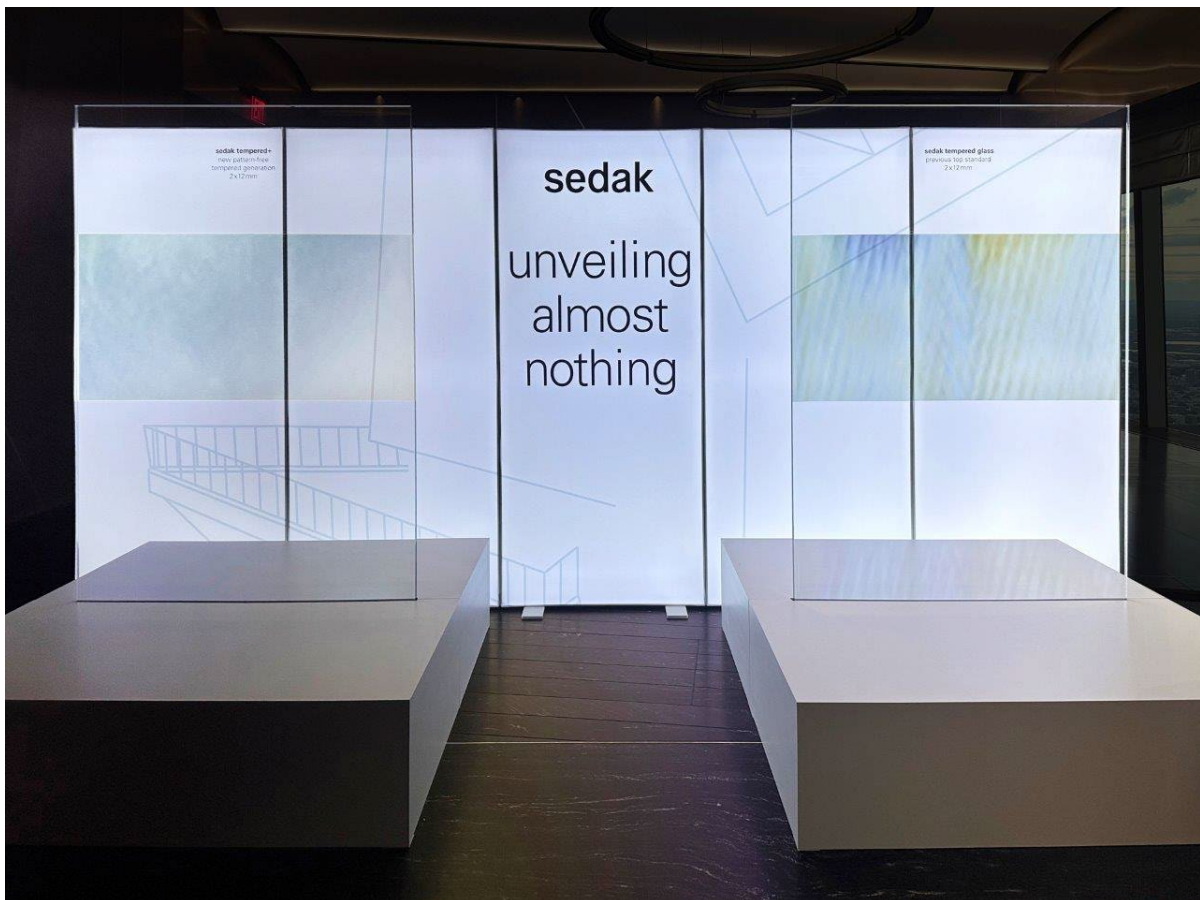


sedak factsheet

Anisotropien und tempered+



Das Bild zeigt typische Anisotropien auf der rechten Seite und unser nahezu anisotropiefreies tempered+ auf der linken Seite.

sedak GmbH & Co. KG
Einsteinring 1
86368 Gersthofen
Deutschland

Tel. +49 821 24 94 – 222
Fax. +49 821 24 94 – 777

info@sedak.com
www.sedak.com

Anisotropien im Architekturglas bleiben ein relevantes Thema

Wegen seiner hohen transparenten Wirkung wird Glas häufig als Werkstoff in der Architektur verwendet. Darüber hinaus wird die Verwendung von Glas immer komplexer und die strukturellen Anforderungen steigen. Infolgedessen wird Glas zunehmend vorgespannt und zu dickeren Einheiten laminiert. Infolgedessen kommt es immer häufiger zu Unregelmäßigkeiten im Glas, die unter bestimmten Lichtverhältnissen sichtbar werden. Diese Unregelmäßigkeiten, die so genannten Anisotropien, entstehen während des Vorspannprozesses. Die Intensität der Anisotropie wird nicht wesentlich davon beeinflusst, ob das Glas zu ESG oder TVG vorgespannt ist. Die Kombination des Glases zu mehrschichtigen Einheiten vervielfacht den Anisotropieeffekt.

1 Was sind eigentlich Anisotropien

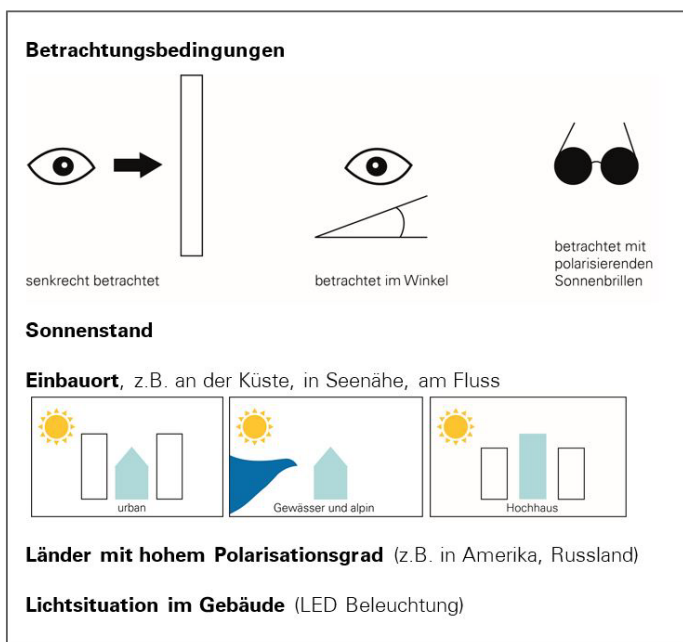
Glas ist optisch isotrop (griechisch isos „gleich“ tropos „Richtung“). Das bedeutet, dass das Licht das Glas gleichmäßig durchdringt und der Brechungsindex in jeder Richtung gleich ist. Wenn jedoch Spannungen in das Glas eingebracht werden, wird das einfallende Licht aufgrund des Spannungszustands zweimal gebrochen, was das Glas anisotrop macht. Wenn polarisiertes Licht auf das Glas trifft, wird es ungleich gebrochen und breitet sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Dadurch treten die Lichtwellen nicht mehr gleichzeitig aus dem Glas aus, was vom Auge als Interferenzfarbe wahrgenommen wird.

1.1 Wie entstehen Anisotropien

Um Glas thermisch vorzuspannen wird es bis über den Erweichungspunkt „T_g“ hinaus bis auf ca. 640°C aufgeheizt. Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Glases ist es jedoch nicht möglich, eine vollständige Homogenität während des Erwärmungsprozesses zu erreichen. Unterschiedliche Walzenkontakte im Ofen sowie Bohrungen, Ecken und Kanten führen zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung im Glas. Beim Vorspannen wird das Glas durch einen hohen Luftdurchsatz kontrolliert abgekühlt, was zusätzliche Spuren des Systems im Glas hinterlässt. Die daraus resultierende Irisationserscheinungen wird durch leicht inhomogene Spannungen nach dem Prozess verursacht. Trotz des Einsatzes modernster Technologien zum Erwärmen und Abkühlen des Glases ist es nicht möglich, diese Spannungsunterschiede vollständig zu vermeiden. Die Spannungszustände im Glas werden konserviert und bleiben während der gesamten „Lebensdauer“ unverändert. Sie sind unbeeinflusst von Umwelteinflüssen, Lagerungsbedingungen und Transportumständen.

1.2 Die optische Wahrnehmung von Anisotropien

Die Sichtbarkeit von Anisotropien hängt von den Lichtverhältnissen und dem Betrachtungswinkel ab. Anisotropien sind bei einem flachen Betrachtungswinkel stärker sichtbar als bei einer senkrechten Betrachtung. Die Verwendung einer polarisierten Sonnenbrille erhöht die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Anisotropien. Reflektierende Oberflächen, wie Gewässer oder schneebedeckte Flächen, können die Wahrnehmung von Anisotropien verstärken. Hochhäuser haben aufgrund ihrer exponierten Lage ebenfalls ein höheres Risiko für sichtbare Anisotropien. Das Wetter und der Stand der Sonne spielen dabei auch eine entscheidende Rolle. Bei strahlend blauem Himmel und tief stehender Sonne ist der Anteil des polarisierten Lichts am höchsten, wodurch Anisotropien leichter erkennbar sind.



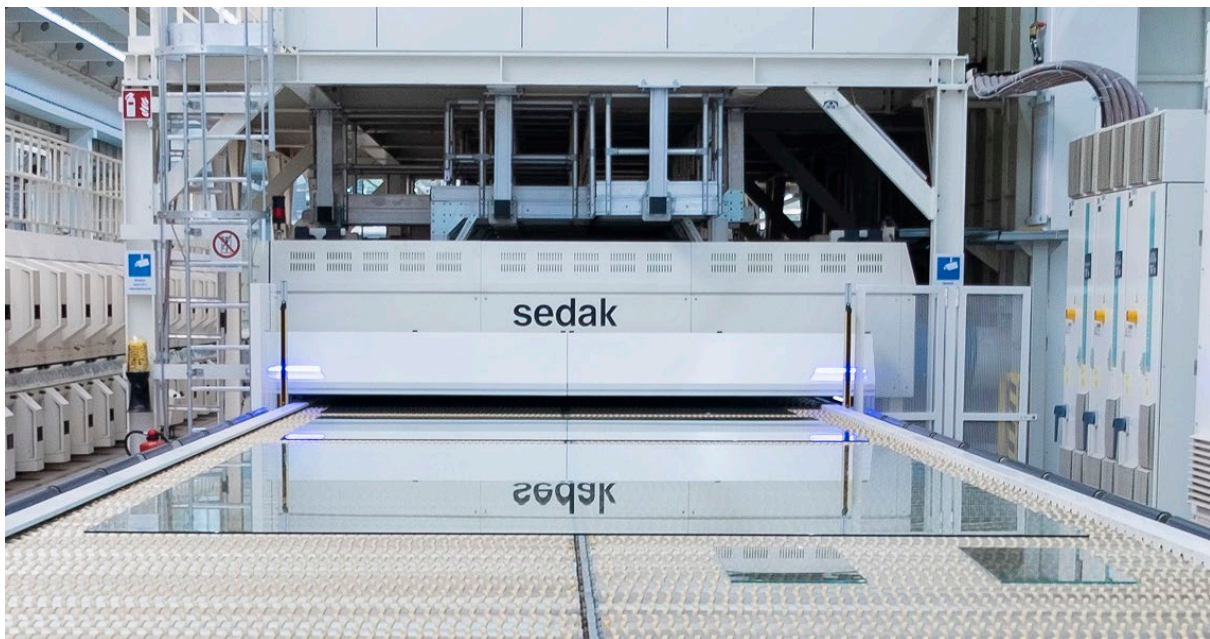
Bisher bekannte Betrachtungsbedingungen im Überblick.

1.3 Der Einflussfaktor des Glasaufbaus

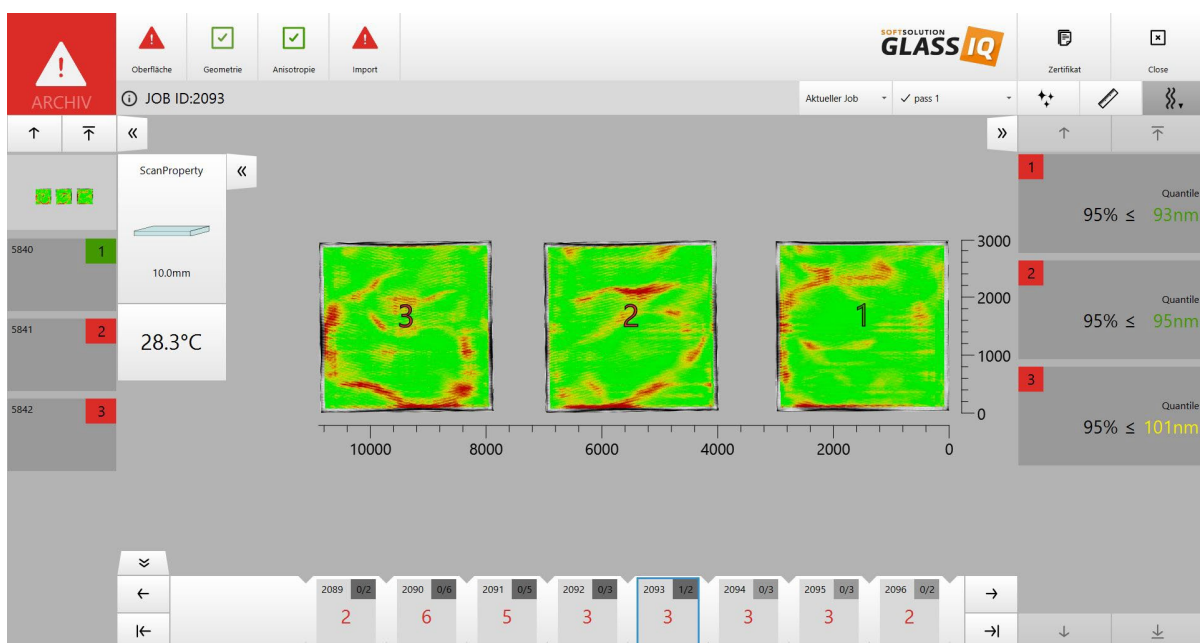
Die Stärke der Einzelgläser und die Anzahl der Glaslagen sind die Hauptfaktoren für die Gesamtintensität der Anisotropien. Bei Gläsern mit spitzen Winkeln, Bohrungen oder Ausfräsungen steigt die Intensität der Irisationserscheinungen zusätzlich an, da sich bei solchen Geometrien die gleichmäßige Erwärmung und Abkühlung noch schwieriger gestaltet als ohnehin schon. Das bedeutet auch: Je größer ein Glas ist und je komplexer seine Form (also das Verhältnis von Ecken, Kanten und Durchbrüchen zur Fläche), desto schwieriger wird es, Anisotropien zu vermeiden. Eine Ausnahme bilden Gläser mit eher quadratischen Abmessungen, denn entgegen allen sonstigen Theorien ist das Quadrat die ungünstigste Form für das Vorspannen. Das Quadrat neigt dazu, im Vorspannofen sehr schnell eine Schale zu bilden, die sich nur langsam wieder entspannt. Dieses Verhalten wirkt sich ungünstig auf die Ausbildung von Anisotropien und die spätere Planität aus. Die Laminationsfolien, insbesondere SGP, haben dagegen einen geringeren Einfluss auf die Anisotropien als bisher angenommen.

2 Unser Scanner im Einsatz

Im April 2020 wurde der sedak Softsolution Scanner am Ofen ESG II (16,5 m) installiert und in Betrieb genommen. Durch gezielte Auswertung der Anisotropieaufnahmen werden seitdem alle Vorspannprogramme für den Ofen optimiert. Das entsprechend optimierte Programm in Bezug auf Dicke, Größe und Form wird gespeichert und für die nächste vergleichbare Ofenfahrt wieder verwendet. So erreichen wir heute das bestmögliche optische Ergebnis unseres Vorspannofens.



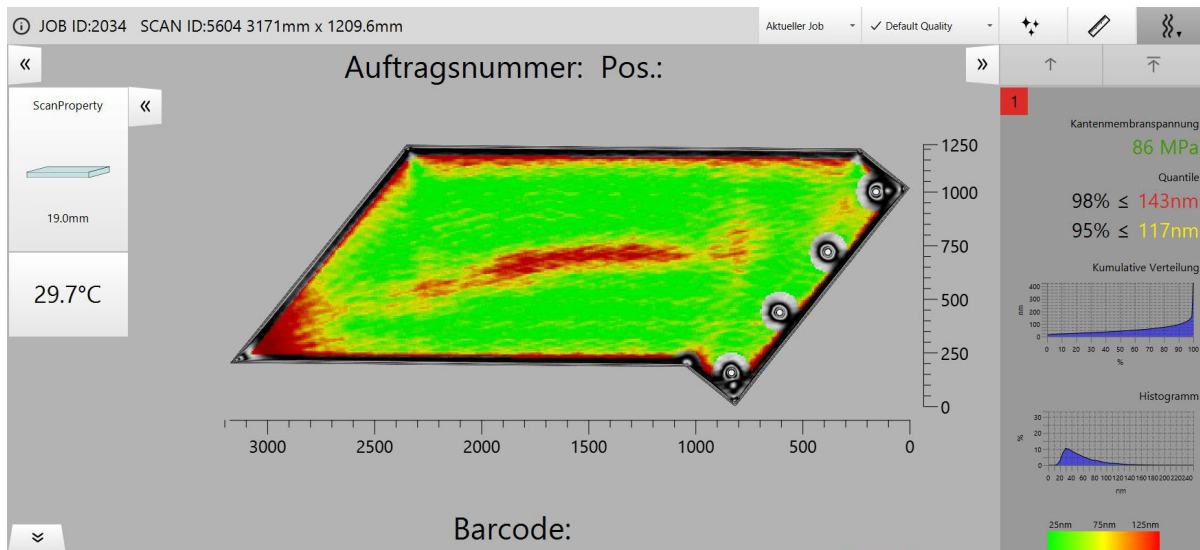
Dieser Scanner dokumentiert alle Gläser die auf unserem Ofen vorgespannt werden.



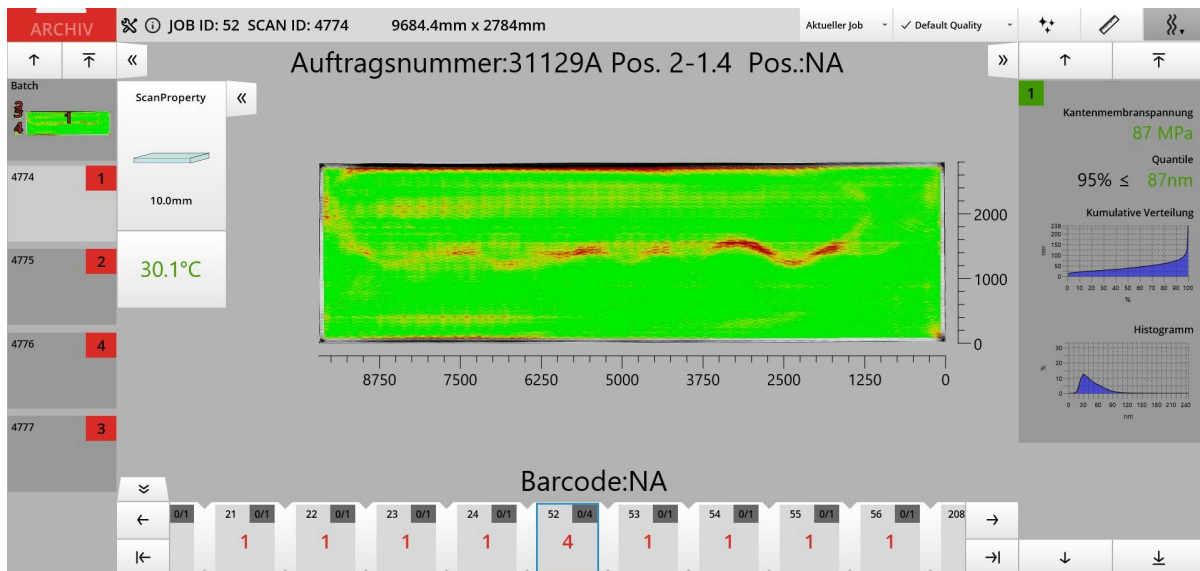
Ausgebildet unseres Anisotropie Scanners mit 3 Gläsern und dem dazu angegebenen 95% Quantil wert.

3 Auswertbereich der Scanner aufnahmen.

Die Randbereiche entlang aller Kanten, Ecken und Bohrungen werden aus der Scanner Aufnahme ausgenommen. Aufgrund des technisch vorgegebenen Spannungszustands treten hier entsprechende Spannungskonzentrationen auf.



Beispielhafte Aufnahme des Scanners mit ausgenommenen Bohrungen und Ecken.



Ein rechteckig geformtes Glas weist in der Regel eine bessere Qualität in Bezug auf die Anisotropie auf.

Beschichtungen und Bedruckungen werden bisher komplett aus der Wertung ausgenommen, da es dafür keine Vergleichbarkeit gibt.

4 Anisotropie in Normen und Regelwerken

In nationalen und internationalen Produktnormen und Regelwerken zur Beurteilung der visuellen Qualität von Glas werden Anisotropien bisher nicht als Fehler oder Defekte bezeichnet, sondern als sichtbare Effekte bzw. Charakteristika von vorgespannten Gläsern, die von der Beurteilung der visuellen Qualität ausgeschlossen sind.

Die neue Amerikanische ANSI C1901 – 21 gibt dazu auch noch nicht viel mehr als erkennbare Rahmenwerte aus:

X2. SUGGESTED MEASURING RANGE, PRECISION AND BIAS

TABLE X2.1 Suggested Measuring Range of Retardation Apparatus

NOTE 1—There are several ways to quantify the optical retardation of an area. Automated acquisition with cameras or line scan bars offer advantages in online operation. Depending on apparatus type and glass application, the technical capabilities of the polarimeter or polariscope can vary.

Usage	Minimum Retardation Range		Precision	Retardation Azimuth	Bias (repeatability)
	Lower	Upper			
Tempering furnace process control, glass <10 mm	0 nm	120 nm	±10 nm	optional	±5 %
Tempering furnace process control, glass 10–19 mm	0 nm	250 nm	±10 nm	optional	±5 %
Computer modeling of anisotropy in building facades	0 nm	according to modeling needs	±5 nm	±4°	±5 %

Entsprechender Auszug aus der ANSI C1901 – 21

Die kürzlich veröffentlichte deutsche DIN SPEC 18198 liefert detailliertere Informationen und unterteilt die Ergebnisse der Anisotropie in einfache Qualitätsstufen bei 95%-Quantilwerten des Verzögerungsmaßes.

6.2 Qualitätsklassen

Den Grenzwerten aus Tabelle 2 und Tabelle 3 liegen Referenzversuche an unbeschichtetem Flachglas zugrunde.

Tabelle 2 — Qualitätsklassen auf Basis der Methode A ($x_{0,95}$)

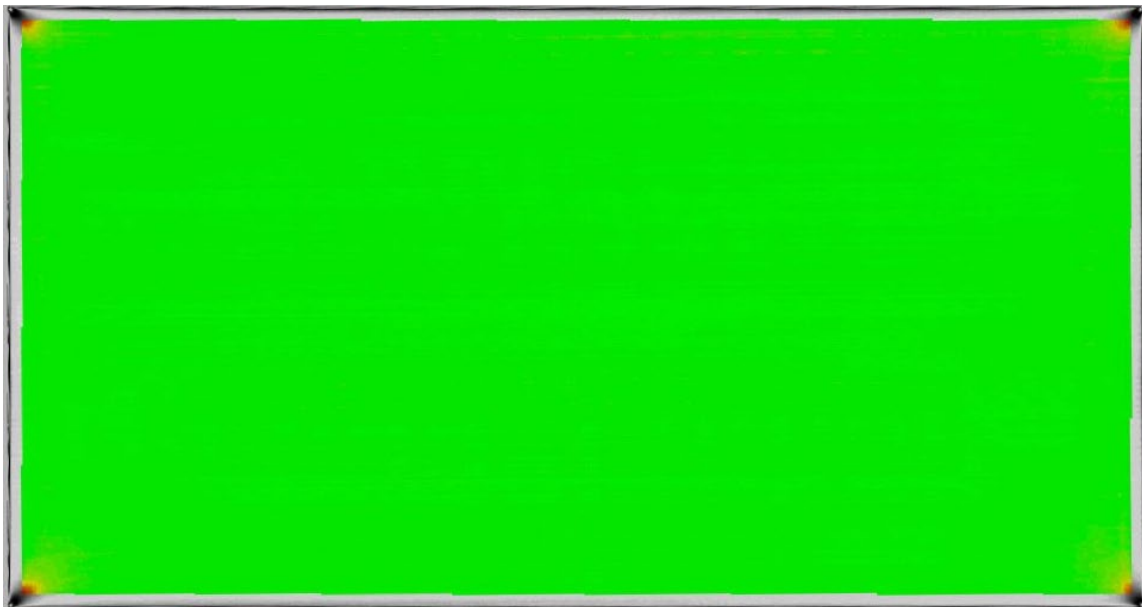
Glasdicke	Qualitätsklasse		
	A	B	C ^a
≤ 6 mm	≤ 70 nm	> 70 nm und ≤ 95 nm	> 95 nm
8 mm	≤ 80 nm	> 80 nm und ≤ 120 nm	> 120 nm
10 mm	≤ 95 nm	> 95 nm und ≤ 140 nm	> 140 nm
12 mm	≤ 115 nm	> 115 nm und ≤ 165 nm	> 165 nm
15 mm	b	b	b
^a	Für Grenzwerte, die höher als die angegebenen Werte sind, und für Gläser ohne Messung.		
^b	Keine Referenzwerte vorhanden; Grenzwerte sind mit Glashersteller abzustimmen.		

Tabelle aus der DIN SPEC 18198 zur Definition verschiedener Qualitätsstufen der Anisotropie bei einem 95%-Quantilwert.

5 Klare Fakten zu unserm tempered+

sedak tempered+ ist das erste vorgespannte Glas ohne sichtbare Anisotropien.

Sedak bietet mit diesem Produkt eine völlig neue Generation von ESG und TVG an. Dieses Glas bietet in Durchsicht und Reflektion keine für das menschliche Auge sichtbare Anisotropien. Dank des revolutionär optimierten und fortschrittlichen Vorspannprozesses erhalten unsere Kunden nun vorgespanntes Glas mit optimalen optischen Eigenschaften aus jedem Blickwinkel und unter allen Lichtverhältnissen.



Anisotropie-Scan eines 6m x 3,2m 10mm tempered+ ESG Glases mit einem 95%-Quantilwert von $\leq 60\text{nm}$.

Nach umfangreichen Forschungen, Tests und Optimierungen unseres Vorspannofens hat sedak bei seinem Vorspannprozess einen deutlich geringeren Verzögerungswert erreicht. Dieser Verzögerungswert gemessen in 'nm' entspricht dem Wert, der von Anisotropie-Scannern pro Pixel gemessen wird. Dies bedeutet, dass 95 % aller gemessenen Pixel der Glasscheibe unter dem angegebenen Verzögerungswert lagen.

Wir können aktuell 95% Quantilwerte erreichen, wie in der folgenden Liste aufgeführt:

Bei einer Glasdicke von 6mm	40nm \pm 15nm
Bei einer Glasdicke von 8mm	50nm \pm 15nm
Bei einer Glasdicke von 10mm	60nm \pm 15nm
Bei einer Glasdicke von 12mm	80nm \pm 15nm

Zusätzlich: Wie das Bild oben zeigt, gibt es keine roten Spannungszonen mehr in der Mitte des Glases! In diesem Bericht sind auf den Seiten 4 und 5 Scans zu sehen, die rote Zonen zeigen, welche vor der Entwicklung unseres tempered+ immer vorhanden waren.

Die Farben dieser Skala erklären die Verzögerungswerte unserer Scaneraufnahmen:

