

DK 666.15:539.213.1:666.11.019.138:666.11.019.23:666.1.031.15:666.1.031.13:532.5

Über die Schichtstruktur des Tafelglases und ihre Störungen

Von HERBERT GOERK, Witten (Ruhr)

(Mitteilung aus dem Chemischen Labor der Deutschen Tafelglas AG, Witten (Ruhr))

(Eingegangen am 25. Juli 1968)

An der Bildung der bekannten Schichtstruktur des Tafelglases sind die Glasströmungen in der Schmelzwanne maßgeblich beteiligt. Geradlinig und parallel verlaufende inhomogene Schichten sind auch dann noch nicht Anlaß zu Sichtverzerrungen und optischen Effekten im Schattenbild der Glastafel, wenn sie zahlreich und von unterschiedlicher Dicke sind und ihre chemische Zusammensetzung beträchtlich von der des Grundglases abweicht. Störungen des geradlinigen und parallelen Verlaufes der Schichten, sogenannte Schichtstörungen, verursachen Sichtverzerrungen und optische Effekte durch Deformation der Oberfläche.

Das Auftreten von Schichtstörungen wurde an drei Fourcault-Tafelglas-Ziehanlagen in zwei Untersuchungen während 100 bzw. 20 Arbeitstagen erfaßt. Für die konkreten technologischen Bedingungen während der Untersuchung zeigte sich ein dominierendes Auftreten nur einer, als „kurze eingeschobene Schichten“ bezeichneten Art von Schichtstörungen. Sie traten bevorzugt an der der zuströmenden Glasmasse entgegengesetzten Seite des Glasbandes, der sogenannten „kalten Seite“, auf. Diese Befunde galten für die untersuchten Ziehanlagen und Ziehmaschinen in unterschiedlichem Maße. Das durchschnittliche Auftreten von Schichtstörungen je 1 m Glasbandbreite wurde für die untersuchten Ziehanlagen und die einzelnen Ziehmaschinen quantitativ ausgewertet. Die Randmaschinen erwiesen sich als anfälliger. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung ergab sich für eine Vielzahl von „kurzen eingeschobenen Schichten“ von den Ziehanlagen I und II eine SiO_2 -Anreicherung, für die Ziehanlage III zu zwei Dritteln eine SiO_2 -Anreicherung und zu einem Drittel eine Al_2O_3 -Anreicherung. Die Ergebnisse und Schlußfolgerungen haben nur für die untersuchten Wannen und die während der Untersuchung herrschenden technologischen Bedingungen Gültigkeit, dürften aber doch als beispielhaft anzusehen sein.

In Glasschmelzwannenöfen laufen die einzelnen Phasen der Glasschmelze, das Schmelzen des Gemenges, das Läutern der Glasmasse, ihre Homogenisierung und das nachfolgende Abkühlen auf die Verarbeitungstemperatur zur gleichen Zeit in den dafür vorgesehenen Wannenabschnitten ab. Durch eine geeignete Konstruktion der Wanne und eine zweckmäßige Betriebsführung muß dafür Sorge getragen werden, daß das Rohstoffgemenge und danach die Glasmasse in richtiger Zeitfolge den einzelnen Wannenabschnitten zugeführt werden. Aus dieser Voraussetzung ergibt sich die entscheidende Rolle, die den Glasströmungen für die Technologie der Glasschmelze in Wannenöfen zukommt. Neben dieser hauptsächlichsten Aufgabe tritt die Bedeutung der Glasströmungen für den Wärmetransport im Glasbad eigentlich zurück. Auch die homogenisierende Wirkung der Glasströmungen sollte allgemein nicht überschätzt werden. Bei der Erzeugung von Tafelglas im Ziehverfahren kommt ihr jedoch eine besondere Bedeutung zu, da für die Erfüllung der hohen Anforderungen an dessen optische Qualität ein relativ hoher Grad der Homogenität der Glasmasse Erfordernis ist.

1. Schichtstruktur des Tafelglases

Über den Homogenitätszustand eines Glases ist eine Aussage allgemein nur indirekt, über das Maß des Auftretens von Inhomogenitäten und Heterogenitäten, möglich. Bei gezogenem Tafelglas ist der typische, geschichtete Aufbau, die Schichtstruktur, ein Abbild der vorhandenen Inhomogenitäten. Bei Betrachtung eines schmalen Streifens gezogenen Tafelglases senkrecht zur Schnittkante, bei mäßiger Vergrößerung, eventuell auch

unter Verwendung eines Immersionsbades, erkennt man regelmäßig verlaufende, unterschiedlich breite Streifen, als zeige das Glas einen geschichteten Aufbau und sei durch Verbindung zahlreicher dünner Folien entstanden. Die Schichtstruktur eignet sich für eine Untersuchung, eine tägliche Kontrolle und eine Kennzeichnung des Homogenitätszustandes der Glasmasse. Hierzu werden besondere Geräte verwendet, z. B. das von SPITZ entwickelte „Testruviskop“ [1, 2] oder das Farbschlierenmikroskop nach SCHARDIN [3, 4].

Das Farbschlierenmikroskop erlaubt eine sehr anschauliche, farbige Kennzeichnung der Schichtung. Die Farbabweichungen gegenüber einer gewählten Grundfarbe, z. B. blau-grün, zeigen die Änderungen der Brechzahl, als Folge einer abweichenden chemischen Zusammensetzung der inhomogenen Schicht, an. Die inhomogenen Schichten sind als solche nicht sichtbar; farbig erscheinen die Zonen des Überganges der chemischen Zusammensetzung der inhomogenen Schicht zu der des Grundglases mit veränderten Brechzahlen, die Diffusionszonen. Die Farbabweichung kann nicht als genaues Maß für die Abweichung von der chemischen Zusammensetzung des Grundglases angenommen werden, doch zeigte es sich, daß starken Farbabweichungen, also inhomogenen Schichten mit steilerem Konzentrationsabfall in der Diffusionszone, allgemein auch größere Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung entsprechen. Bild 1 veranschaulicht noch einmal die Lage der Glasprobe in einer Glastafel und während der Untersuchung.

Die Zusammenhänge der Bildung der Schichtstruktur durch Ausziehen von Inhomogenitäten unter

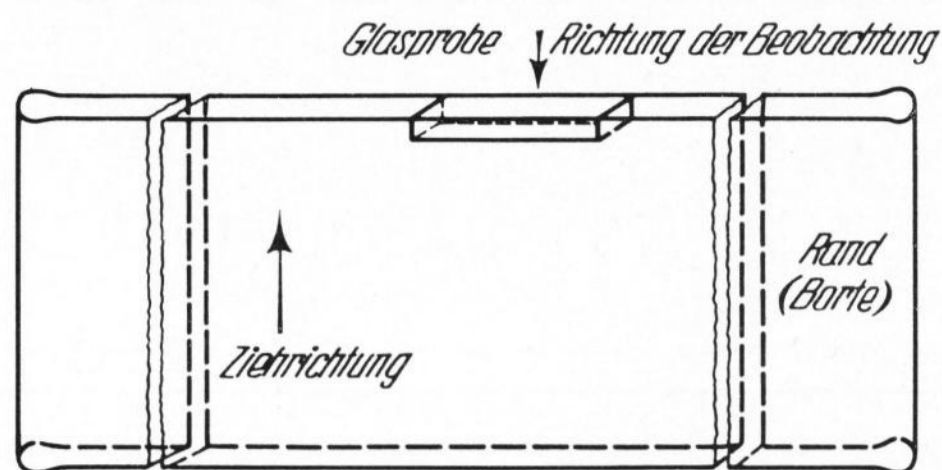


Bild 1. Form und Lage einer Glasprobe in der Glastafel für die schlierenoptische Untersuchung.

der Einwirkung der Glasströmungen sind bereits eingehend von BECKER untersucht und beschrieben worden [5]. Über die Dicke der Schichten in der Schichtstruktur eines Tafelglases liegen ebenfalls Untersuchungen vor [3, 4, 6]. Sie schwankt in weiten Grenzen und liegt zwischen etwa 0,002 und 0,2 mm. BECKER erarbeitete Unterlagen über die mutmaßliche Dicke der Schichten vor ihrem Ausziehen während des Formgebungsprozesses, also im Ziehkanal, und auch über die Ausmaße der Inhomogenitäten, bevor diese durch die Strömungsgradienten während des Durchlaufens durch die Wanne zu dünnen Schichten ausgezogen werden. Denn auf diesen Vorgang gründet sich die Rolle der Glasströmungen für die Homogenisierung der Glasmasse. Eine Inhomogenität beliebiger Form wird durch den Strömungsgradienten zu dünnen Schichten ausgezogen und ist nunmehr mit ihrer, um ein Vielfaches vergrößerten Oberfläche einem Abbau durch Diffusion in entsprechend wirksamerem Maße zugänglich. BECKER [5] beschreibt weiter den Einfluß der Entnahmestromung, die hemmende Wirkung der Grenzflächenspannungen auf den Homogenisierungsvorgang und die Bildung von keilförmigen Schichtstörungen als Folge von Deformationen der inhomogenen Schichten und der nachfolgenden erzwungenen Formgebung durch den Ziehprozeß.

Die Schichtstruktur zeigt allgemein einen geradlinigen und parallelen Verlauf, wenn auch die Anzahl der Schichten, ihre Dicke und die Abweichung ihrer chemischen Zusammensetzung gegenüber der des Grundglases sehr unterschiedlich sein können. Diese Eigenarten der Schichtstruktur begründen aber gerade ihre Eignung für eine Kennzeichnung des Homogenitätszustandes eines Tafelglases. Nach ihnen ist es auch möglich, eine Einstufung vorzunehmen, wie dies z. B. von SPITZ [1] und von BECKER [7] angeregt und auch praktisch eingeführt wurde. Bild 2 zeigt das Beispiel einer empirisch festgelegten Skala von neun verschiedenen Stufen der Schichtstruktur. Die Stufe 0 (Bild 2a) kann für ein Tafelglas wohl als ein idealer Zustand gelten. Die Glasprobe stammt von einem Tafelglas, dessen Glasmasse einen ungewöhnlich hohen Grad der Homogenität aufweist. Deshalb ist die Vermutung berechtigt,

daß zur Homogenisierung künstliche Mittel angewendet wurden. Beginnend mit der Stufe 1 (Bild 2b) geht es jedoch um Tafelgläser, die in herkömmlicher Weise, ohne Anwendung künstlicher Homogenisierungsmittel, geschmolzen wurden. Die Bilder 2b bis 2i zeigen die von Stufe zu Stufe anwachsende Zahl und Intensität der inhomogenen Schichten und damit den sich gleichermaßen verschlechternden Homogenitätszustand der Gläser von der 1. bis zur 8. Stufe.

Es ist bekannt, daß eine geradlinig und parallel durch eine Glastafel verlaufende Schichtung an sich nicht Anlaß zu Verzerrungen bei der Durchsicht oder zu optischen Effekten im Schattenbild gibt [5]. Dies gilt auch für ausgeprägte Schichtstrukturen, mit einer Vielzahl von inhomogenen Schichten, auch großer Dicke und beträchtlichen Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung, also beträchtlichen Konzentrationsunterschieden. Auch Tafelgläser mit einer Schichtstruktur entsprechend den Stufen 4, 5, aber auch 6 oder 7 können eine sehr gute optische Qualität besitzen [8]. Dies gilt nicht mehr für die Stufe 8, welche außer den sehr stark ausgeprägten, aber parallel verlaufenden Schichten auch verschiedentlich Störungen der Schichtstruktur aufweist (Bild 2i).

2. Störungen der Schichtstruktur

In der Praxis kann es durch verschiedene Einflüsse zu Störungen des geradlinigen, parallelen Verlaufes der Schichtstruktur kommen [5, 9]. Solche Störungen der Struktur, Schichtstörungen, können in Art, Form und Intensität in mannigfaltiger Weise auftreten. Einige typische Formen seien in Bild 3 aufgeführt. Bild 3a zeigt eine einzelne, grobe „keilförmige Schichtstörung“, Bild 3b mehrere ineinander geschachtelte, hintereinander auftretende „Keile“. Bild 3c sei ein Beispiel für „keilförmige Schichtstörungen“, die einander gegenüberliegend eine „Z“-förmige Faltung bilden. Eine allmählich „auslaufende Schicht“ (Bild 3d) kann als Grenzfall einer „keilförmigen Schichtstörung“ angesprochen werden. Die Schichten können sich auch gegenseitig „überlappen“ (Bild 3e); sind sie verworfen, ineinander verwickelt oder verzwirbelt, werden sie als „Schichtverwerfungen“ bezeichnet. Bild 3f zeigt eine, in einer sonst praktisch nicht gestörten Schicht auftretende „Schichtverwerfung“ geringer Länge, Bild 3g eine intensive, stark verzwirbelte „Schichtverwerfung“ größerer Länge. Eine typische Abart auftretender Schichtstörungen sind sogenannte „kurze eingeschobene Schichten“ (Bild 3h). Sie besitzen eine Längenausdehnung von etwa 1 bis 5 mm. Sehr kurze „eingeschobene Schichten“, mit linsenförmigem bis fast kugelförmigem Habitus, werden als „Linsen“ erfaßt (Bild 3i). Endlich muß es auch als eine Störung der Schichtstruktur gelten, wenn bei einer

Bilder 2a bis i. Beispiel für eine Einstufung des Homogenitätszustandes eines Tafelglases nach seiner Schichtstruktur, a) Homogenitäts-Stufe 0, b) Homogenitäts-Stufe 1, c) Homogenitäts-Stufe 2, d) Homogenitäts-Stufe 3, e) Homogenitäts-Stufe 4, f) Homogenitäts-Stufe 5, g) Homogenitäts-Stufe 6, h) Homogenitäts-Stufe 7, i) Homogenitäts-Stufe 8.

Bilder 3a bis k. Beispiele typischer Formen von Schichtstörungen,

a) Einzelne, grobe „keilförmige Schichtstörungen“, b) ineinander geschachtelte „keilige Schichtstörungen“, c) „keilförmige Schichtstörungen“ in Z-Faltung, d) „auslaufende Schicht“, e) „sich überlappende Schichten“, f) „Schichtverwerfung“ geringer Länge, g) stark verzwirbelte „Schichtverwerfung“, h) „kurze eingeschobene Schicht“, i) „linsenförmige Schichtstörung“, k) geradlinige Schicht mit Änderung der Konzentration.

Bilder 4a und b. Beispiel für das unterschiedliche Auftreten von Schichtstörungen im Dickenquerschnitt einer Glastafel,

a) Auftreten einer „kurzen eingeschobenen Schicht“ etwa in der Mitte des Dickenquerschnittes, b) Auftreten einer „kurzen eingeschobenen Schicht“ dicht unter der Oberfläche einer Glastafel.

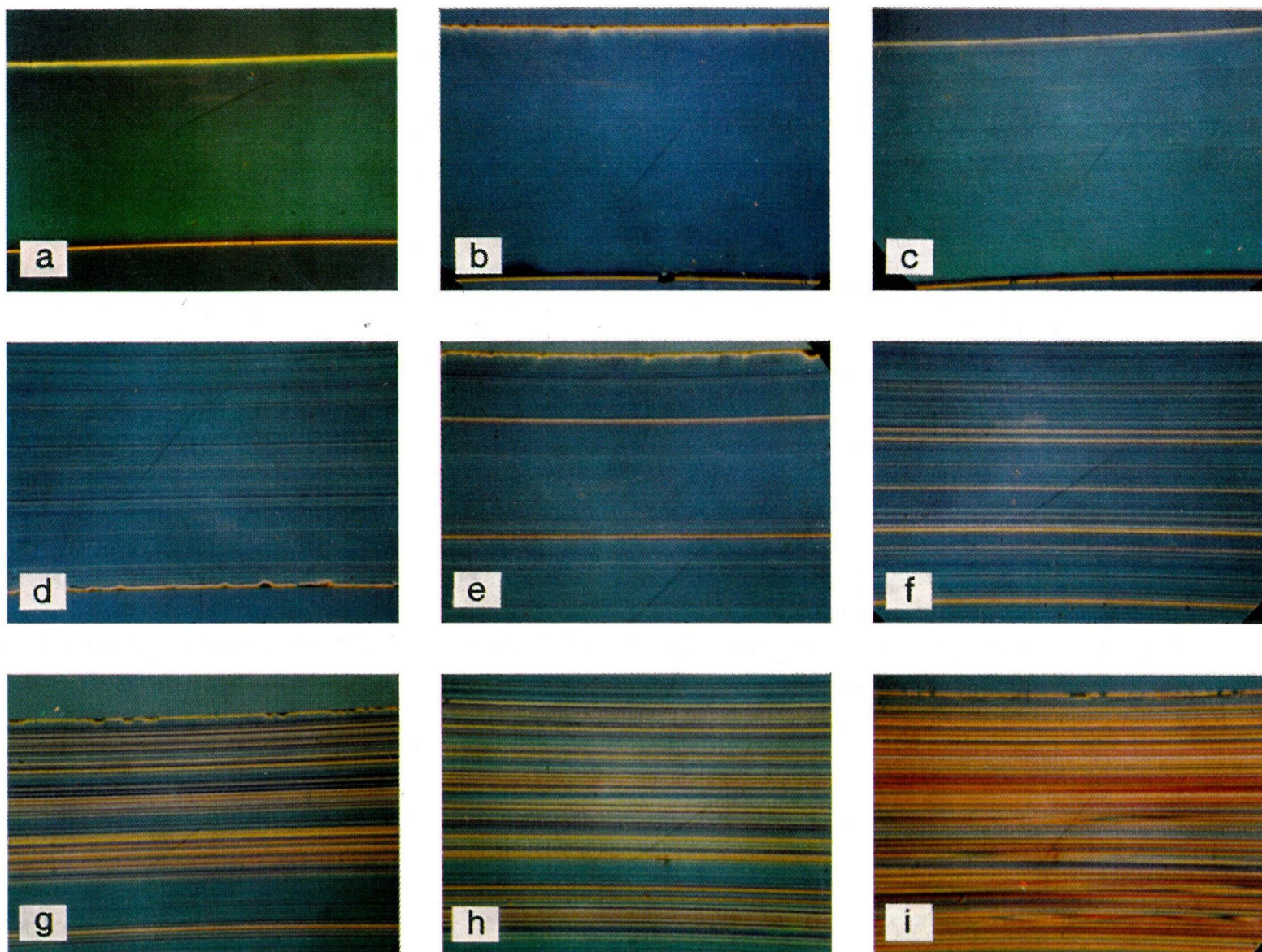


Bild 2.

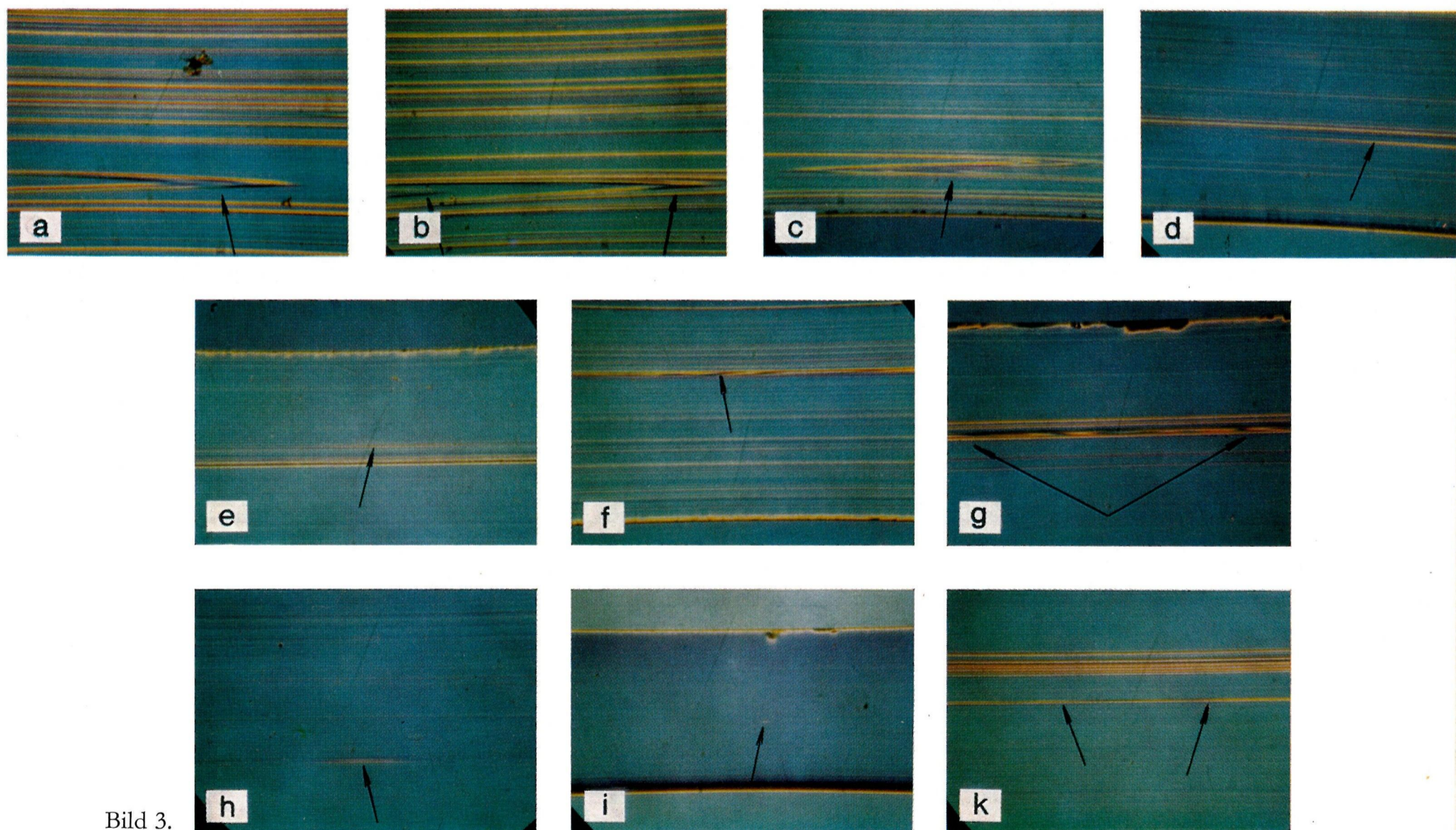


Bild 3.

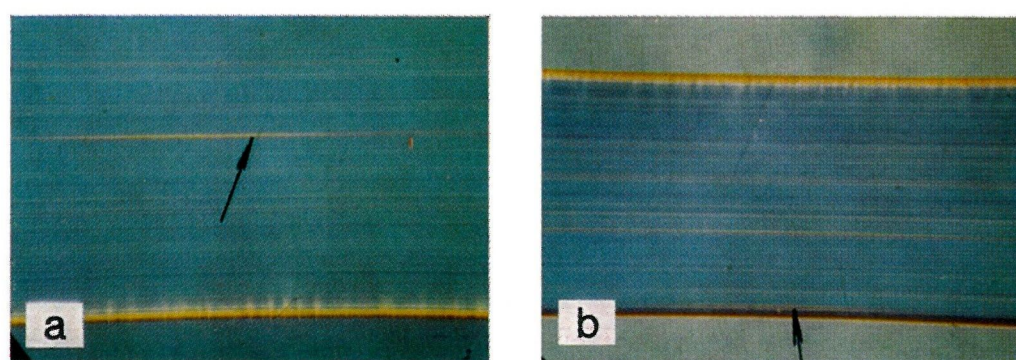


Bild 4.

inhomogenen Schicht der geradlinige und parallele Charakter zwar erhalten ist, in ihrem Verlauf sich aber der Konzentrationsunterschied in beträchtlichem Maße ändert (Bild 3k).

Die Bedeutung solcher Schichtstörungen für die optische Qualität eines Tafelglases kann ebenfalls als bekannt vorausgesetzt und ein Zusammenhang zwischen diesen und optischen Störeffekten im Glas als erwiesen angenommen werden [5, 8, 9]. Ihre Wirkung ist indirekt. Verzerrungen in der Durchsicht und optische Effekte im Schattenbild werden im wesentlichen nicht durch Abweichungen in der Lichtbrechung, als Folge von Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung gegen das Grundglas, verursacht, sondern praktisch nur durch Deformationen der Glasoberfläche. Inhomogene Schichten sind aber auf Grund ihrer unterschiedlichen Viskosität Anlaß für die Entstehung von Oberflächen-deformationen. Dies kann man leicht zeigen, wenn man bei einem Tafelglas mit optischen Effekten die Oberfläche abschleift und poliert oder es in eine Immersionslösung bettet. Die optischen Effekte verschwinden dann praktisch völlig, obwohl die Schichtstörung mit ihrer geänderten Brechzahl bestehen bleibt.

Obwohl diese Zusammenhänge als bekannt gelten können, wurden mehr als 90 ausgewählte Tafelglasproben, jede mit den verschiedensten Schichtstörungen, daraufhin untersucht, ob diese zu Verzerrungen in der Durchsicht und zu optischen Effekten im Schattenbild Anlaß sind. Die Untersuchung brachte keine wesentlichen neuen Gesichtspunkte. Kurz zusammengefaßt, verursachten „keilförmige Schichtstörungen“, sich „überlappende Schichten“, „Schichtverwerfungen“, „kurze eingeschobene Schichten“, „Linsen“ u. a. Verzerrungen in der Durchsicht und optische Effekte im Schattenbild. Der Grad der optischen Störung ist von der Intensität und Ausdehnung der Schichtstörung, der Dicke der gestörten Schicht, von dem Ausmaß der Abweichung in der chemischen Zusammensetzung und von der Lage der Schichtstörung im Tafelquerschnitt abhängig. Nach LÖFFLER [5, 7] genügt bereits eine mit Kieselsäure angereicherte Schichtstörung, größenordnungsmäßig einer Dicke von z. B. 0,1 mm, mit einer Abweichung in der chemischen Zusammensetzung von nur einigen Hundertstel Prozenten, um Anlaß zu Sichtverzerrungen und optischen Effekten zu sein. Bei einer Schichtdicke von 0,01 mm sind schon Abweichungen

von Zehntel Prozent erforderlich, bei Dicken von 0,001 mm schon ganze Prozente, um einen optischen Effekt vergleichbarer Intensität zu verursachen. Allmählich auslaufende Schichten (Bild 3d) sind nur in geringerem Maße die Ursache für optische Störungen.

Die Lage einer Schichtstörung im Glastafelquerschnitt ist gleichfalls von Einfluß auf die Intensität der optischen Störung. Schichtstörungen können über die ganze Dicke des Tafelglases auftreten. Bild 4a zeigt z. B. eine „kurze eingeschobene Schicht“ etwa in der Mitte der Glastafeldicke, Bild 4b ebenfalls eine „kurze eingeschobene Schicht“ dicht an einer der Oberflächen. Die Verteilung der Schichtstörungen über den Tafelquerschnitt ist jedoch keineswegs gleichmäßig; je nach den technologischen Bedingungen treten sie bevorzugt in bestimmten Bereichen der Tafeldicke auf. Hinsichtlich der Intensität einer optischen Störung ist es verständlich, daß eine sich an der Tafeloberfläche oder in deren Nähe befindliche Schichtstörung durch ihre unmittelbare Einwirkung Anlaß zu einer ausgeprägteren Deformation der Oberfläche ist, als eine etwa in der Mitte des Tafelquerschnitts liegende, deren Wirkung durch die sie von der Glasoberfläche trennenden Glasschichten abgeschwächt wird. Eine stark inhomogene Schichtstörung in der Querschnittsmitte wird also mäßiger Deformationen der Oberfläche verursachen, als wenn sie sich dicht bei der Oberfläche befinden würde. Eine schwach auslaufende Schicht braucht bei einer Lage in der Tafelmittle keine optischen Störungen mehr hervorzurufen, während sie in der Nähe der Oberfläche doch noch solche bewirkt.

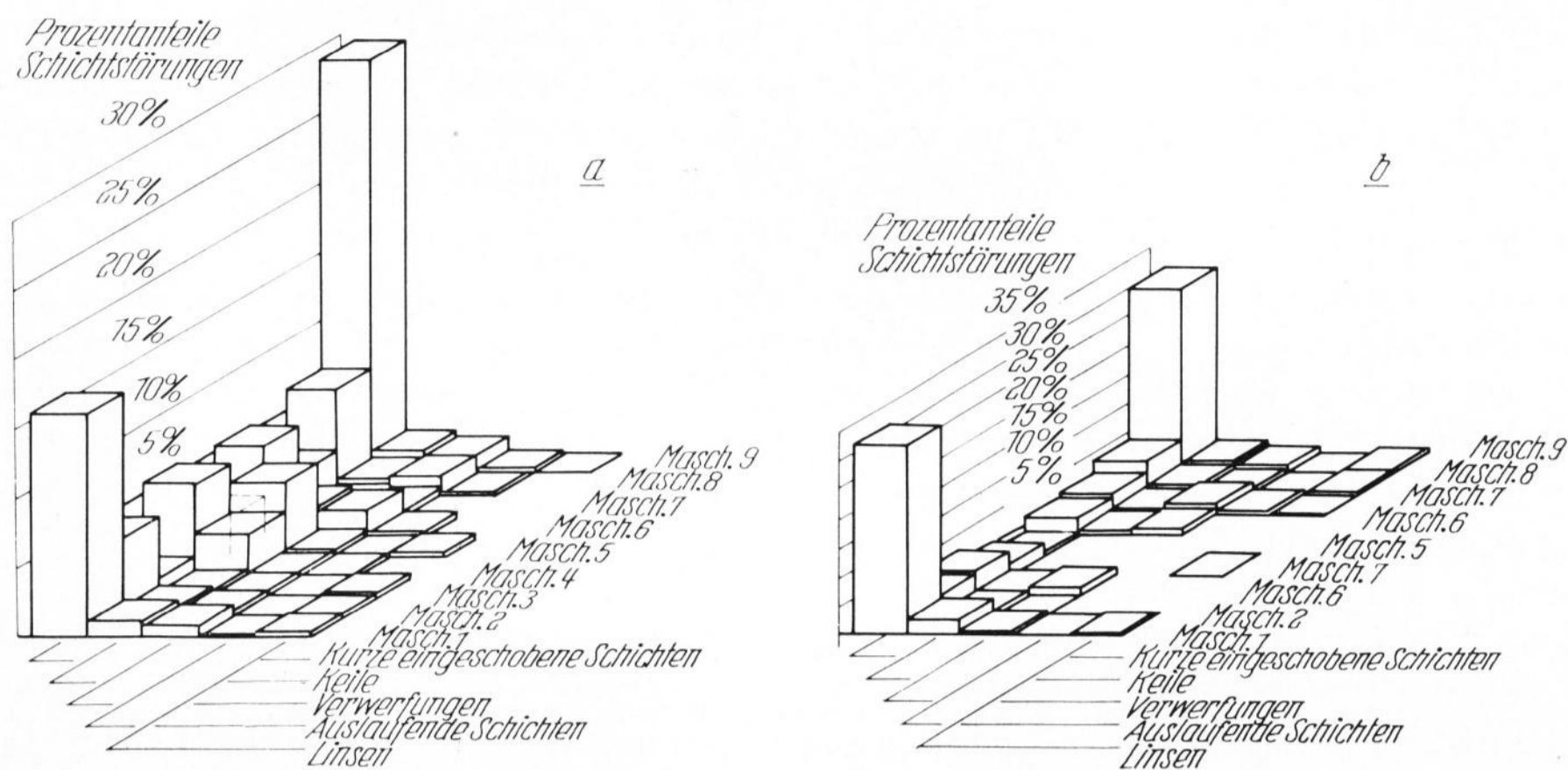
3. Auftreten der Schichtstörungen

Nachdem nun die Bedeutung der Schichtstörungen für die optische Qualität eines Tafelglases erläutert worden ist, soll versucht werden, Aufschluß über ihre Anzahl und die Art ihres Auftretens zu erlangen.

Es wurden zwei Untersuchungen durchgeführt. Bei der ersten wurde an zwei großen Fourcault-Tafelglas-Ziehanlagen während 100 Arbeitstagen das Auftreten von Schichtstörungen ermittelt. Beiden Ziehanlagen steht der gleiche Brennstoff — Koksofengas — zur Verfügung, und beide werden mit dem gleichen Rohstoffgemenge beschickt. Die technologischen Bedingungen des Betriebes sind ähnlich, in manchen Belangen gleich. Bei der zweiten Untersuchung wurde das Auftreten von

Tabelle 1. Homogenitätszustand des Glases (erste Untersuchung)

Maschine	Einstufung des Homogenitätszustandes					
	Tafelglas-Ziehanlage I			Tafelglas-Ziehanlage II		
	Durchschnittswert	Beste Einstufung	Schlechteste Einstufung	Durchschnittswert	Beste Einstufung	Schlechteste Einstufung
1	3,5	2,9	5,3	3,3	2,6	4,3
2	3,6	3,0	5,7	3,4	2,4	4,6
3	3,3	1,7	4,5	3,4	2,3	4,5
4	3,3	2,3	5,0	2,8	1,4	4,6
5	3,0	2,4	4,1	2,4	1,0	4,3
6	3,4	2,8	5,1	2,7	1,0	4,0
7	3,2	2,1	4,2	3,1	2,2	4,4
8	3,4	2,2	4,4	3,4	1,9	4,8
9	3,4	2,7	4,5	3,2	2,2	4,8
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Maschinen 1 bis 9	3,4	2,4	4,7	3,1	1,9	4,5



Bilder 5 a und b. Auftreten von Schichtstörungen an den Tafelglas-Ziehanlagen I und II (erste Untersuchung),
 a) Ziehanlage I,
 b) Ziehanlage II.

Schichtstörungen an den gleichen Ziehanlagen während eines etwas späteren Zeitraumes von 20 Arbeitstagen in gleicher Weise ermittelt und das Ergebnis mit einer dritten großen Fourcault-Tafelglas-Ziehanlage verglichen. Diese arbeitet unter etwas anderen technologischen Bedingungen; das Gemenge setzt sich aus anderen Rohstoffen zusammen, und als Brennstoff dient Heizöl. Zum Unterschied zu den beiden ersten verwendet die dritte kein Schwimmerpaar. So sollte durch Wiederholung der Untersuchung die Konstanz des Auftretens der Schichtstörungen geprüft und außerdem der Einfluß von Unterschieden in den technologischen Bedingungen studiert werden.

3.1. Auftreten von Schichtstörungen in Tafelglas bei ähnlichen technologischen Bedingungen

Bei der ersten Untersuchung wurden an zwei großen Fourcault-Tafelglas-Ziehanlagen während 100 Arbeitstagen täglich Probestreifen von allen neun Ziehmaschinen entnommen und diese mit dem Schlierenmikroskop untersucht.

Zunächst wurde die Schichtstruktur nach einer konventionellen Routinemethode im Sinne einer Einstufung nach den Bildern 2a bis 2i beurteilt und mit entsprechenden „Homogenitätswerten“ bewertet. Man erhält einen guten Überblick über die Art und Intensität der inhomogenen Schichten, als Maß für den Homo-

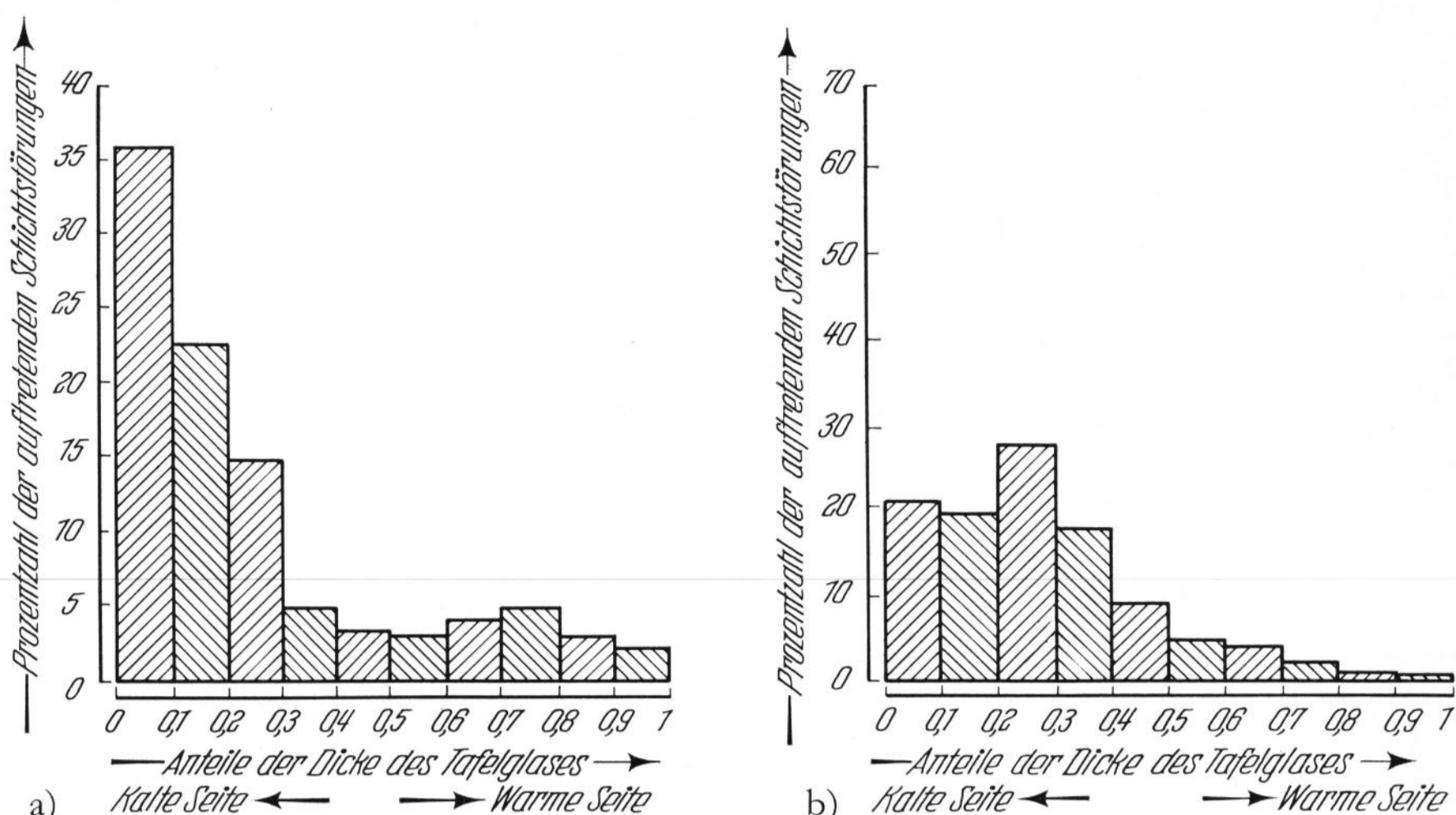
genitätszustand des Glases. In Tabelle 1 sind der Durchschnittswert aller Ziehmaschinen für die Tafelglas-Ziehanlagen I und II und die Homogenitätswerte für die einzelnen Ziehmaschinen aufgeführt. Sie enthält die Mittelwerte für die untersuchten 100 Arbeitstage sowie die Höchst- und Mindestwerte. Sie läßt deutlich die Unterschiede erkennen, die bei den einzelnen Ziehmaschinen auftraten. Sind es bei der Tafelglas-Ziehanlage I die Maschinen 5, 3 und 7, welche den besten Homogenitätszustand aufwiesen, so sind dies bei der Ziehanlage II die Maschinen des Mittelkreuzes, die Maschinen 4, 5 und 6.

Aufgabe der durchgeführten Untersuchung war es aber vor allem, das Auftreten von Schichtstörungen für die wichtigsten ihrer Erscheinungsformen gesondert zu erfassen und ihre Lage im Glastafelquerschnitt zu bestimmen. Es waren dies „kurze eingeschobene Schichten“ (Bild 3h), „keilförmige Schichtstörungen“ (Bilder 3a bis 3c), „Schichtverwerfungen“ (Bilder 3f und 3g), „auslaufende Schichten“ (Bild 3d) und „Linsen“ (Bild 3i). Das Ergebnis ist für beide Tafelglas-Ziehanlagen in Bild 5 dargestellt. Als wichtige Feststellung ergab sich, daß unter den gegebenen technologischen Bedingungen eine Art der Schichtstörung dominierte, und zwar die als „kurze eingeschobene Schichten“ bezeichnete. In Tabelle 2 ist das Auftreten der einzelnen Arten der Schichtstörungen für beide Ziehanlagen gegenübergestellt. Wichtig ist weiter, daß das Auftreten der einzelnen Arten der Schichtstörungen

Tabelle 2. Auftreten der wichtigsten Schichtstörungen in % (erste Untersuchung)

Maschine	Art der Störung									
	Tafelglas-Ziehanlage I					Tafelglas-Ziehanlage II				
	Kurze eingeschobene Schichten	Keilförmige Störungen	Schichtverwerfungen	Auslaufende Schichten	Linsen	Kurze eingeschobene Schichten	Keilförmige Störungen	Schichtverwerfungen	Auslaufende Schichten	Linsen
1	16,0	1,1	0,81	0,03	0,23	32,8	2,54	0,51	0,07	0,14
2	5,6	0,6	0,39	0	0,03	3,5	0,37	0,07	0	0
3	1,3	0,3	0,22	0,03	0,11	3,7	0,30	0,14	0	0
4	6,6	3,0	0,23	0,03	0	2,7	0	0	0	0,07
5	2,7	5,1	0,30	0	0,19	0,1	0	0	0	0
6	6,2	1,9	1,81	0,31	0	2,9	0,30	0,36	0	0
7	2,9	0,5	0,03	0	0	3,7	0,50	1,86	0,51	0,14
8	8,3	0,9	1,14	0,11	0	5,7	1,07	0,65	0,14	0,21
9	22,9	1,7	1,15	0,29	0,03	31,3	1,73	0,86	0,07	0,93
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Maschinen 1 bis 9	79,5	15,2	4,0	0,8	0,6	86,4	6,80	4,50	0,80	1,50

Bilder 6a und b. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Durchschnitt aller Ziehmaschinen 1 bis 9 — erste Untersuchung),
a) Ziehanlage I, b) Ziehanlage II.



bei den einzelnen Maschinen unterschiedlich war. Bei den Randmaschinen erschienen Schichtstörungen am häufigsten. Bei der Tafelglas-Ziehanlage I (Bild 5a) sind diese gefolgt von den Maschinen 2, 4, 6 und 8; die wenigsten Schichtstörungen traten an den Maschinen 3 und 7 auf. Die Maschine 5 zeigte als Besonderheit, daß „kurze eingeschobene Schichten“ nur in geringem Maße auftraten, dafür aber „keilförmige Schichtstörungen“ überwogen. Bei der Tafelglas-Ziehanlage II (Bild 5b) zeigten die mittleren Maschinen nur ein geringes Auftreten von Schichtstörungen und, beginnend mit den Maschinen 2 und 8, ein beinahe symmetrisches Abfallen

des Auftretens von Schichtstörungen bis zur Maschine 5, welche die wenigsten Störungen aufwies.

Für die Bestimmung der Lage der Schichtstörungen und ihrer Verteilung über den Dickenquerschnitt des Tafelglases wurde dieser in 10 Teile aufgeteilt, von 0 bis 0,1 bis 0,9 bis 1. Bild 6 zeigt die Verteilung der auftretenden Schichtstörungen für die Tafelglas-Ziehanlagen I und II als Durchschnitt für alle Ziehmaschinen 1 bis 9. Auffallend ist, daß die Schichtstörungen bevorzugt an der Seite des Glasbandes auftraten, die während des Ziehprozesses der zuströmenden Glasmasse abgewendet ist, der sogenannten „kalten Seite“. Allgemein

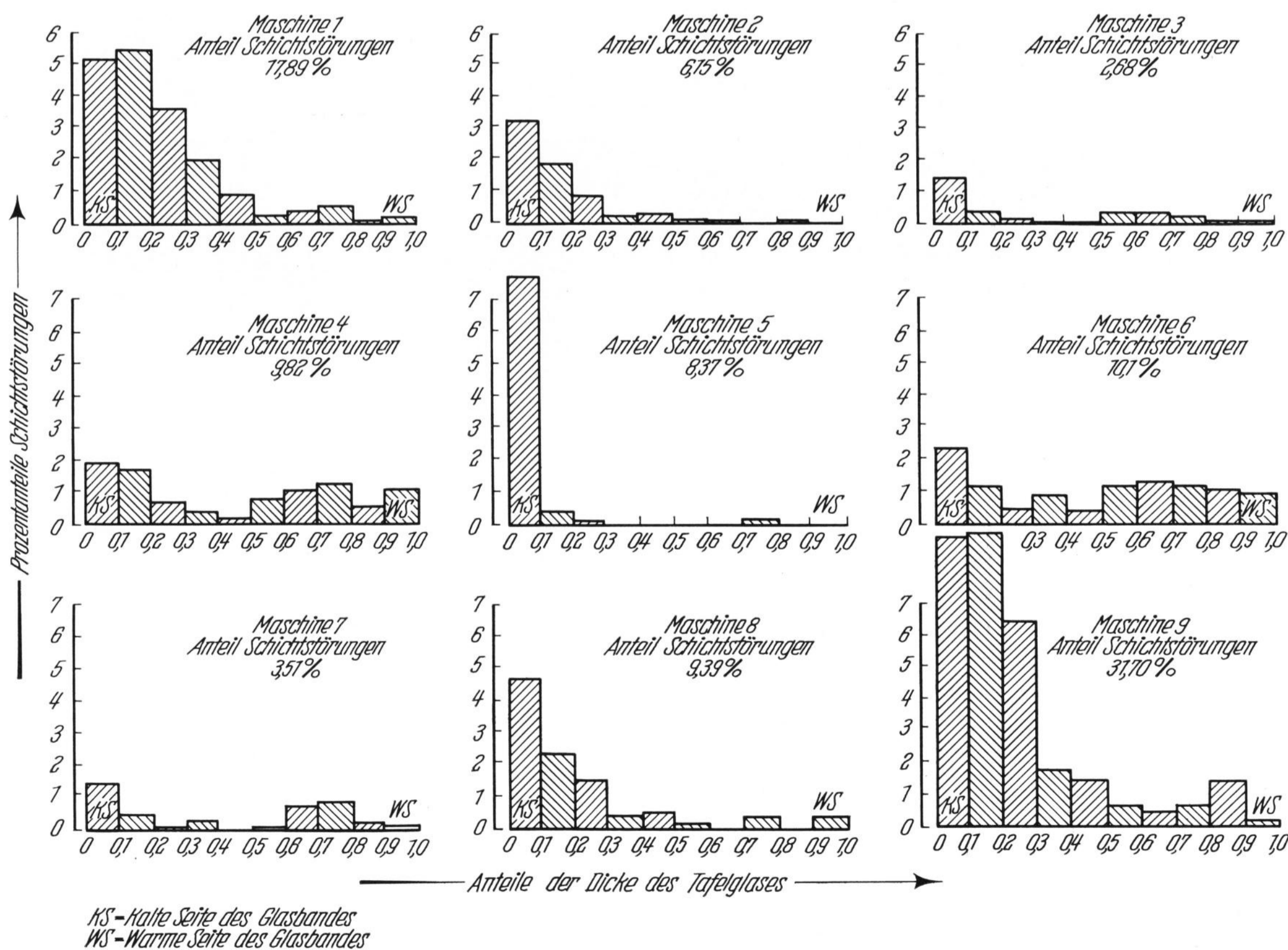


Bild 7. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Tafelglas-Ziehanlage I — erste Untersuchung).

Tabelle 3. Verteilung der Schichtstörungen über die Dicke des Tafelglases in %
(Tafelglas-Ziehanlage I — erste Untersuchung)

Maschine	Gesamte Dicke	Anteil der Dicke des Tafelglases									
		0—0,1	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1
1	17,89	5,17	5,54	3,61	1,40	0,82	0,25	0,37	0,53	0,08	0,12
2	6,65	3,20	1,89	0,82	0,16	0,25	0,12	0,08	0	0,04	0
3	2,68	1,40	0,33	0,12	0,04	0,04	0,25	0,29	0,21	0	0
4	9,82	1,93	1,72	0,66	0,45	0,21	0,78	1,07	1,27	0,62	1,11
5	8,37	7,71	0,37	0,08	0	0	0	0	0,21	0	0
6	10,10	2,34	1,15	0,41	0,78	0,29	1,03	1,23	1,07	0,94	0,86
7	3,51	1,31	0,37	0,04	0,16	0	0,04	0,66	0,78	0,08	0,09
8	9,30	4,06	2,29	1,48	0,37	0,45	0,08	0,04	0,29	0,04	0,29
9	31,70	8,95	9,07	7,63	1,72	1,40	0,66	0,41	0,62	1,23	0,04
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Masch. 1 bis 9	100,00	36,06	22,73	14,85	5,09	3,45	3,20	4,14	4,97	3,04	2,46

„Kalte Seite“ ← Glasband → „Warme Seite“

zeigte sich eine Abnahme des Auftretens von Schichtstörungen gegen die Glasbandseite, die der zuströmenden Glasmasse zugewendet ist, der „warmen Seite“. Während jedoch an der Tafelglas-Ziehanlage I (Bild 6a) das häufigste Auftreten in unmittelbarer Nähe der Glasoberfläche an der „kalten Seite“ zu finden war und von dieser bis etwa zur Mitte der Glastafeldicke stetig abnahm, waren die Schichtstörungen bei der Ziehanlage II (Bild 6b) viel gleichmäßiger über die Hälfte der Glastafeldicke auf der „kalten Seite“ verteilt.

Die Verteilung der Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt ist für die einzelnen Ziehmaschinen natürlich auch nicht gleichmäßig. Bild 7 zeigt für die Tafelglas-Ziehanlage I und Bild 8 für die Ziehanlage II, daß die Verteilung im Gegenteil sehr unterschiedlich sein kann. Bei den Maschinen mit höherem Anfall an Schichtstörungen überwog allgemein ihr Auftreten auf der „kalten Seite“. Tabelle 3 und 4 enthalten ziffernmäßig die Prozentanteile der aufgetretenen Schichtstörungen als Unterlage für die Bilder 6, 7 und 8.

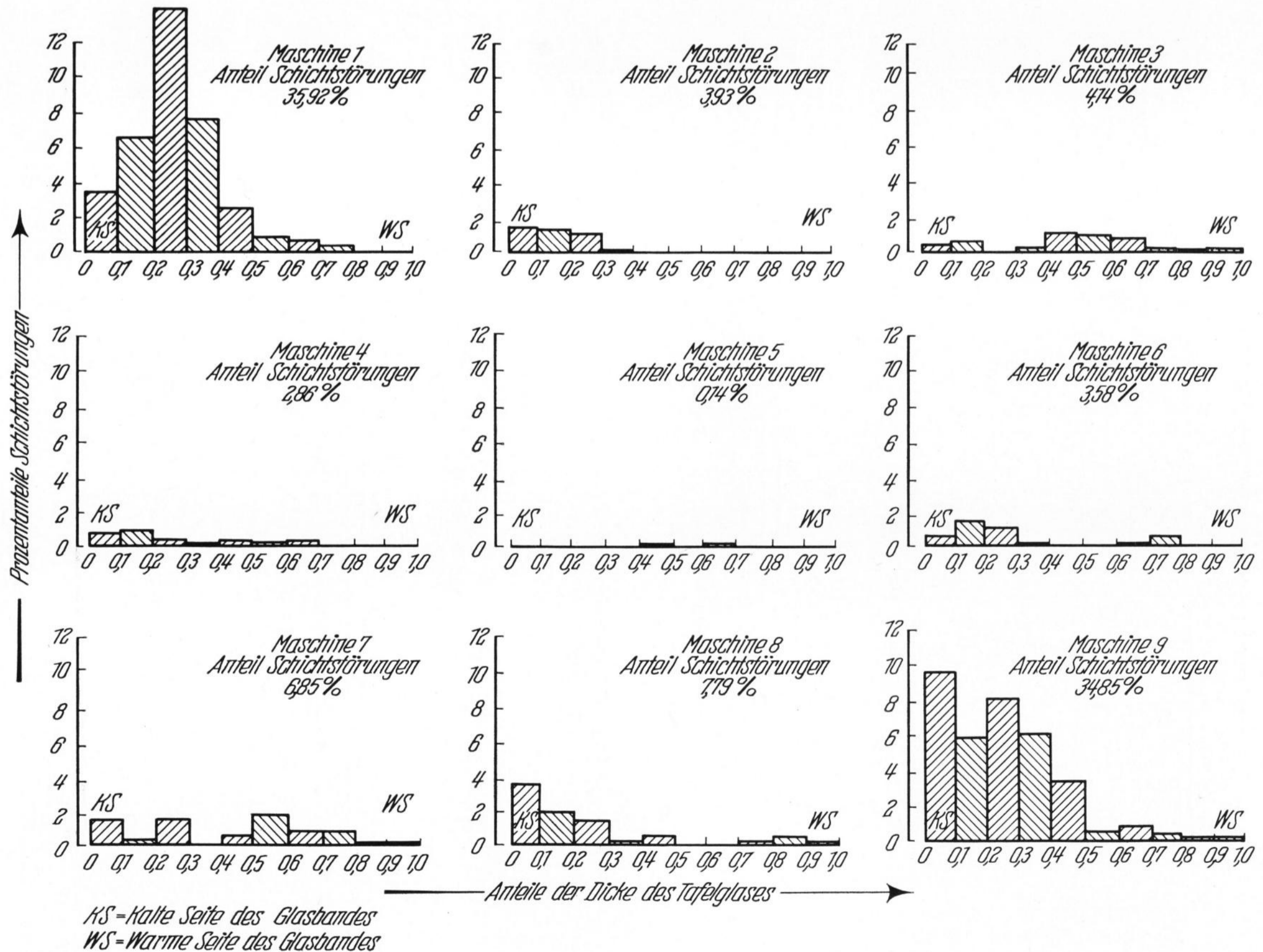


Bild 8. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Tafelglas-Ziehanlage II — erste Untersuchung).

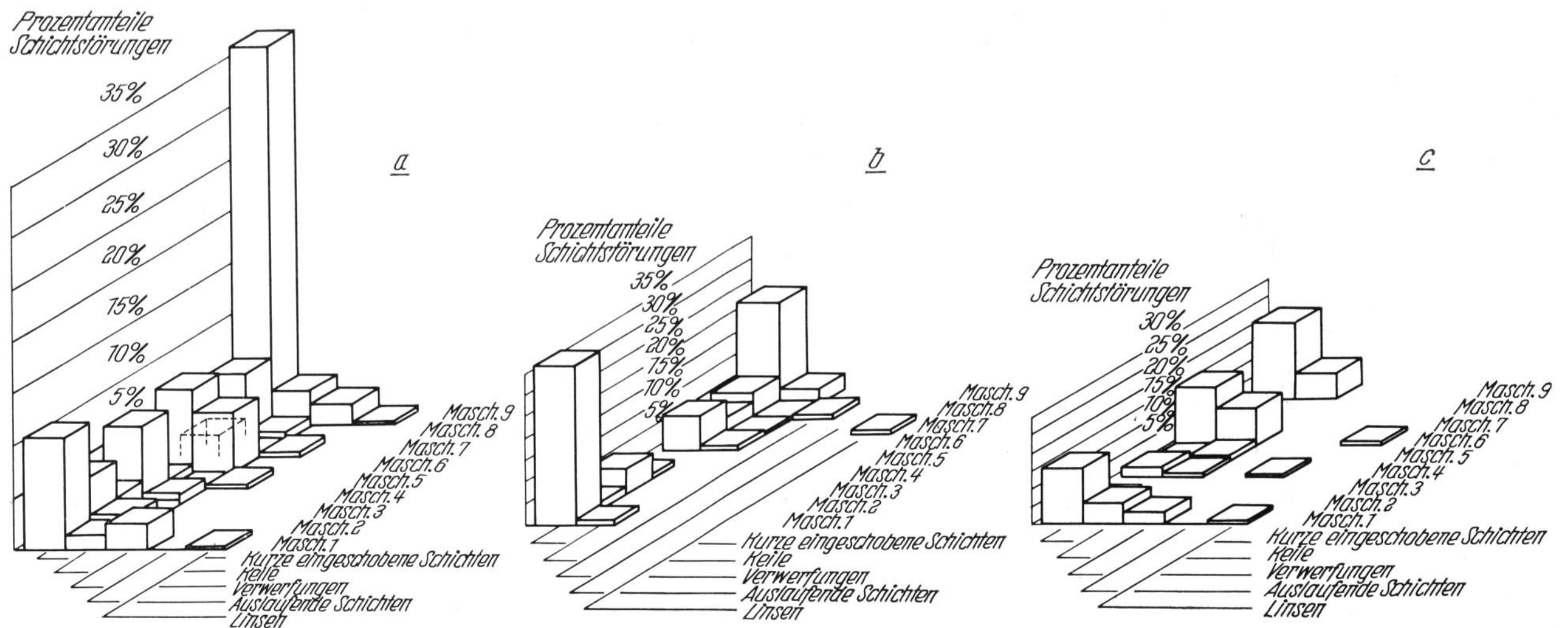
Tabelle 4. Verteilung der Schichtstörungen über die Dicke des Tafelglases in % (Tafelglas-Ziehanlage II — erste Untersuchung)

Maschine	Gesamte Dicke	Anteil der Dicke des Tafelglases									
		0—0,1	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1
1	35,92	3,43	6,51	13,80	7,30	2,65	1,01	0,93	0,29	0	0
2	3,93	1,43	1,29	1,14	0	0	0	0	0	0	0
3	4,14	0,29	0,43	0	0,14	1,14	1,07	0,93	0,14	0	0
4	2,86	0,64	0,93	0,43	0,07	0,36	0,14	0,29	0	0	0
5	0,14	0	0	0	0	0,07	0	0,07	0	0	0
6	3,58	0,64	1,29	1,01	0,07	0	0	0,07	0,50	0	0
7	6,85	1,36	0,36	1,43	0	0,50	1,57	0,79	0,79	0	0,21
8	7,79	3,43	1,86	1,43	0,21	0,43	0	0	0,07	0,36	0
9	34,85	9,66	5,94	8,08	6,01	3,51	0,57	0,79	0,29	0	0
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Masch. 1 bis 9	100,00	20,88	18,59	27,32	13,87	8,66	4,36	3,72	2,00	0,36	0,21

„Kalte Seite“ ← Glasband → „Warme Seite“

Tabelle 5. Homogenitätszustand des Glases (zweite Untersuchung)

Maschine	Einstufung des Homogenitätszustandes								
	Tafelglas-Ziehanlage I			Tafelglas-Ziehanlage II			Tafelglas-Ziehanlage III		
	Durchschnittswert	Beste Einstufung	Schlechteste Einstufung	Durchschnittswert	Beste Einstufung	Schlechteste Einstufung	Durchschnittswert	Beste Einstufung	Schlechteste Einstufung
1	3,8	3,2	5,1	3,2	2,8	3,5	3,3	2,7	4,0
2	3,9	3,2	5,7	3,5	3,1	3,9	3,4	2,8	4,7
3	3,6	3,0	4,5	3,5	2,7	4,0	3,0	1,6	4,0
4	3,5	2,9	4,2	2,5	1,2	3,4	3,5	3,1	4,0
5	3,0	2,4	3,7	2,0	1,3	2,9	3,5	3,0	4,2
6	3,6	3,1	4,4	2,4	1,3	3,2	3,6	3,0	4,4
7	3,4	2,7	4,1	3,1	2,5	4,2	nicht untersucht		
8	3,7	3,1	4,4	3,4	3,0	4,1	3,3	2,7	3,9
9	3,7	3,2	4,2	3,1	2,6	3,7	3,5	2,8	4,2
Gesamte Anlage: Durchschnitt d. Maschinen 1 bis 9	3,6	2,9	4,5	3,0	2,3	3,7	3,4	2,7	4,2



Bilder 9a bis c. Auftreten von Schichtstörungen an den Tafelglas-Ziehanlagen I, II und III (zweite Untersuchung), a) Ziehanlage I, b) Ziehanlage II, c) Ziehanlage III.

Tabelle 6. Auftreten der wichtigsten Schichtstörungen in % (zweite Untersuchung)

Maschine	Tafelglas-Ziehanlage I					Tafelglas-Ziehanlage II					Tafelglas-Ziehanlage III				
	Kurze eingeschobene Schichten	Keilförmige Störungen	Schichtverwerfungen	Auslaufende Schichten	Linsen	Kurze eingeschobene Schichten	Keilförmige Störungen	Schichtverwerfungen	Auslaufende Schichten	Linsen	Kurze eingeschobene Schichten	Keilförmige Störungen	Schichtverwerfungen	Auslaufende Schichten	Linsen
1	10,96	1,40	2,56	0	0,23	37,7	1,14	0	0	0	16,7	6,25	3,47	0	0,69
2	5,36	1,86	0	0	0	2,3	0	0	0	0	2,78	0	0	0	0
3	2,10	0,23	0	0	0	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0,69	0
4	7,46	0,93	0,23	0	0	1,7	0	0	0	0	4,17	1,39	0	0	0
5	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,39	2,08	0	0	0
6	8,6	5,8	0,47	0	0	8,0	1,14	0	0	0	17,4	11,8	0	0	0
7	2,1	0,23	0,23	0	0	4,6	0,57	0	0	1,14	nicht untersucht				
8	6,3	0,93	0	0	0	6,9	0,57	1,14	0	0	0	0	0	0	0
9	36,4	3,03	1,63	0,23	0	23,4	3,43	0	0	0	22,2	8,3	0	0	0
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Maschinen 1 bis 9	79,96	14,45	5,13	0,23	0,23	90,86	6,86	1,14	0	1,14	64,58	29,86	3,47	0,69	1,39

3.2. Konstanz des Auftretens von Schichtstörungen und Einfluß abweichender technologischer Bedingungen

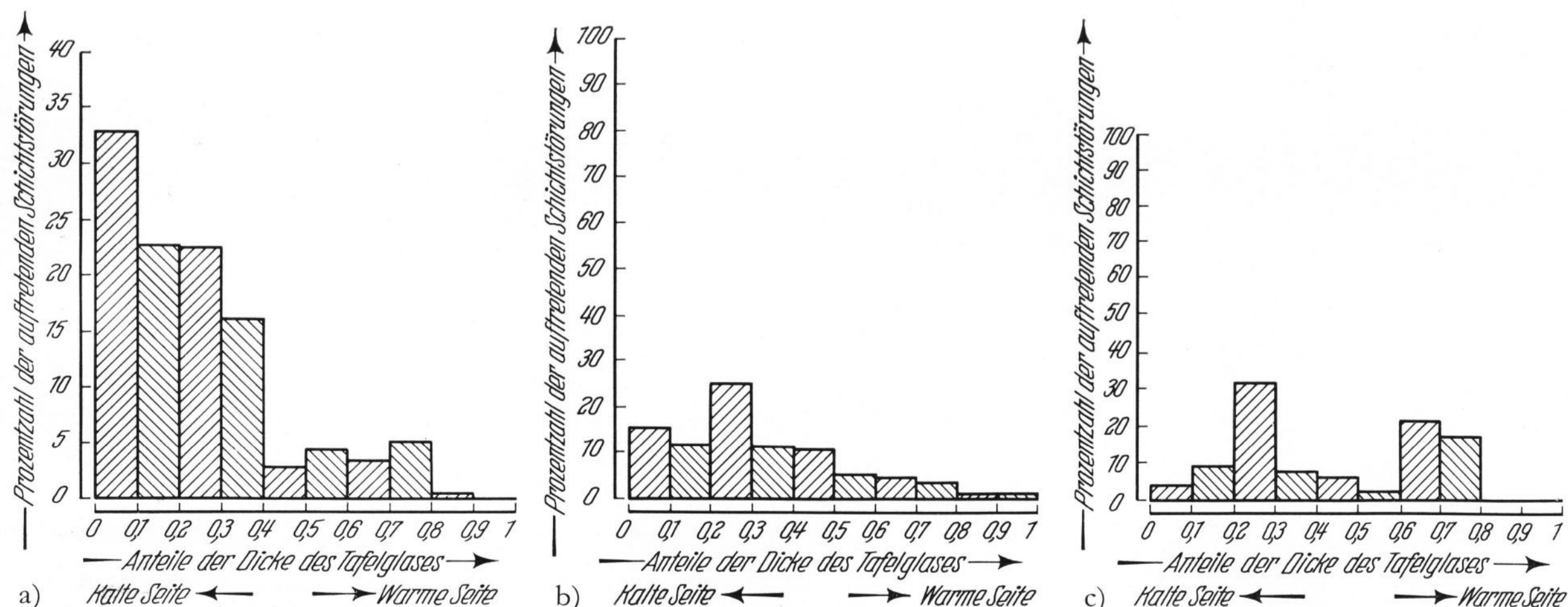
Bei der zweiten Untersuchung wurde an den Tafelglas-Ziehanlagen I und II das Auftreten von Schichtstörungen nach der gleichen Methode für einen Zeitabschnitt von 20 Arbeitstagen wiederholt. Außerdem wurde noch eine Tafelglas-Ziehanlage III herangezogen, die unter etwas abweichenden technologischen Bedingungen (Abschnitt 3.) betrieben wird.

Über den Homogenitätszustand des Glases gibt für alle drei untersuchten Tafelglas-Ziehanlagen Tabelle 5 Aufschluß. Ziehanlage II zeigt die günstigsten Werte; Ziehanlage III nimmt eine mittlere Stellung ein. Im Vergleich mit der vorangegangenen Untersuchung (vgl. Tabelle 1) sind die Unterschiede geringfügig, die Ziehanlage I zeigt eine leichte Verschlechterung, die Ziehanlage II eine geringe Verbesserung.

Das Auftreten von Schichtstörungen wurde wieder nach der gleichen Methode untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 9, im gleichen Maßstab wie in Bild 5, dargestellt. Die Anzahl der Schichtstörungen ist bei der Tafelglas-Ziehanlage I (Bild 9a) praktisch gleich geblieben, sie verringerte sich um etwa 2,1%. Bei der

Ziehanlage II (Bild 9b) hat sie sich beträchtlich, um etwa 30,4%, verringert. Die Ziehanlage III (Bild 9c) erwies sich als am wenigsten anfällig für das Auftreten von Schichtstörungen (siehe auch Tabelle 10). Der Charakter des Auftretens von Schichtstörungen blieb bei den Tafelglas-Ziehanlagen I und II praktisch unverändert. Für die Anteile der erfaßten Schichtstörungen ergaben sich unwesentliche Abweichungen. Tafelglas-Ziehanlage III zeigte ein etwas geändertes Bild. Der Prozentanteil an „keilförmigen Schichtstörungen“ ist höher, beträgt fast ein Drittel des gesamten Anfalles. Bei dieser Anlage waren auch nicht nur die Randmaschinen am anfälligsten für Schichtstörungen; dazu kam Maschine 6. Tabelle 6 erlaubt einen ziffernmäßigen Vergleich dieser Feststellungen.

Für die Lage der Schichtstörungen im Glastafelquerschnitt gilt für die Tafelglas-Ziehanlagen I und II (Bild 10) praktisch das gleiche wie bei der ersten Untersuchung (Abschnitt 3.1.). Die Bilder 10a und b zeigen, daß wieder die „kalte Seite“ bevorzugt wurde, mit den gleichen, bereits beschriebenen Unterschieden in der Charakteristik. Die Tafelglas-Ziehanlage III (Bild 10c) zeigte demgegenüber deutlich eine größere Gleichmäßigkeit der Verteilung der Schichtstörungen über den ganzen Querschnitt.



Bilder 10a bis c. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases. Tafelglas-Ziehanlagen I, II und III (Durchschnitt aller Ziehmaschinen 1 bis 9 — zweite Untersuchung),

a) Ziehanlage I, b) Ziehanlage II, c) Ziehanlage III.

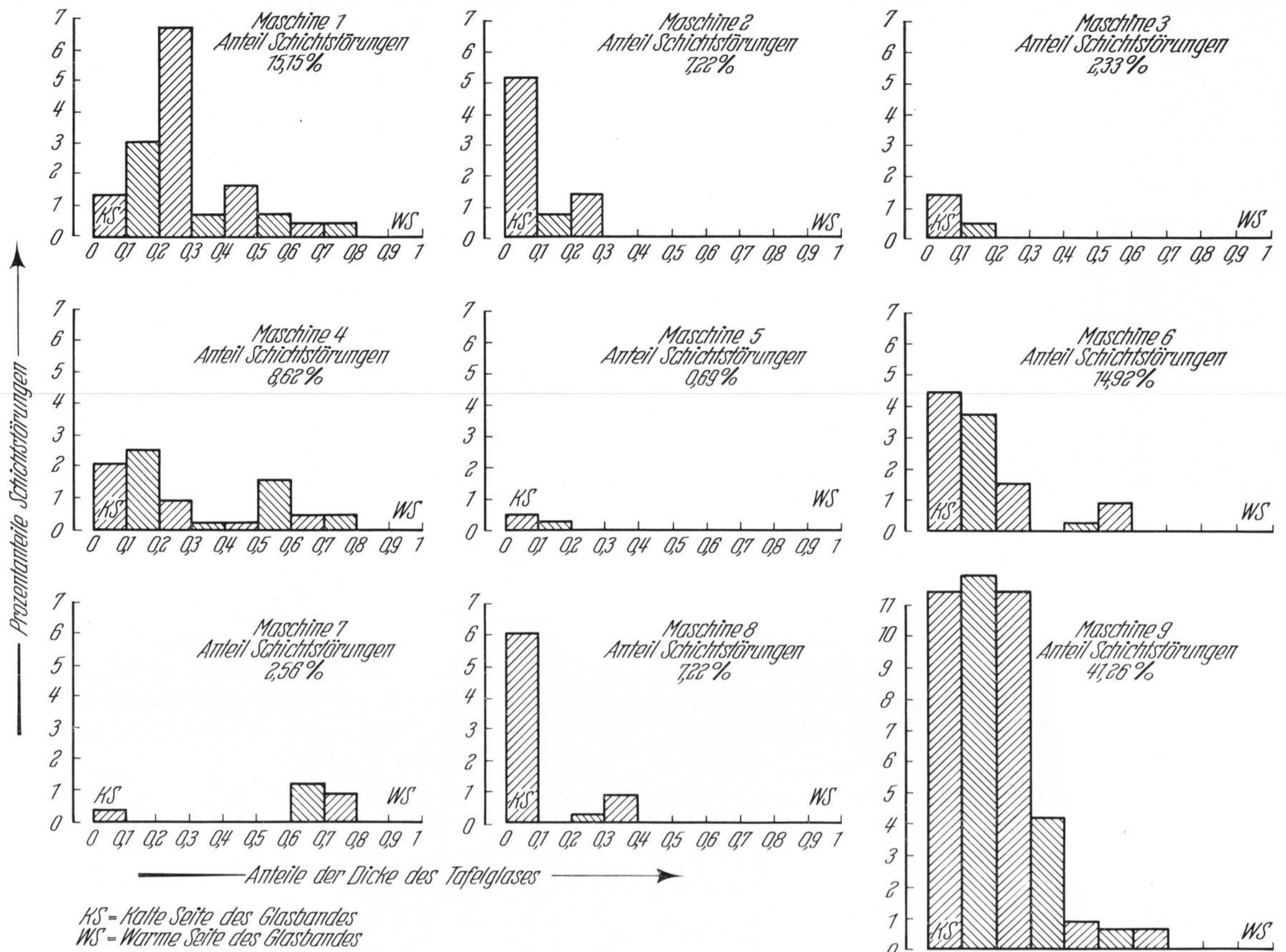


Bild 11. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Tafelglas-Ziehanlage I — zweite Untersuchung).

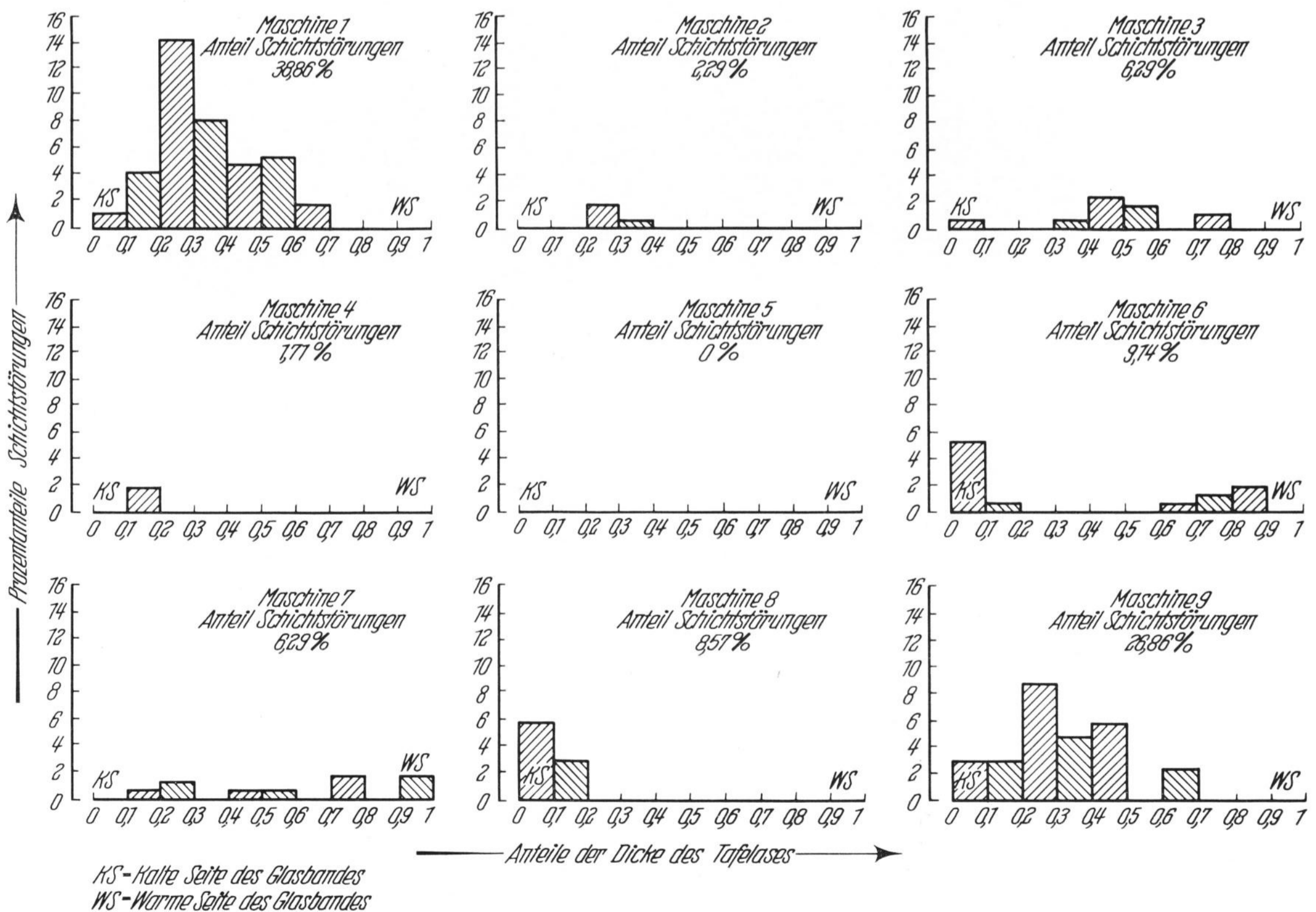


Bild 12. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Tafelglas-Ziehanlage II — zweite Untersuchung).

Tabelle 7. Verteilung der Schichtstörungen über die Dicke des Tafelglases in %
(Tafelglas-Ziehanlage I — zweite Untersuchung)

Maschine	Gesamte Dicke	Anteil der Dicke des Tafelglases									
		0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
1	15,15	1,39	3,03	6,75	0,69	1,63	0,69	0,46	0,46	0	0
2	7,22	5,12	0,69	1,39	0	0	0	0	0	0	0
3	2,33	1,39	0,46	0	0	0	0,46	0	0	0	0
4	8,62	2,09	2,56	0,93	0,23	0,23	1,63	0,46	0,46	0	0
5	0,69	0,46	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0
6	14,92	4,42	3,72	1,63	0	0,23	0,69	0,46	3,26	0,46	0
7	2,56	0,46	0	0	0	0	0	1,17	0,93	0	0
8	7,22	6,06	0	0,23	0,93	0	0	0	0	0	0
9	41,26	11,42	11,89	11,42	4,20	0,93	0,69	0,69	0	0	0
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Masch. 1 bis 9	100,00	32,87	22,61	22,38	16,06	2,80	4,42	3,26	5,12	0,46	0

„Kalte Seite“ ← Glasband → „Warme Seite“

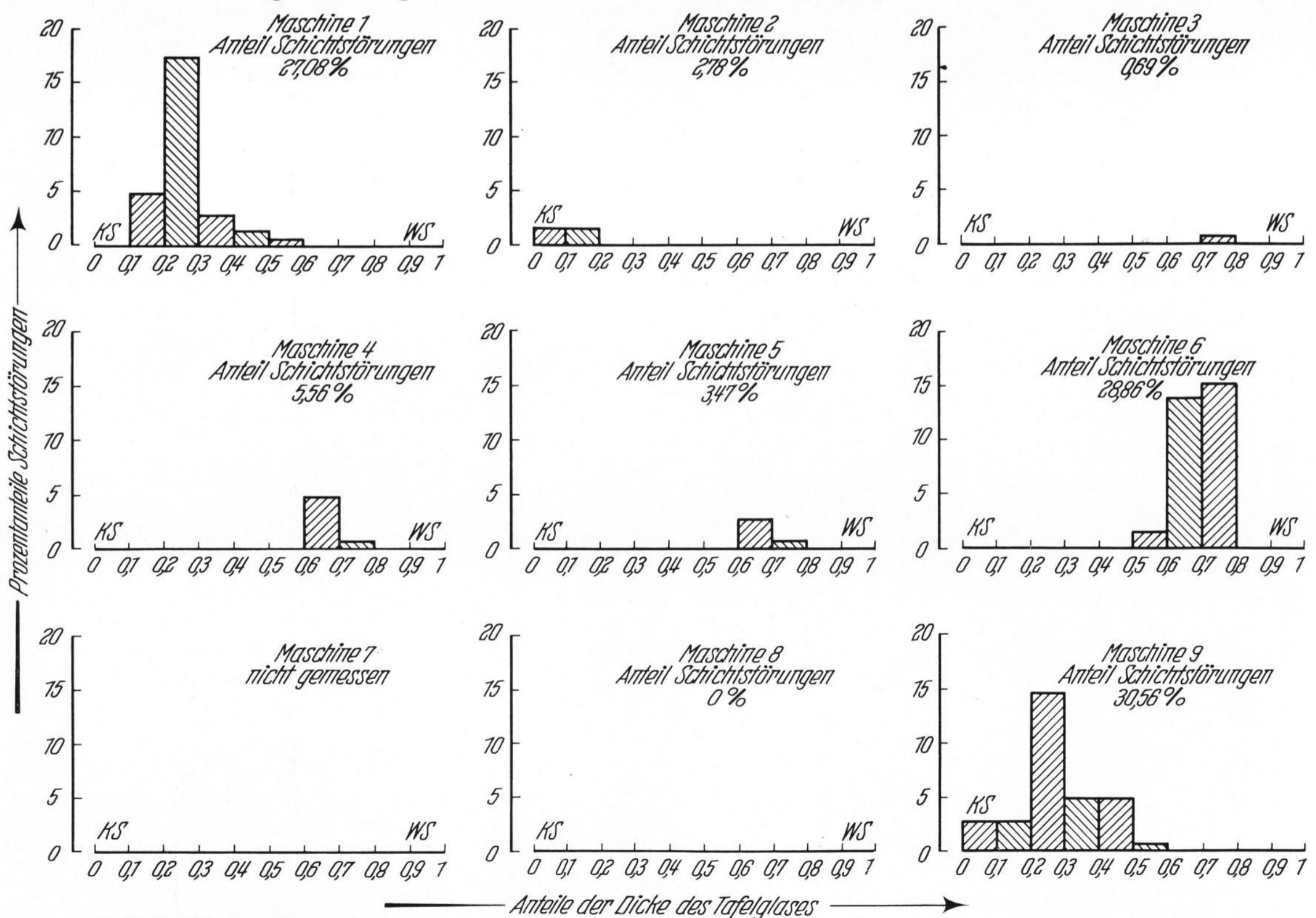
Die Verteilung der Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt ist für die einzelnen Ziehmaschinen für die drei Tafelglas-Ziehanlagen in den Bildern 11, 12 und 13 dargestellt. Der Charakter der Verteilung für die Ziehanlagen I und II (Bilder 11 und 12) ist dem der ersten Untersuchung (vgl. Bilder 7, 8) durchaus vergleichbar. Das Ergebnis für Tafelglas-Ziehanlage III (Bild 13) ist etwas abweichend. Die Daten sind wiederum in den Tabellen 7, 8 und 9 aufgeführt (vgl. Tabelle 3, 4).

4. Auswertung

Für die Beurteilung und Auswertung wurde die Anzahl der Schichtstörungen, bezogen auf 1 m Glas-

bandbreite, als vergleichbares Maß ermittelt. Die sich für die beiden, an den drei Tafelglas-Ziehanlagen durchgeführten Untersuchungen ergebenden Werte sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Bei der ersten Untersuchung wies die Tafelglas-Ziehanlage II im Durchschnitt für die ganze Anlage mit einem Auftreten von 3,2 Schichtstörungen/m Glasbandbreite gegenüber der Ziehanlage I mit 5,3 Schichtstörungen/m das bessere Ergebnis auf. Als Glasbandbreite gilt hier die gesamte Breite des Glasbandes einer jeden Ziehmaschine, jedoch mit Ausnahme eines Bereiches von 30 cm vom Rand (Borte) auf jeder Seite. Aus Tabelle 10 geht wieder die erhöhte Anfälligkeit der



KS = Kalte Seite des Glasbandes
WS = Warme Seite des Glasbandes

Bild 13. Verteilung des Auftretens von Schichtstörungen über den Dickenquerschnitt des Tafelglases (Tafelglas-Ziehanlage III — zweite Untersuchung).

Tabelle 8. Verteilung der Schichtstörungen über die Dicke des Tafelglases in %
(Tafelglas-Ziehanlage II — zweite Untersuchung)

Maschine	Gesamte Dicke	Anteil der Dicke des Tafelglases									
		0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
1	38,86	1,14	4,00	14,29	8,00	4,57	5,14	1,71	0	0	0
2	2,29	0	0	1,71	0,57	0	0	0	0	0	0
3	6,29	0,57	0	0	0,57	2,29	1,71	0	1,14	0	10
4	1,71	0	1,71	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	9,14	5,14	0,57	0	0	0	0	0,57	1,14	1,71	0
7	6,29	0	0,57	1,14	0	0,57	0,57	0	1,71	0	1,71
8	8,57	5,71	2,86	0	0	0	0	0	0	0	0
9	26,86	2,86	2,86	8,57	4,57	5,71	0	2,29	0	0	0
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Masch. 1 bis 9	100,00	15,43	12,57	25,71	13,71	13,14	7,43	4,57	4,00	1,71	1,71

„Kalte Seite“ ← Glasband → „Warme Seite“

Tabelle 9. Verteilung der Schichtstörungen über die Dicke des Tafelglases in %
(Tafelglas-Ziehanlage III — zweite Untersuchung)

Maschine	Gesamte Dicke	Anteil der Dicke des Tafelglases									
		0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
1	27,08	0	4,86	17,36	2,78	1,39	0,69	0	0	0	0
2	2,78	1,39	1,39	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,69	0	0	0	0	0	0	0	0,69	0	0
4	5,56	0	0	0	0	0	0	4,86	0,69	0	0
5	3,47	0	0	0	0	0	0	2,78	0,69	0	0
6	29,86	0	0	0	0	0	1,39	13,89	15,28	0	0
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	30,56	2,78	2,78	14,58	4,86	4,86	0,69	0	0	0	0
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Masch. 1 bis 9	100,00	4,17	9,03	31,94	7,64	6,25	2,08	21,53	17,36	0	0

„Kalte Seite“ ← Glasband → „Warme Seite“

Tabelle 10. Anzahl der Schichtstörungen in 1 m Glasbandbreite*)

Maschine	Erste Untersuchung (100 Arbeitstage)		Zweite Untersuchung (20 Arbeitstage)		
	Tafelglas-Ziehanlage I	Tafelglas-Ziehanlage II	Tafelglas-Ziehanlage I	Tafelglas-Ziehanlage II	Tafelglas-Ziehanlage III
1	9,9	11,4	8,2	8,6	4,4
2	2,9	1,3	3,1	0,7	0,3
3	1,5	0,9	1,3	1,1	0,08
4	3,6	0,9	3,1	0,8	0,8
5	4,6	0,05	0,4	0	0,5
6	3,7	1,1	5,4	1,3	4,6
7	1,9	1,5	1,4	0,9	—
8	4,2	2,5	3,1	1,2	0
9	17,6	11,1	22,3	5,9	4,9
Gesamte Anlage: Durchschnitt der Maschinen 1 bis 9	5,3	3,2	5,2	2,2	1,8

*) = die gesamte Breite des Glasbandes einer jeden Ziehmaschine, jedoch mit Ausnahme eines Bereiches von 30 cm vom Rand (Borte) auf jeder Seite.

Tabelle 11. Abweichungen der chemischen Zusammensetzung von Schichtstörungen der Art „kurze eingeschobene Schichten“ gegenüber dem Grundglas (erste Untersuchung)

SiO ₂ -Anreicherung		SiO ₂ -Verarmung		Al ₂ O ₃ -Anreicherung	
Anzahl der kurzen eingeschobenen Schichten	Abweichung in %	Anzahl der kurzen eingeschobenen Schichten	Abweichung in %	Anzahl der kurzen eingeschobenen Schichten	Abweichung in %
70	+ 0,06	15	— 0,06	2	+ 0,13
54	+ 0,11	34	— 0,11	1	+ 0,30
29	+ 0,17	8	— 0,17	1	+ 0,40
12	+ 0,23	1	— 0,23	1	+ 0,50
5	+ 0,28				
3	+ 0,33	1	— 0,33		
4	+ 0,40				
5	+ 0,46				
1	+ 0,54				

+ = Anreicherung (Überschuß), — = Verarmung.

Tabelle 12. Abweichungen der chemischen Zusammensetzung von Schichtstörungen gegenüber dem Grundglas (zweite Untersuchung) — Tafelglas-Ziehanlage III

SiO ₂ -Anreicherung		SiO ₂ -Verarmung		Al ₂ O ₃ -Anreicherung	
Anzahl der Schichtstörungen	Abweichung in %	Anzahl der Schichtstörungen	Abweichung in %	Anzahl der Schichtstörungen	Abweichung in %
1	+ 0,04			4	+ 0,05
49	+ 0,08	2	— 0,08	14	+ 0,10
21	+ 0,17			5	+ 0,15
4	+ 0,25			4	+ 0,20
2	+ 0,34			7	+ 0,25
1	+ 0,43			1	+ 0,30
2	+ 0,51			1	+ 0,35
1	+ 0,61			1	+ 0,40
				3	+ 0,60
				1	+ 0,85

+ = Anreicherung (Überschuß), — = Verarmung.

Tabelle 13. Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Arten von Schichtstörungen gegenüber dem Grundglas (Tafelglas-Ziehanlage III)

Art der Schichtstörung	Anzahl der Schichtstörungen mit		
	SiO ₂ -Anreicherung	SiO ₂ -Verarmung	Al ₂ O ₃ -Anreicherung
Kurze eingeschobene Schichten	61	2	24
Keilförmige Schichtstörungen	20	0	12
Schichtverwerfungen	0	0	3
Linsen	0	0	2

Randmaschinen für das Auftreten von Schichtstörungen hervor, aber auch, in welchem ausgezeichnetem Maße die

Mittelmaschinen, besonders bei der Ziehanlage II, frei von Schichtstörungen waren.

Bei der zweiten Untersuchung zeigte sich für die Tafelglas-Ziehanlage I eine gute Konstanz der technologischen Bedingungen. Das durchschnittliche Auftreten von Schichtstörungen blieb praktisch unverändert und auch ihr Charakter bei den einzelnen Maschinen erhalten. Ziehanlage II zeigte im Zeitabschnitt der zweiten Untersuchung ein verbessertes Bild; vor allem ging die Anfälligkeit der Randmaschinen zurück. Ziehanlage III zeigte ein erhöhtes Auftreten von Schichtstörungen an den Maschinen 1, 6 und 9. Die durchschnittliche Anfälligkeit fiel bei diesem Vergleich für Ziehanlage III am günstigsten aus.

Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung haben nur für die konkreten Bedingungen der untersuchten Tafelglas-Ziehanlagen während des Zeitabschnittes der Durchführung Gültigkeit. Dies bezieht sich auf die verwendeten Rohstoffe, die Art ihrer Aufbereitung und der Gemengebereitung, die Konstruktion der Wannen, die Bedingungen der Ofenführung und des Formgebungsprozesses. Eine Übertragung auf andere Bedingungen ist nicht zulässig. Doch dürften die Ergebnisse einer solchen Untersuchung als beispielhaft anzusehen sein.

Zu den technologischen Betriebsbedingungen der untersuchten Tafelglas-Ziehanlagen wurde bereits mitgeteilt, daß die Ziehanlagen I und II mit dem gleichen Brennstoff — Koksofengas — und mit dem gleichen Rohstoffgemenge betrieben werden. Für eine Beurteilung wird also hier die Bedeutung der Wannenkonstruktion, der Ofenführung und der durch diese bedingten Strömungsverhältnisse auf den Homogenitätszustand des Glases und seine Störungen deutlich. Bei Ziehanlage III werden Heizöl als Brennstoff und andere Rohstoffvorkommen für das Gemenge verwendet. Darüber hinaus bestehen auch gewisse Unterschiede in der Wannenkonstruktion und in den Belangen der Ofenführung, u. a. daß diese Ziehanlage zum Unterschied von den beiden anderen ohne Einsatz eines Schwimmerpaares betrieben wird.

Natürlich interessieren ebenso Aussagen über die Art und das Ausmaß der Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung der Schichtstörungen gegenüber dem Grundglas. Unter Anwendung der Ätzmethode nach LÖFFLER [6, 10, 11] sind solche Untersuchungen ohne weiteres möglich. Von den beiden für die erste Untersuchung dienenden Tafelglas-Ziehanlagen I und II ermittelte LÖFFLER an 333 Schichtstörungen der Art der „kurzen eingeschobenen Schichten“ die Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung. In 242 Fällen, d. i. bei 73%, ergab sich eine Anreicherung, ein Überschuß an Kieselsäure, in 80 Fällen, d. i. 24%, eine Verarmung, ein Mangel an Kieselsäure und bei nur 11 der geprüften Proben, d. i. 3%, eine Anreicherung an Tonerde. Das Ausmaß der Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung ist in Tabelle 11 aufgeführt. Unter den herrschenden technologischen Bedingungen waren also Abweichungen des Kieselsäuregehaltes maßgeblich. Demgegenüber waren Abweichungen im Tonerdegehalt unbedeutend. Für die zweite Untersuchung wurden verschiedene Arten von Schichtstörungen geprüft. Es wurde die Tafelglas-Ziehanlage III herangezogen, da bei dieser ein anders geartetes Ergebnis erwartet werden konnte. Nach der Ätzmethode wurden

für 124 Schichtstörungen die Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung bestimmt. Für 81 von ihnen, d. i. 65%, ergab sich eine Anreicherung an Kieselsäure, für 2, d. i. 1,6%, eine Verarmung an Kieselsäure. Eine Anreicherung an Tonerde zeigten 41 Schichtstörungen, d. i. 33%. Tabelle 12 gibt einen Überblick über das Ausmaß der Abweichungen.

Bei dieser zweiten Untersuchung wurde außerdem versucht, einen Zusammenhang zwischen der Art der Schichtstörungen und dem Charakter der Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung zu finden. Tabelle 13 zeigt jedoch, daß bei „kurzen eingeschobenen Schichten“ und bei „keilförmigen Schichtstörungen“ sowohl Abweichungen im Kieselsäure- wie im Tonerdegehalt auftraten. Soweit die geringe Anzahl der untersuchten „Schichtverwerfungen“ und „Linsen“ überhaupt eine Schlußfolgerung zuläßt, mag es so scheinen, als ob unter den während des Zeitabschnittes der Untersuchung herrschenden technologischen Bedingungen diese Arten von Schichtstörungen bevorzugt Abweichungen im Tonerdegehalt zeigten.

Diese Ergebnisse haben natürlich wiederum nur für die technologischen Bedingungen der Tafelglas-Ziehmaschinen während der Dauer der Durchführung Gültigkeit. Eine Übertragung auf andere Bedingungen ist nicht zulässig. Die Angaben in Tabelle 11 und 12 wurden vor allem deshalb aufgeführt, um zu zeigen, mit welcher Genauigkeit es mit Hilfe der Ätzmethode möglich ist, Aussagen über die Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung von Schichtstörungen gegenüber dem Grundglas zu machen.

BECKER [5] zeigte in seinen Arbeiten die Bildung von Schichtstörungen durch den Einfluß von Glasströmungen am Beispiel von „keilförmigen Schichtstörungen“. Er beschreibt ihre Entstehung durch Verformung einer Inhomogenität in der Nähe der Entnahmestelle über die Tiefe des Entnahmestromes und für den Fall, daß die Geschwindigkeitsvektoren parallel zur Oberfläche verschieden sind. Er erläutert ihre Bildung für die Annahmen, daß willkürliche Formen der Inhomogenität vorliegen oder diese sich in schräger Lage zur Richtung des Entnahmestromes befindet. Schließlich zeigt er die Entstehung einer „keilförmigen Schichtstörung“ als Folge des Durchlaufens eines Glaspostens durch einen gekrümmten Entnahmefächer. Die Glasströmungen sind also am Entstehen von Schichtstörungen beteiligt.

Inhomogenitäten können von der Glasschmelze herühren, durch Auflösung von feuerfestem Material oder durch andere Ursachen entstehen. Aufgabe der Glasströmungen ist es, in möglichst wirksamer Weise zum Abbau der Inhomogenitäten und somit zur Erreichung eines hohen Grades der Homogenität des Glases beizutragen.

Der Homogenitätszustand der Glasmasse ist aber auch für die Art und die Intensität des Auftretens von Schichtstörungen von Wichtigkeit. Folgende Überlegung sei angestellt: Eine geradlinig und parallel verlaufende Schichtung ist auch dann noch nicht Anlaß zu Verzerrungen in der Durchsicht und zu optischen Effekten im Schattenbild, wenn die Schichten zahlreich, mit größerer Dicke und beträchtlichen Abweichungen in der Zusammensetzung auftreten. Durch irgendwelche Umstände verursachte Störungen der Schichten werden aber in diesem Falle ebenfalls intensiv zur Auswirkung

kommen. Eine „Schichtverwerfung“ einer inhomogenen Schicht größerer Dicke und größerer Abweichung in der chemischen Zusammensetzung wird eine gröbere Deformation der Glastafeloberfläche und damit auch eine ausgeprägtere Sichtverzerrung bewirken, als z. B. die einer dünnen inhomogenen Schicht mit nur geringem Konzentrationsunterschied. Dies gilt allgemein für alle Arten von Schichtstörungen. Es hat sich auch in der Praxis erwiesen, daß Glas eines besseren Homogenitätsgrades weniger anfällig für Schichtstörungen ist.

Für die Beurteilung und die Kontrolle der Glasmasse ist es deshalb zweckmäßig, unter Verwendung geeigneter konventioneller Methoden beide Kriterien zu erfassen. Einmal den Homogenitätszustand der Glasmasse, z. B. durch Einstufung etwa im Sinne der Bilder 2a bis 2i, oder in einer entsprechenden anderen Ausführungsweise, und zum anderen das Auftreten von Schichtstörungen, z. B. in der Art der hier gezeigten Analyse. Die Kenntnis dieser Kriterien des erzeugten Glases und der technologischen Bedingungen, unter welchen es hergestellt wurde, gibt der Betriebsführung zweifellos wertvolle Aufschlüsse. Aus der Gegenüberstellung solcher Analysenergebnisse und der Kontroll- und Meßwerte für die Rohstoffe, das Gemenge und die Ofenführung können Zusammenhänge klar werden, die sonst verborgen blieben.

5. Zusammenfassung

An der Bildung der bekannten Schichtstruktur des Tafelglases sind die Glasströmungen in der Schmelzwanne maßgeblich beteiligt. Die Schichtstruktur kann für eine Kennzeichnung des Homogenitätszustandes des Glases herangezogen werden. Eine geradlinig und parallel verlaufende Schichtstruktur ist auch dann noch nicht Anlaß zu Sichtverzerrungen und optischen Effekten im Schattenbild des Glases, wenn die inhomogenen Schichten zahlreich, intensiv und von unterschiedlicher Dicke sind und ihre chemische Zusammensetzung beträchtlich gegenüber der des Grundglases abweicht. In der betrieblichen Praxis treten jedoch Störungen des geradlinigen und parallelen Verlaufes der Schichtstruktur mannigfacher Art auf.

Die Bedeutung solcher Schichtstörungen für die optische Qualität eines Tafelglases kann als bekannt vorausgesetzt werden. Trotzdem wurden mehr als 90 Tafelglasproben, jede mit den verschiedensten Schichtstörungen, auf ihren Einfluß auf die optische Qualität des Glases hin untersucht. Das Ergebnis brachte keine neuen Gesichtspunkte. Schichtstörungen aller Art, wie „keilförmige Schichtstörungen“, sich „überlappende Schichten“, „Schichtverwerfungen“, „kurze eingeschobene Schichten“, „Linsen“ u. a. verursachen Verzerrungen in der Durchsicht und optische Effekte im Schattenbild. Der Grad der optischen Störung ist von der Intensität und Ausdehnung der Schichtstörung, der Dicke der gestörten Schicht, von dem Ausmaß der Abweichung in der chemischen Zusammensetzung und von der Lage der Schichtstörung im Tafelquerschnitt abhängig. War nun die Bedeutung von Schichtstörungen für die optische Qualität eines Tafelglases bestätigt, sollte Aufschluß über die Anzahl und die Art ihres Auftretens erhalten werden.

Das Auftreten von Schichtstörungen wurde an drei Fourcault-Tafelglas-Ziehmaschinen in zwei Untersuchun-

gen während eines Zeitraumes einmal von 100 und einmal von 20 Arbeitstagen untersucht. Die Auswertung zeigte für die konkreten Betriebsbedingungen während der Untersuchung das dominierende Auftreten von nur einer, als „kurze eingeschobene Schichten“ bezeichneten Art von Schichtstörungen. Für ihre Lage über den Dickenquerschnitt der Glastafel war kennzeichnend, daß sie allgemein bevorzugt an der der zuströmenden Glasmasse entgegengesetzten Seite des Glasbandes, der sogenannten „kalten Seite“ auftraten. Dieser Befund galt für die drei untersuchten Tafelglas-Ziehanlagen in unterschiedlichem Maße. Eine quantitative Auswertung des Auftretens von Schichtstörungen ergab für die Ziehanlage I einen durchschnittlichen Anfall in der ersten Untersuchung von 5,3, in der zweiten von 5,2 Schichtstörungen je 1 m Glasbandbreite. Bei der Ziehanlage II waren es 3,2 und 2,2 Schichtstörungen/m und bei der Ziehanlage III 1,8 Schichtstörungen/m. Die Randmaschinen erwiesen sich allgemein als anfälliger. Die Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung gegenüber dem Grundglas wurden nach dem LÖFFLERschen Ätzverfahren bestimmt. Für eine Vielzahl von Schichtstörungen des Types der „kurzen eingeschobenen

Schichten“ von den Tafelglas-Ziehanlagen I und II ergab sich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine Kieselsäureanreicherung. Schichtstörungen von der Ziehanlage III zeigten in etwa zwei Drittel der Fälle eine Anreicherung an Kieselsäure und zu einem Drittel eine Tonerde-Anreicherung.

Die Ergebnisse haben nur für die technologischen Bedingungen der untersuchten Tafelglas-Ziehanlagen während der Dauer der Prüfung Gültigkeit. Ein Übertragen auf andere Bedingungen ist nicht zulässig, doch können die Ergebnisse als beispielhaft angesehen werden. Es wird empfohlen, sowohl den Homogenitätszustand des Glases nach seiner Schichtstruktur durch Einstufung im Sinne der Bilder 2a bis 2i zu erfassen, wie auch das Auftreten von Schichtstörungen. Die Kenntnis dieser beiden Kriterien in Gegenüberstellung zu den konkreten Bedingungen der Herstellung des Glases gibt der Betriebsführung wertvolle Aufschlüsse.

Der Autor dankt Fräulein K. HORMANN für die Durchführung der Erfassung des Auftretens von Schichtstörungen mit dem Schlierenmikroskop.

6. Literatur

- [1] SPITZ, T. und GOERK, H.: Methode zur Kennzeichnung der technologischen Bedingungen der Herstellung einer Glastafel. In: O. Verf.: VII^e Congrès International du Verre, Bruxelles 28 Juin—3 Juillet 1965. Comptes Rendus. Charleroi: Institut National du Verre 1965. II/3/85. S. 1—10. [Ref. Glastechn. Ber. 41 (1968) S. 214.]
- [2] SPITZ, T.: Die Bedeutung der Glasmassenhomogenität für die Flachglaserzeugung. Sprechsaal 100 (1967) S. 372 bis 384.
- [3] SCHARDIN, H.: Das Schlierenmikroskop und seine Anwendung in der Glastechnik. Glastechn. Ber. 27 (1954) S. 70—79.
- [4] RAMSAUER, R.: Anwendung des Schlierenmikroskopes zur Untersuchung der Schichtung von Tafelglas. Glastechn. Ber. 27 (1954) S. 374—381.
- [5] BECKER, H.: Über die Rolle der Strömung bei der Homogenisierung des Glases in Flachglaswannen. Ein Beitrag zum Problem der Schichtung, erläutert am Beispiel einer Tafelglaswanne. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 124—136.
- [6] LÖFFLER, J.: Die Analyse von Schlieren und Schichten durch Ätzung und Interferenzmessung. Glastechn. Ber. 27 (1954) S. 381—392.
- [7] LÖFFLER, J.: Über die Messung der Homogenität von Glas, insbesondere zum Zwecke der Kennzeichnung der Schmelzleistung von Wannen. Glastechn. Ber. 38 (1965) S. 269—276.
- [8] GOERK, H.: Mitteilung zur Frage des Zusammenhanges zwischen dem Auftreten von Schichtstörungen und optischen Effekten. Interner Bericht des Chem. Labor DETAG, Witten, vom 15. 5. 1968, S. 1—3.
- [9] O. Verf.: Zur Schlierenstruktur und Optik maschinengezogenen Tafelglases. Sprechsaal 77 (1944) S. 100 bis 102.
- [10] LÖFFLER, J.: Analyse von Schlieren und Schichtung durch Ätzung und Interferenzmessung, II. Glastechn. Ber. 30 (1957) S. 457—463.
- [11] LÖFFLER, J.: Die Analyse von Schlieren und Schichten durch Ätzung und Interferenzmessung, III. Glastechn. Ber. 37 (1964) S. 548—553. (48342)

DK 620.179.15:535.327.3:535.319:666.15

Beitrag zur Kennzeichnung des Homogenitätszustandes eines Tafelglases mit dem Schardinschen Schlierenmikroskop

VON HERBERT GOERK, Witten (Ruhr)

(Mitteilung aus dem Chemischen Labor der Deutschen Tafelglas AG, Witten (Ruhr))

(Eingegangen am 2. September 1968)

Es wird die Berechtigung geprüft, mit dem SCHARDINSchen Farbschlierenmikroskop Schlierenbilder für eine routinemäßige Kennzeichnung des Homogenitätszustandes von Tafelglas für die betriebliche Praxis abzubilden. Die bei der serienmäßigen Vorbereitung einer großen Anzahl von Glasproben, den sogenannten Schlierenstäbchen, auch bei der Verwendung geeigneter mechanischer Mittel auftretenden Abweichungen von der exakten Quaderform und von der festgelegten Schliffdicke werden gemessen. Es wird gezeigt, daß Abweichungen dieser Größenordnung die praktische Auswertung der Schlierenbilder nicht merklich verzeichnen. Der Arbeitsaufwand für die tägliche, sorgfältige Vorbereitung einer großen Stückzahl von Schlierenstäbchen und ihre schlierenoptische Untersuchung ist sehr hoch, so daß eine begrenzte Glasproben-Entnahme als zweckmäßig erscheint. Die dadurch bedingten statistischen Abweichungen vom richtigen Ergebnis sind nicht groß und im Hinblick auf die bedeutende Verringerung des Arbeitsaufwandes gerechtfertigt.

Die technologischen Bedingungen in Glasschmelzwannenöfen — auch moderner Konstruktion und bei einer Betriebsführung nach neuzeitlichen Gesichtspunkten — erlauben es im allgemeinen nur, Gläser eines bestimmten Homogenitätsgrades zu erschmelzen. Dieser erreicht z. B. nicht den sehr vollkommenen Grad von

optischen, unter Anwendung künstlicher Homogenisierungsmittel erzeugten Gläsern. Er ist im Gegenteil für Glasmassen, wie sie für die Massenfertigung von Behälterglas, Glasröhren, oder auch von Flachglas bestimmt sind, beträchtlich niedriger. Tafelglas weist einen relativ hohen Grad der Homogenität auf, da dieser für