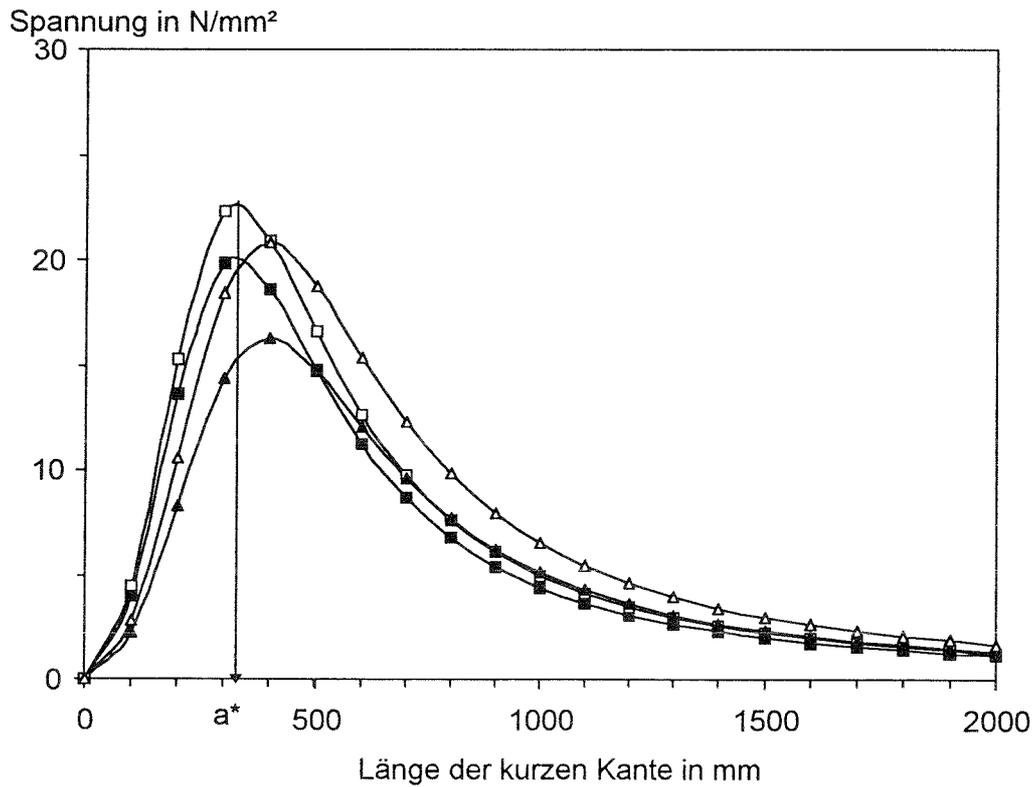
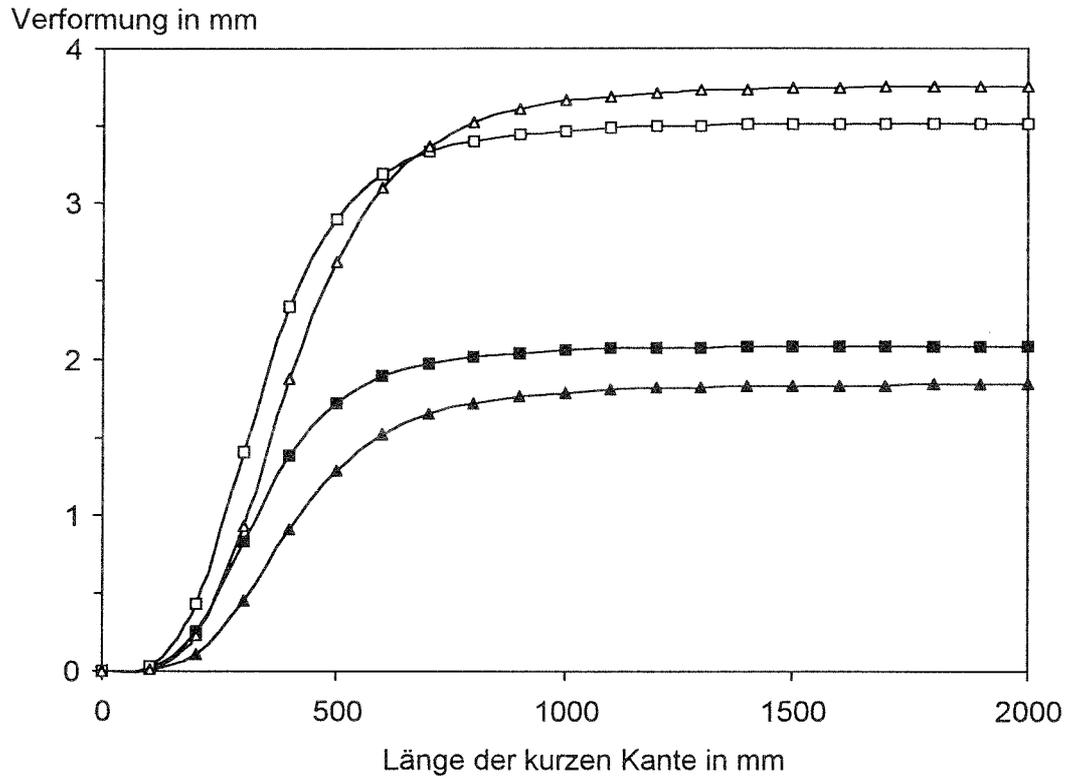
d_a in mm	SZR in mm	d_i in mm	Seitenverhältnis			
			0,33	0,50	0,66	1,0
6 ESG	12	8 VSG	319	341	365	432
8 ESG	12	10 VSG	458	488	524	619
10 ESG	12	12 VSG	535	571	612	724

4.5.2 Beispiel für Verformung und Spannung

Zur Verdeutlichung der Besonderheiten der klimatischen Belastung sind in Bild 4.3 Verformung und Biegespannung für die äußere und innere Scheibe dargestellt. Die Klimabelastung wurde nach Tabelle 4.2 angenommen und entspricht einem Klimafaktor $C_f=0,2$, weitere Lasten sind nicht vorhanden.

Tab 4.2 Randbedingungen für Bild 4.3

Produktion		Einbau	
Ortshöhe	100 m	Ortshöhe	400 m
Druck (NN)	1040 mbar	Druck (NN)	980 mbar
Temperatur	20 °C	Temperatur	50 °C



■ 6ESG außen □ 8VSG innen ▲ 8ESG außen ▴ 10VSG innen

Bild 4.3 Verformung und Biegespannung bei Isolierglas mit 12 mm Scheibenzwischenraum. Scheibenaufbau 6ESG-12-8VSG bzw. 8ESG-12-10VSG. Die Klimabelastung wurde nach Tab 4.2 entsprechend einem Klimafaktor von 0,2 angenommen.

4.5.3 Druckdifferenz als Funktion der Kantenlänge

Unter Verwendung der charakteristischen Kantenlänge a^* lässt sich die Gleichung für die Druckdifferenz in Abhängigkeit von der Länge der kurzen Kante a der Scheibe schreiben. Der Scheibenaufbau und das Seitenverhältnis steckt implizit in der charakteristischen Länge a^* . Die Werte für a^* sind im Anhang tabelliert.

$$\Delta p = \frac{p \cdot C_f}{1 + (a/a^*)^4}$$

Hierbei ist:

- a Länge der kurzen Kante
- a^* charakteristische Länge, abhängig vom Scheibenaufbau und dem Seitenverhältnis
- p atmosphärischer Druck 100 kN/m²
- C_f Klimafaktor, siehe 4.2

Um die Güte der Näherung zu veranschaulichen, wurde für die in Tabelle 4.3 zusammengestellten Bedingungen in Bild 4.4 die exakte Rechnung der Näherungslösung gegenübergestellt. Es bestätigt sich eine maximale Abweichung von 5% für $p=p^*$ bzw $a=a^*$.

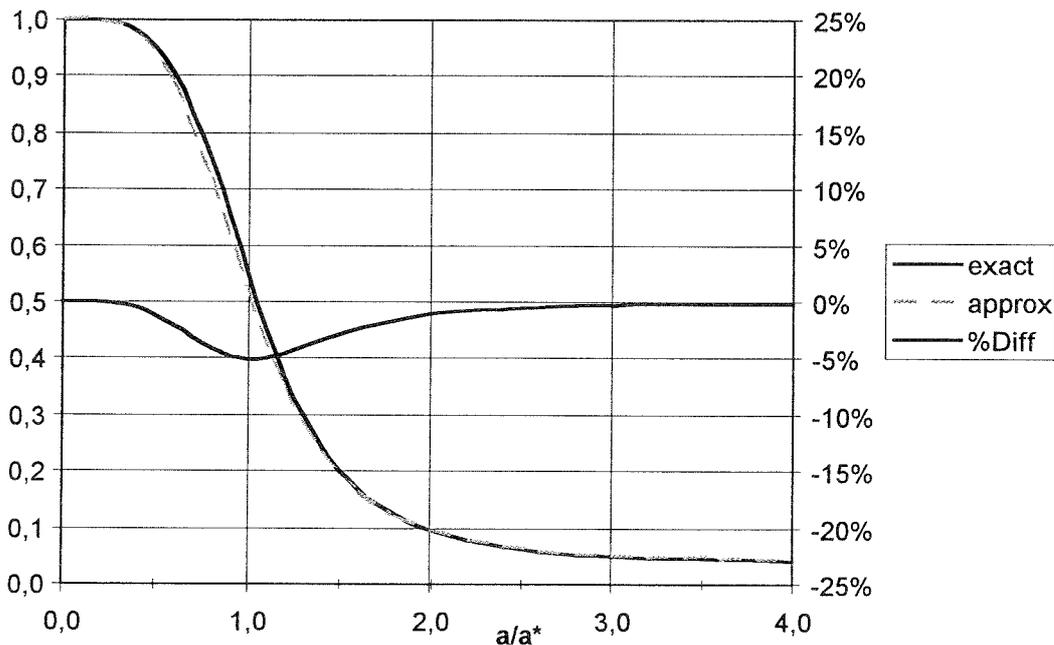


Bild 4.4 Vergleich der exakten Berechnung mit der Näherungslösung

Tab 4.3 Randbedingungen zu Bild 4.4

Ortshöhe	600 m	Ortshöhe	200 m	Wind außen	-1000 kN/m ²
Druck (NN)	980 mbar	Druck (NN)	1040 mbar	Wind innen	0 kN/m ²
Temperatur	20 °C	Temperatur	-10 °C		

5 Anwendung

5.1 Klimatische Randbedingungen

5.1.1 Luftdruck

Die Bedingungen bei Produktion, also die Ortshöhe, der meteorologische Druck und die Temperatur, sind zumindest prinzipiell bekannt; das gleiche gilt für die Höhe des Einbauortes. Dagegen unterliegen Temperatur und Luftdruck am Einbauort den natürlichen Schwankungen.

Bild 5.1 zeigt die Wetterkarte vom 18. Januar 1995. Dem Tiefdruckgebiet bei Island mit einem Kerndruck unter 950 hPa steht ein kontinentales Hoch über Russland mit einem Druck von 1040 hPa gegenüber, dies entspricht einem Druckunterschiede von 90 hPa.

Eine Auswertung des letzten Jahres (Bild 5.2) zeigt allerdings, daß in Mitteleuropa (München) keine extremen Tiefdruckgebiete auftreten. Es erscheint deshalb gerechtfertigt, mit einer meteorologischen Differenz sowohl bei Produktion als auch am Einbauort von etwa ± 30 hPa zu rechnen. Das bedeutet einen Betrag zum Klimafaktor C_f von

$$C_f(\text{met.}) = \frac{\pm 60 \text{ hPa}}{1013 \text{ hPa}} = \pm 0,06$$

An dieser Stelle wären genauere meteorologische Daten notwendig.

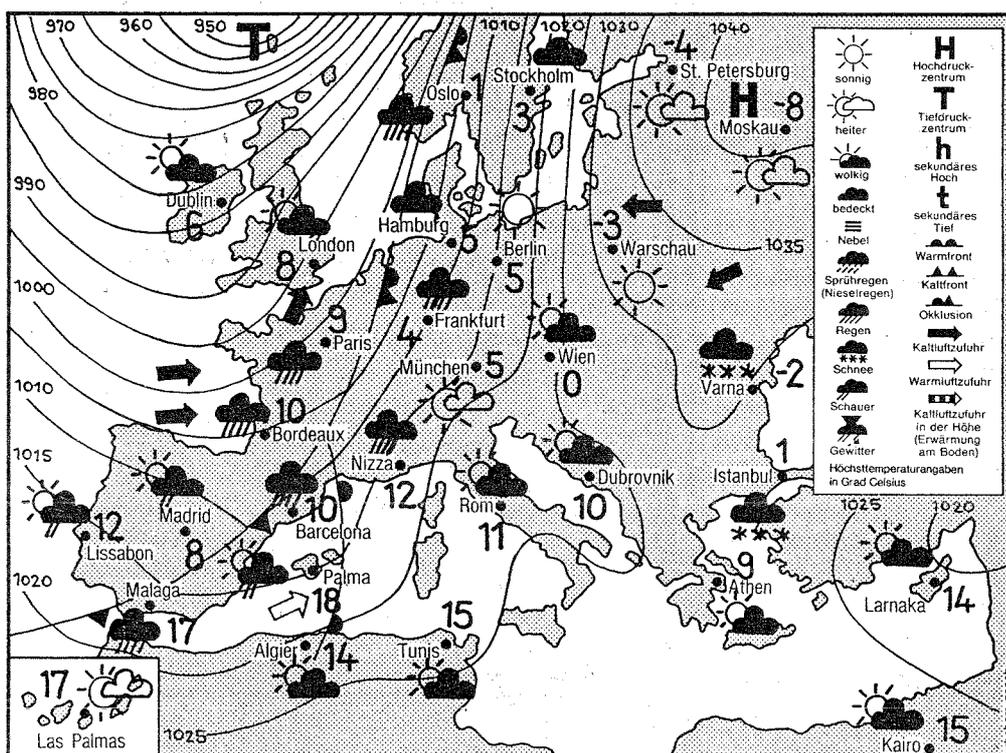


Bild 5.1 Wetterkarte vom 18.01.95 12:00 (UTC) . Dem Tiefdruckgebiet bei Island mit einem Kerndruck unter 950 hPa steht ein kontinentales Hoch über Russland mit einem Druck von 1040 hPa gegenüber

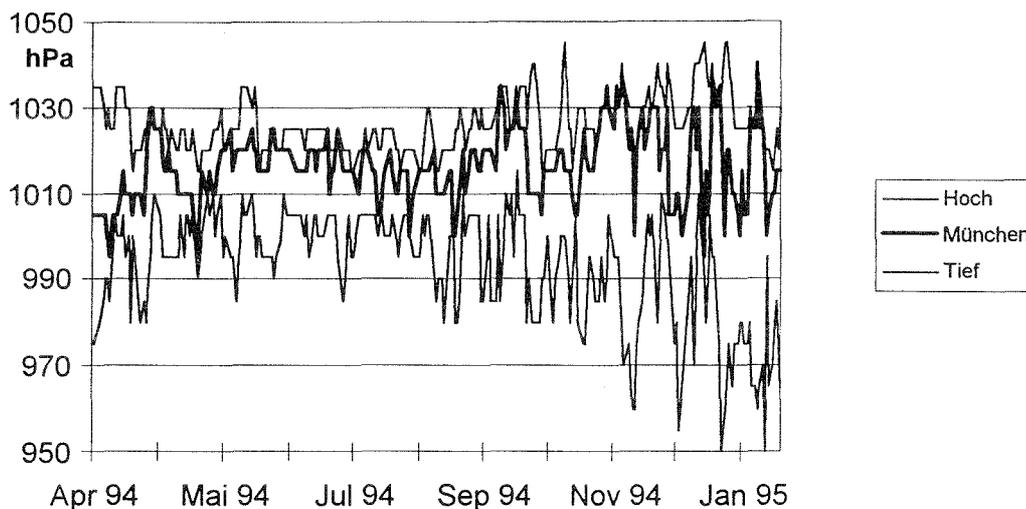


Bild 5.2 Luftdruck über Europa. Maximal und Minimalwert, sowie der Luftdruck über München

5.1.2 Temperatur

Die Temperatur im Scheibenzwischenraum kann als Mitteltemperatur der Außen- und Innenscheibe angesetzt werden. Diese Temperaturen hängen von der Außen- und Innenraumtemperatur, dem Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) der Scheibe, den Wärmeübergangswiderständen und bei Berücksichtigung von solarer Einstrahlung von der Strahlungsintensität und den Absorptionseigenschaften der Glasscheiben ab. Sind diese Werte bekannt, so kann die Temperatur berechnet werden.

Bei unbeheizten Gebäuden (Bauphase) sinkt die Temperatur auf die Außentemperatur ab. Damit müssen als untere Grenztemperatur wenigstens -10°C angesetzt werden. Die Höchsttemperatur wird bei Sonneneinstrahlung und hoher Lufttemperatur erreicht. Geht man von normalem klarem Glas aus und vermeidet jeden Hitzestau durch andere Bauteile oder innenliegende Sonnenschutzeinrichtungen, so sind 50°C ein Richtwert.

Ausgehend von einer Fertigung bei 20°C liefert dies einen Betrag zum Klimafaktor C_f von

$$C_f(T) = \frac{\pm 30 \text{ K}}{293 \text{ K}} = \pm 0,10$$

Für absorbierende Gläser oder für Scheiben mit dahinterliegendem Sonnenschutz, auch bei nicht transparenten raumseitigen Abdeckungen (z.B. Paneel) können wesentlich höhere Temperaturen, weit über 100°C , auftreten. Derartige Situationen werden hier nicht ausgeschlossen.

Auch an dieser Stelle wären genauere statistische Daten für unterschiedliche Situationen wünschenswert.

5.2 Diagramme

Die in 4.5.3 angegebene Gleichung für die Druckdifferenz legt die Zerlegung in zwei Faktoren nahe:

$$\Delta p = \frac{1}{1 + (a/a^*)^4} \cdot p_N C_f$$

Der erste Faktor enthält die Scheibengeometrie, der zweite Faktor stellt den Druck bei einer isochoren Zustandänderung dar.

Ausgehend von den Beiträgen aus meteorologischem Druck (0,06) und aus normaler Temperaturänderung (0,10) zum Klimafaktor läßt sich der Einfluß der Orthöhe in einem Diagramm darstellen, siehe Bild 5.3. Dabei wurde der Klimafaktor schon mit dem Normaldruck multipliziert, d.h. es wurde der dem Klimafaktor entsprechende isochore Druck aufgetragen.

Der Geometriefaktor ist in Bild 5.4 als Funktion des Verhältnis der kurze Scheibenkante zur charakteristische Länge (a/a^*) halblogarithmisch dargestellt. Für kleine, biegesteife Scheiben ergibt sich der volle isochore Druck, bei $a/a^*=1$ sinkt der Druck auf die Hälfte und nimmt dann mit zunehmender Kantenlänge rasch ab.

Beispiel:

Eine Höhendifferenz von 300 m ergibt $C_f=0,2$ oder einen isochoren Druck von $p_N C_f=20 \text{ kN/m}^2$. Eine Scheibe mit Aufbau 6/12/8VSG und den Abmessungen 700 mm x 1400 mm besitzt ein Seitenverhältnis von 1:2 und eine charakteristische Länge von 341 mm (siehe Anhang). Damit erhält man $a/a^*=2$ und aus dem Diagramm in Bild 5.4 den Wert für den Geometriefaktor 0,06. Die klimatisch bedingte Druckdifferenz beträgt damit

$$\Delta p = 0,06 \cdot 20 \text{ kN / m}^2 = 1,2 \text{ kN / m}^2$$

5.3 Die 1 m Grenze

Im Richtlinienentwurf wird die Klimalast bei Scheiben mit einer kurzen Kante unter 1,0 m berücksichtigt. Die vorliegenden Ausführungen zeigen jedoch, daß eine so pauschale Grenze unbefriedigend ist. Legt man einen Klimafaktor von 0,2 entsprechend 20 kN/m² zugrunde und betrachtet eine Flächenlast von etwa 0,2 kN/m² als vernachlässigbar, so ist ein Geometriefaktor von 0,01 erforderlich.

Dieser Geometriefaktor entspricht in etwa einer kurzen Kante vom dreifachen der charakteristischen Länge. Damit ergeben sich abhängig vom Scheibenaufbau und vom Seitenverhältnis unterschiedliche Grenzen. Diese Grenzlängen sind für einige übliche Aufbauten in Tabelle 5.1 angegeben.

Tab 5.1 Grenzkantenlänge in m für typische Isolierglasaufbauten

di in mm	SZR in mm	da in mm	Seitenverhältnis			
			0,33	0,50	0,66	1,0
4	12	4	0,75	0,8	0,9	1,0
4	12	6VSG	0,75	0,8	0,9	1,0
6 ESG	12	8 VSG	0,96	1,03	1,10	1,30
8 ESG	12	10 VSG	1,4	1,5	1,6	1,8
10 ESG	12	12 VSG	1,6	1,7	1,8	2,1

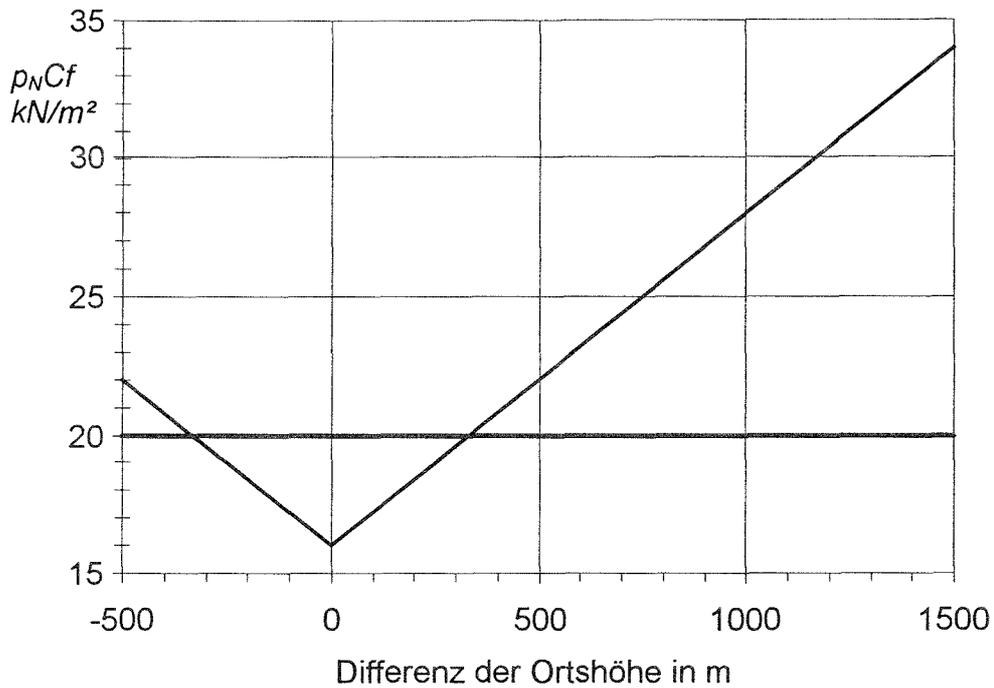


Bild 5.3 Maximaler (isochorer) Druck in Abhängigkeit von der Höhendifferenz zwischen Fertigung und Einbauort bei einer Temperaturdifferenz von $\pm 30\text{K}$ und einer Änderung des meteorologischen Drucks von $\pm 60\text{hPa}$.

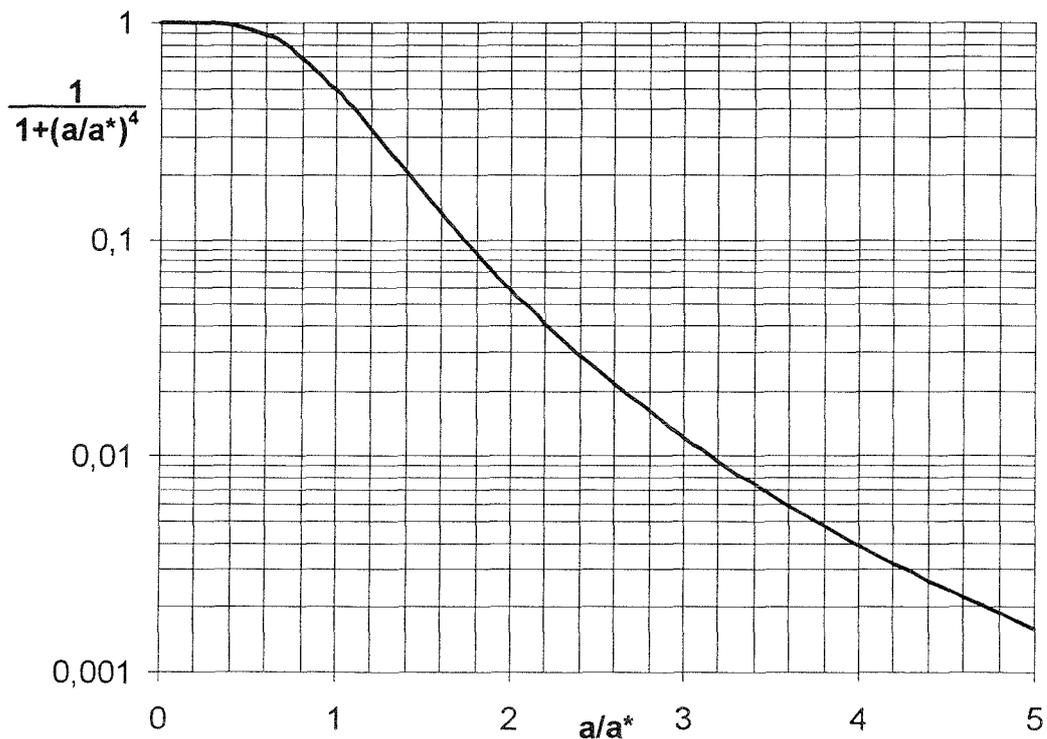


Bild 5.4 Geometriefaktor als Funktion des Verhältnis der kurze Scheibenkante zur charakteristische Länge (a/a^*) in halblogarithmisch Darstellung

6 Zusammenfassung

Ausgehend von der linearen Theorie der dünnen Platte kann die klimatische Belastung in geschlossener Weise berechnet werden. Die resultierenden Verformungen bleiben bei üblichen Klimarandbedingungen unterhalb der Plattendicke und rechtfertigen die Beschränkung auf lineare Effekte. Die Struktur der Gleichungen und die Größenordnung der Einwirkungen erlauben eine weitgehende Linearisierung, so daß die komplizierten exakten Ausdrücke in außerordentlich guter Näherung in einfacher Form dargestellt werden können.

Die klimatische Belastung ergibt sich aus Veränderung der Temperatur ΔT , des meteorologischen Druckes Δp_{met} und der Ortshöhe Δh zwischen Produktion und Einbauort. Diese Einflüsse können in einem *Klimafaktor* C_f zusammengefaßt werden:

$$C_f = \frac{\Delta T}{293 \text{ K}} - \frac{\Delta p_{met}}{1013 \text{ hPa}} + 0,012 \frac{\Delta h}{100 \text{ m}}$$

Bei nicht zu extremen Bedingungen kann C_f mit 0,2 angenommen werden. Der Aufbau der Isolierglasscheibe und das Seitenverhältnis bestimmen die *charakteristische Kantenlänge* a^* . Diese läßt sich für die üblichen Isolierglasscheiben tabellieren, z.B.:

charakteristische Kantenlänge a^* in cm						
Scheibenaufbau			Seitenverhältnis			
d_a in mm	SZR in mm	d_i in mm	0,33	0,50	0,66	1,0
6 ESG	12	8 VSG	32	34	37	43
8 ESG	12	10 VSG	46	49	52	62
10 ESG	12	12 VSG	54	57	61	72

Die klimatisch induzierte Druckdifferenz Δp zwischen Scheibenzwischenraum und Umgebung berechnet sich aus diesen Größen und der Länge der kurzen Kante a der Scheibe zu:

$$\Delta p = 100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{C_f}{1 + (a/a^*)^4}$$

Diese Belastung ist den äußeren Lasten aus Wind, Schnee usw. geeignet additiv zu überlagern. Für große Scheiben mit einer kurzen Kante von etwa der dreifachen charakteristischen Länge kann die Klimabelastung vernachlässigt werden. Für bei Überkopfverglasung übliche Isolierglasaufbauten und Formate ist dies jedoch nicht der Fall. Die im Entwurf [DIBt94] angegebene Grenze von 1 m sollte daher überarbeitet werden.

Literatur

- [DIBt94] Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik 9/94
- [Feld84] F.Feldmeier; Fenster und Fassade 2/82
- [Feld91] F.Feldmeier; Fenster und Fassade 4/91
- [Girk78] K.Girgmann; Flächentragwerke; Springer 1978

Tabelle der Klimafaktoren
Abweichung zur Produktion

Höhendifferenz in m
-600

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,19	-0,21	-0,22	-0,24	-0,26	-0,28	-0,29
-30		-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,19	-0,21	-0,23	-0,24	-0,26
-20		-0,05	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18	-0,19	-0,21	-0,23
-10		-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16	-0,18	-0,20
0		0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17
10		0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14
20		0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11
30		0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,04	-0,06	-0,08
40		0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,03	-0,05
50		0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,00	-0,02
60		0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,01
70		0,29	0,27	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,04

-500

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,11	-0,13	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20	-0,21	-0,23	-0,25	-0,27	-0,28
-30		-0,08	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20	-0,22	-0,23	-0,25
-20		-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17	-0,18	-0,20	-0,22
-10		0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17	-0,19
0		0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16
10		0,08	0,06	0,04	0,02	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13
20		0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,08	-0,10
30		0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,07
40		0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,03	0,01	-0,01	-0,04
50		0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	0,00
60		0,27	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03
70		0,31	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06

-400

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,10	-0,12	-0,14	-0,15	-0,17	-0,19	-0,20	-0,22	-0,24	-0,25	-0,27
-30		-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15	-0,17	-0,19	-0,21	-0,22	-0,24
-20		-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15	-0,17	-0,19	-0,21
-10		0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18
0		0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15
10		0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,12
20		0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08
30		0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05
40		0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00	-0,02
50		0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,03	0,01
60		0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04
70		0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07

Tabelle der Klimafaktoren

Abweichung zur Produktion

Höhendifferenz in m
-300

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,09	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16	-0,18	-0,19	-0,21	-0,23	-0,24	-0,26
-30		-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18	-0,19	-0,21	-0,23
-20		-0,02	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18	-0,20
-10		0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17
0		0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13
10		0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10
20		0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07
30		0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,00	-0,02	-0,04
40		0,22	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,01	-0,01
50		0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02
60		0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06
70		0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09

-200

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,15	-0,17	-0,18	-0,20	-0,22	-0,23	-0,25
-30		-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17	-0,18	-0,20	-0,22
-20		0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17	-0,19
-10		0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15
0		0,07	0,05	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12
10		0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09
20		0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,02	-0,04	-0,06
30		0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,03
40		0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,01
50		0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04
60		0,31	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07
70		0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10

-100

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,19	-0,21	-0,22	-0,24
-30		-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,19	-0,21
-20		0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18
-10		0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14
0		0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11
10		0,13	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08
20		0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,05
30		0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01
40		0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02
50		0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,05
60		0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11	0,08
70		0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12

Tabelle der Klimafaktoren

Abweichung zur Produktion

Höhendifferenz in m

0

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20	-0,21	-0,23
-30		-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16	-0,18	-0,20
-20		0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16
-10		0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13
0		0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10
10		0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,05	-0,07
20		0,18	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03
30		0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	0,00
40		0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,03
50		0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07
60		0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10
70		0,38	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13

100

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,05	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15	-0,17	-0,19	-0,20	-0,22
-30		-0,01	-0,03	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,15	-0,17	-0,19
-20		0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15
-10		0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12
0		0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09
10		0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05
20		0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02
30		0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,01
40		0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05
50		0,31	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13	0,10	0,08
60		0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11
70		0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15

200

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16	-0,18	-0,19	-0,21
-30		0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18
-20		0,04	0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14
-10		0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11
0		0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07
10		0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04
20		0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,01	-0,01
30		0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03
40		0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06
50		0,33	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,09
60		0,37	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13
70		0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16

Tabelle der Klimafaktoren

Abweichung zur Produktion

Höhendifferenz in m

300

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,03	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,15	-0,17	-0,18	-0,20
-30		0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17
-20		0,05	0,03	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11	-0,13
-10		0,09	0,07	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10
0		0,13	0,11	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06
10		0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03
20		0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01
30		0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04
40		0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10	0,07
50		0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11
60		0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14
70		0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18

400

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	-0,16	-0,17	-0,19
-30		0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16
-20		0,06	0,04	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,12
-10		0,10	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09
0		0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05
10		0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00	-0,02
20		0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
30		0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,05
40		0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09
50		0,36	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12
60		0,40	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16
70		0,44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,19

500

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16	-0,18
-30		0,03	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,14
-20		0,07	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11
-10		0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07
0		0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04
10		0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00
20		0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03
30		0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07
40		0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10
50		0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14
60		0,41	0,39	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17
70		0,46	0,43	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,23	0,21

Tabelle der Klimafaktoren

Abweichung zur Produktion

Höhendifferenz in m

600

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,00	-0,02	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,15	-0,17
-30		0,04	0,02	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13
-20		0,08	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,10
-10		0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06
0		0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,03
10		0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01
20		0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04
30		0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08
40		0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12
50		0,39	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15
60		0,43	0,40	0,38	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19
70		0,47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22

700

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16
-30		0,05	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12
-20		0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09
-10		0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,05
0		0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	-0,01
10		0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
20		0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06
30		0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,09
40		0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13
50		0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17
60		0,44	0,42	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,20
70		0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24

800

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,15
-30		0,06	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11
-20		0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08
-10		0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04
0		0,19	0,17	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00
10		0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03
20		0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07
30		0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
40		0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14
50		0,41	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18
60		0,46	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22
70		0,50	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30	0,28	0,25

Tabelle der Klimafaktoren
Abweichung zur ProduktionHöhendifferenz in m
1000

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,04	0,02	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11	-0,13
-30		0,08	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09
-20		0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,04	-0,05
-10		0,17	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,02
0		0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
10		0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06
20		0,31	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
30		0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13
40		0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17
50		0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21
60		0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25
70		0,53	0,51	0,48	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0,28

1200

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,06	0,04	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,11
-30		0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,00	-0,02	-0,03	-0,05	-0,07
-20		0,15	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	-0,01	-0,03
-10		0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01
0		0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,05
10		0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08
20		0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12
30		0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16
40		0,42	0,40	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20
50		0,47	0,45	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24
60		0,52	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28
70		0,56	0,54	0,51	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31

1400

		meteorologische Druckdifferenz in hPa										
Temp.diff.		-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
in K												
-40		0,08	0,06	0,05	0,03	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,09
-30		0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,02	0,00	-0,01	-0,03	-0,05
-20		0,17	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,01	-0,01
-10		0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03
0		0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07
10		0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
20		0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15
30		0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19
40		0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23
50		0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27
60		0,55	0,52	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30
70		0,59	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,34

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge

Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

4 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
393	393	196	50%	50%	4	8	4	229	245	262	310
393	1326	303	77%	23%	4	8	6	256	273	292	346
393	3144	349	89%	11%	4	8	8	265	283	303	358
393	6140	369	94%	6%	4	8	10	268	286	307	363
393	10611	379	96%	4%	4	8	12	270	288	309	365
393	20724	386	98%	2%	4	8	15	271	290	310	367
393	42117	389	99%	1%	4	8	19	272	290	311	368
393	332	180	46%	54%	4	8	6 VSG	224	239	257	303
393	786	262	67%	33%	4	8	8 VSG	246	263	282	333
393	1535	313	80%	20%	4	8	10 VSG	258	275	295	348
393	2653	342	87%	13%	4	8	12 VSG	263	281	301	356
393	6288	370	94%	6%	4	8	16 VSG	269	287	307	363
393	12281	381	97%	3%	4	8	20 VSG	270	289	310	366
393	21221	386	98%	2%	4	8	24 VSG	271	290	311	367
					4	12	4	254	271	290	343
					4	12	6	283	302	324	382
					4	12	8	293	313	335	396
					4	12	10	297	317	340	402
					4	12	12	299	319	342	404
					4	12	15	300	320	344	406
					4	12	19	301	321	344	407
					4	12	6 VSG	248	265	284	336
					4	12	8 VSG	273	291	312	369
					4	12	10 VSG	285	304	326	385
					4	12	12 VSG	291	311	334	394
					4	12	16 VSG	297	317	340	402
					4	12	20 VSG	299	319	343	405
					4	12	24 VSG	300	321	344	406
					4	16	4	273	291	312	369
					4	16	6	304	324	348	411
					4	16	8	315	336	360	426
					4	16	10	319	341	365	432
					4	16	12	321	343	368	434
					4	16	15	323	344	369	436
					4	16	19	323	345	370	437
					4	16	6 VSG	267	285	305	361
					4	16	8 VSG	293	313	335	396
					4	16	10 VSG	306	327	350	414
					4	16	12 VSG	313	334	358	424
					4	16	16 VSG	319	341	365	432
					4	16	20 VSG	322	343	368	435
					4	16	24 VSG	323	344	369	436

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge

Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

5 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
768	393	260	34%	66%	5	8	4	246	262	281	332
768	1326	486	63%	37%	5	8	6	288	307	329	389
768	3144	617	80%	20%	5	8	8	305	326	349	413
768	6140	682	89%	11%	5	8	10	313	334	358	423
768	10611	716	93%	7%	5	8	12	317	338	362	428
768	20724	740	96%	4%	5	8	15	319	341	365	432
768	42117	754	98%	2%	5	8	19	321	342	367	434
768	332	232	30%	70%	5	8	6 VSG	239	255	273	323
768	786	388	51%	49%	5	8	8 VSG	272	290	311	368
768	1535	512	67%	33%	5	8	10 VSG	291	311	333	394
768	2653	595	78%	22%	5	8	12 VSG	302	323	346	409
768	6288	684	89%	11%	5	8	16 VSG	313	334	358	423
768	12281	722	94%	6%	5	8	20 VSG	317	339	363	429
768	21221	741	97%	3%	5	8	24 VSG	319	341	366	432
					5	12	4	272	290	311	368
					5	12	6	318	340	364	430
					5	12	8	338	360	386	457
					5	12	10	346	370	396	468
					5	12	12	351	374	401	474
					5	12	15	353	377	404	478
					5	12	19	355	379	406	480
					5	12	6 VSG	264	282	302	357
					5	12	8 VSG	301	321	344	407
					5	12	10 VSG	322	344	369	436
					5	12	12 VSG	335	357	383	453
					5	12	16 VSG	347	370	397	469
					5	12	20 VSG	351	375	402	475
					5	12	24 VSG	354	377	405	478
					5	16	4	292	312	335	395
					5	16	6	342	365	391	462
					5	16	8	363	387	415	491
					5	16	10	372	397	426	503
					5	16	12	377	402	431	509
					5	16	15	380	405	435	514
					5	16	19	382	407	437	516
					5	16	6 VSG	284	303	325	384
					5	16	8 VSG	323	345	370	437
					5	16	10 VSG	346	370	396	468
					5	16	12 VSG	360	384	412	486
					5	16	16 VSG	372	397	426	504
					5	16	20 VSG	378	403	432	511
					5	16	24 VSG	380	405	435	514

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge
Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

6 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
1326	393	303	23%	77%	6	8	4	256	273	292	346
1326	1326	663	50%	50%	6	8	6	311	332	356	420
1326	3144	933	70%	30%	6	8	8	338	361	387	458
1326	6140	1091	82%	18%	6	8	10	352	376	403	476
1326	10611	1179	89%	11%	6	8	12	359	383	411	485
1326	20724	1247	94%	6%	6	8	15	364	388	416	492
1326	42117	1286	97%	3%	6	8	19	367	391	420	496
1326	332	265	20%	80%	6	8	6 VSG	247	264	283	334
1326	786	494	37%	63%	6	8	8 VSG	289	308	330	390
1326	1535	712	54%	46%	6	8	10 VSG	316	337	362	428
1326	2653	884	67%	33%	6	8	12 VSG	334	356	382	452
1326	6288	1095	83%	17%	6	8	16 VSG	352	376	403	476
1326	12281	1197	90%	10%	6	8	20 VSG	360	384	412	487
1326	21221	1248	94%	6%	6	8	24 VSG	364	388	416	492
					6	12	4	283	302	324	382
					6	12	6	344	367	393	465
					6	12	8	375	400	429	506
					6	12	10	389	416	446	527
					6	12	12	397	424	454	537
					6	12	15	403	430	461	545
					6	12	19	406	433	464	549
					6	12	6 VSG	273	292	313	370
					6	12	8 VSG	319	341	365	432
					6	12	10 VSG	350	373	400	473
					6	12	12 VSG	370	394	423	500
					6	12	16 VSG	390	416	446	527
					6	12	20 VSG	399	425	456	539
					6	12	24 VSG	403	430	461	545
					6	16	4	304	324	348	411
					6	16	6	370	394	423	500
					6	16	8	402	429	460	544
					6	16	10	418	447	479	566
					6	16	12	427	455	488	577
					6	16	15	433	462	495	585
					6	16	19	436	465	499	590
					6	16	6 VSG	294	314	336	397
					6	16	8 VSG	343	366	393	464
					6	16	10 VSG	376	401	430	509
					6	16	12 VSG	397	424	454	537
					6	16	16 VSG	419	447	479	567
					6	16	20 VSG	428	457	490	579
					6	16	24 VSG	433	462	495	585

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge

Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

8 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
3144	393	349	11%	89%	8	8	4	265	283	303	358
3144	1326	933	30%	70%	8	8	6	338	361	387	458
3144	3144	1572	50%	50%	8	8	8	386	411	441	521
3144	6140	2079	66%	34%	8	8	10	413	441	473	559
3144	10611	2425	77%	23%	8	8	12	430	459	492	581
3144	20724	2730	87%	13%	8	8	15	443	472	506	599
3144	42117	2925	93%	7%	8	8	19	450	481	515	609
3144	332	300	10%	90%	8	8	6 VSG	255	272	292	345
3144	786	629	20%	80%	8	8	8 VSG	307	327	351	415
3144	1535	1031	33%	67%	8	8	10 VSG	347	370	397	469
3144	2653	1439	46%	54%	8	8	12 VSG	377	402	432	510
3144	6288	2096	67%	33%	8	8	16 VSG	414	442	474	560
3144	12281	2503	80%	20%	8	8	20 VSG	433	462	496	586
3144	21221	2738	87%	13%	8	8	24 VSG	443	473	507	599
					8	12	4	293	313	335	396
					8	12	6	375	400	429	506
					8	12	8	427	455	488	577
					8	12	10	458	488	524	619
					8	12	12	476	507	544	643
					8	12	15	490	523	560	662
					8	12	19	498	532	570	674
					8	12	6 VSG	282	301	323	381
					8	12	8 VSG	339	362	388	459
					8	12	10 VSG	384	410	439	519
					8	12	12 VSG	417	445	478	564
					8	12	16 VSG	459	489	525	620
					8	12	20 VSG	479	512	548	648
					8	12	24 VSG	490	523	561	663
					8	16	4	315	336	360	426
					8	16	6	402	429	460	544
					8	16	8	459	489	525	620
					8	16	10	492	525	563	665
					8	16	12	511	545	585	691
					8	16	15	526	562	602	712
					8	16	19	536	572	613	724
					8	16	6 VSG	303	323	347	410
					8	16	8 VSG	365	389	417	493
					8	16	10 VSG	413	440	472	558
					8	16	12 VSG	448	479	513	606
					8	16	16 VSG	493	526	564	666
					8	16	20 VSG	515	550	589	697
					8	16	24 VSG	527	562	603	712

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge
Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

10 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
6140	393	369	6%	94%	10	8	4	268	286	307	363
6140	1326	1091	18%	82%	10	8	6	352	376	403	476
6140	3144	2079	34%	66%	10	8	8	413	441	473	559
6140	6140	3070	50%	50%	10	8	10	456	486	522	616
6140	10611	3889	63%	37%	10	8	12	484	516	553	654
6140	20724	4737	77%	23%	10	8	15	508	542	581	687
6140	42117	5359	87%	13%	10	8	19	524	559	599	709
6140	332	315	5%	95%	10	8	6 VSG	258	275	295	349
6140	786	697	11%	89%	10	8	8 VSG	315	336	360	425
6140	1535	1228	20%	80%	10	8	10 VSG	362	387	415	490
6140	2653	1852	30%	70%	10	8	12 VSG	402	429	460	543
6140	6288	3107	51%	49%	10	8	16 VSG	457	488	523	618
6140	12281	4094	67%	33%	10	8	20 VSG	490	523	560	662
6140	21221	4762	78%	22%	10	8	24 VSG	509	543	582	688
					10	12	4	297	317	340	402
					10	12	6	389	416	446	527
					10	12	8	458	488	524	619
					10	12	10	504	538	577	682
					10	12	12	535	571	612	724
					10	12	15	562	600	643	760
					10	12	19	580	619	663	784
					10	12	6 VSG	285	305	327	386
					10	12	8 VSG	348	372	398	471
					10	12	10 VSG	401	428	459	542
					10	12	12 VSG	445	474	509	601
					10	12	16 VSG	506	540	579	684
					10	12	20 VSG	542	578	620	733
					10	12	24 VSG	563	601	644	761
					10	16	4	319	341	365	432
					10	16	6	418	447	479	566
					10	16	8	492	525	563	665
					10	16	10	542	578	620	733
					10	16	12	575	614	658	778
					10	16	15	604	645	691	817
					10	16	19	623	665	713	843
					10	16	6 VSG	307	327	351	415
					10	16	8 VSG	374	399	428	506
					10	16	10 VSG	431	460	493	583
					10	16	12 VSG	478	510	547	646
					10	16	16 VSG	544	580	622	735
					10	16	20 VSG	582	622	666	788
					10	16	24 VSG	605	646	692	818

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge

Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

12 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
10611	393	379	4%	96%	12	8	4	270	288	309	365
10611	1326	1179	11%	89%	12	8	6	359	383	411	485
10611	3144	2425	23%	77%	12	8	8	430	459	492	581
10611	6140	3889	37%	63%	12	8	10	484	516	553	654
10611	10611	5305	50%	50%	12	8	12	523	558	598	707
10611	20724	7018	66%	34%	12	8	15	560	598	641	758
10611	42117	8475	80%	20%	12	8	19	588	627	672	795
10611	332	322	3%	97%	12	8	6 VSG	259	277	297	351
10611	786	732	7%	93%	12	8	8 VSG	318	340	364	431
10611	1535	1341	13%	87%	12	8	10 VSG	371	395	424	501
10611	2653	2122	20%	80%	12	8	12 VSG	416	444	476	562
10611	6288	3948	37%	63%	12	8	16 VSG	485	518	555	656
10611	12281	5692	54%	46%	12	8	20 VSG	532	568	609	719
10611	21221	7074	67%	33%	12	8	24 VSG	562	599	643	759
					12	12	4	299	319	342	404
					12	12	6	397	424	454	537
					12	12	8	476	507	544	643
					12	12	10	535	571	612	724
					12	12	12	578	617	662	782
					12	12	15	620	662	710	839
					12	12	19	650	694	744	879
					12	12	6 VSG	287	306	328	388
					12	12	8 VSG	352	376	403	477
					12	12	10 VSG	410	438	469	555
					12	12	12 VSG	460	491	526	622
					12	12	16 VSG	537	573	615	726
					12	12	20 VSG	589	628	674	796
					12	12	24 VSG	621	663	711	840
					12	16	4	321	343	368	434
					12	16	6	427	455	488	577
					12	16	8	511	545	585	691
					12	16	10	575	614	658	778
					12	16	12	621	663	711	840
					12	16	15	666	711	763	901
					12	16	19	699	746	799	945
					12	16	6 VSG	308	329	353	417
					12	16	8 VSG	379	404	433	512
					12	16	10 VSG	441	470	504	596
					12	16	12 VSG	494	527	566	668
					12	16	16 VSG	577	616	660	781
					12	16	20 VSG	633	675	724	855
					12	16	24 VSG	668	713	764	903

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge

Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

15 mm

Biegesteifigkeit in Nm					Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis			
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
20724	393	386	2%	98%	15	8	4	271	290	310	367
20724	1326	1247	6%	94%	15	8	6	364	388	416	492
20724	3144	2730	13%	87%	15	8	8	443	472	506	599
20724	6140	4737	23%	77%	15	8	10	508	542	581	687
20724	10611	7018	34%	66%	15	8	12	560	598	641	758
20724	20724	10362	50%	50%	15	8	15	618	659	707	835
20724	42117	13889	67%	33%	15	8	19	665	709	761	899
20724	332	326	2%	98%	15	8	6 VSG	260	278	298	352
20724	786	757	4%	96%	15	8	8 VSG	321	343	368	434
20724	1535	1429	7%	93%	15	8	10 VSG	377	402	431	509
20724	2653	2352	11%	89%	15	8	12 VSG	426	455	488	577
20724	6288	4824	23%	77%	15	8	16 VSG	510	545	584	690
20724	12281	7711	37%	63%	15	8	20 VSG	574	612	657	776
20724	21221	10485	51%	49%	15	8	24 VSG	620	661	709	838
					15	12	4	300	320	344	406
					15	12	6	403	430	461	545
					15	12	8	490	523	560	662
					15	12	10	562	600	643	760
					15	12	12	620	662	710	839
					15	12	15	684	730	782	925
					15	12	19	736	785	842	995
					15	12	6 VSG	288	307	330	390
					15	12	8 VSG	355	379	407	481
					15	12	10 VSG	417	445	477	563
					15	12	12 VSG	472	504	540	638
					15	12	16 VSG	565	603	646	764
					15	12	20 VSG	635	678	727	859
					15	12	24 VSG	686	732	785	927
					15	16	4	323	344	369	436
					15	16	6	433	462	495	585
					15	16	8	526	562	602	712
					15	16	10	604	645	691	817
					15	16	12	666	711	763	901
					15	16	15	735	784	841	994
					15	16	19	791	844	905	1069
					15	16	6 VSG	310	330	354	419
					15	16	8 VSG	382	408	437	517
					15	16	10 VSG	448	478	512	605
					15	16	12 VSG	507	541	580	686
					15	16	16 VSG	607	648	694	821
					15	16	20 VSG	682	728	781	923
					15	16	24 VSG	737	786	843	996

Tabelle der charakteristischen Kantenlänge
Scheibenaufbau und Kantenlänge in mm

19 mm

Biegesteifigkeit in Nm			Scheibenaufbau			Kantenlänge in mm Seitenverhältnis					
Ka	Ki	k	k/Ka	k/Ki	da	SZR	di	0,33	0,50	0,66	1,00
42117	393	389	1%	99%	19	8	4	272	290	311	368
42117	1326	1286	3%	97%	19	8	6	367	391	420	496
42117	3144	2925	7%	93%	19	8	8	450	481	515	609
42117	6140	5359	13%	87%	19	8	10	524	559	599	709
42117	10611	8475	20%	80%	19	8	12	588	627	672	795
42117	20724	13889	33%	67%	19	8	15	665	709	761	899
42117	42117	21058	50%	50%	19	8	19	738	787	844	998
42117	332	329	1%	99%	19	8	6 VSG	261	278	298	353
42117	786	772	2%	98%	19	8	8 VSG	323	344	369	436
42117	1535	1481	4%	96%	19	8	10 VSG	380	405	435	514
42117	2653	2495	6%	94%	19	8	12 VSG	433	462	495	585
42117	6288	5471	13%	87%	19	8	16 VSG	527	562	603	712
42117	12281	9508	23%	77%	19	8	20 VSG	605	645	692	818
42117	21221	14111	34%	66%	19	8	24 VSG	667	712	764	903
					19	12	4	301	321	344	407
					19	12	6	406	433	464	549
					19	12	8	498	532	570	674
					19	12	10	580	619	663	784
					19	12	12	650	694	744	879
					19	12	15	736	785	842	995
					19	12	19	816	871	934	1104
					19	12	6 VSG	289	308	330	390
					19	12	8 VSG	357	381	409	483
					19	12	10 VSG	420	449	481	569
					19	12	12 VSG	479	511	548	648
					19	12	16 VSG	583	622	667	788
					19	12	20 VSG	669	714	766	905
					19	12	24 VSG	739	788	845	999
					19	16	4	323	345	370	437
					19	16	6	436	465	499	590
					19	16	8	536	572	613	724
					19	16	10	623	665	713	843
					19	16	12	699	746	799	945
					19	16	15	791	844	905	1069
					19	16	19	877	936	1004	1186
					19	16	6 VSG	310	331	355	419
					19	16	8 VSG	384	410	439	519
					19	16	10 VSG	452	482	517	611
					19	16	12 VSG	515	549	589	696
					19	16	16 VSG	626	668	717	847
					19	16	20 VSG	719	767	823	972
					19	16	24 VSG	794	847	908	1073