

ungünstigsten Temperaturbereich um 1000 °C beaufschlagten Glasproben lassen dennoch den Einfluß des Luftüberschusses klar erkennen. Zwischen $\lambda = 1,1$ und 1,3 nimmt mit steigendem Überschuß die Zahl der Störstellen in der Glasoberfläche stetig zu. In Bild 7d ist trotz der Beaufschlagung mit dem Ofengas eines schwefelreicheren Brennöles eine Auflösung der Schädigung bei $\lambda \approx 1,0$ feststellbar. Bild 7e zeigt die Ansicht einer Oberfläche, die zunächst 1 h lang mit einer oxydierenden Ofengasatmosphäre ($\lambda = 1,2$) beaufschlagt wurde und dann eine gleiche Zeit lang mit einer reduzierenden Atmosphäre ($\lambda < 1$). Es gelingt demnach, durch eine reduzierende Nachbehandlung die Oberflächenschädigung zurückzuentwickeln.

Vergleicht man noch die Bilder 6a und 7b, so ergibt sich eine geringfügige Verdichtung der Schädigung mit steigendem Schwefelgehalt der Brennöle.

Die mikroskopische Auswertung gibt demnach gleichzeitig erste Anhaltspunkte für die zur Diskussion gestellte verstärkende oder mäßigende Wirkung verschiedener Versuchsparameter auf die sekundäre Gallebildung auf der Glasoberfläche.

3. Zusammenfassung

Im ersten Teil des Berichtes über die Untersuchungen zum Einfluß des Ofengasschwefels auf die Glasschmelze wurden die Versuchsmethodik und die Meßwertermittlung dargelegt.

Zur Versuchsmethodik gehören der Aufbau und die Funktionsüberwachung der Verbrennungsanlage, der Hochtemperatur-Versuchsofen mit angeschlossener Schwefeloxidanalytik sowie die Präparierung der im Schwefelgehalt unterschiedlichen Brennöle und der Glasgemengeproben.

Im Rahmen der Meßwertermittlung wurden die vom Versuchsablauf her möglichen verschiedenen Bestimmungsverfahren zur Ermittlung der von der Glas-

schmelze aufgenommenen Schwefeloxidgehalten erläutert und kritisch auf ihren Aussagewert hin beleuchtet. Danach ergibt nur die gravimetrische Sulfatbestimmung im Glas eine exakte Aussage über die insgesamt von der Glasschmelze aufgenommene Schwefeloxidgehalt. Die Ergebnisse der gasanalytischen SO_2 - und SO_3 -Bestimmung können in Verbindung mit der gravimetrischen Analyse zur Klärung der Frage herangezogen werden, ob SO_2 und/oder SO_3 von der Glasschmelze aufgenommen werden.

Allein die mikroskopische Untersuchung kann in Verbindung mit einer röntgenografischen Analyse Aussagen über die Art der Schwefeleinwirkung auf die Glasschmelze machen und Anhaltspunkte für eine moderierende Beeinflussung dieser Einwirkung durch die Wahl geeigneter Versuchsbedingungen erbringen.

Die Zusammenstellung der wesentlichen Meßergebnisse der gasanalytischen und gravimetrischen Bestimmungen und ihre grafische Auswertung zur Charakterisierung der verschiedenen Einflußgrößen auf die schädigende sekundäre Gallebildung enthält der nachfolgende zweite und gleichzeitig abschließende Teil dieses Untersuchungsberichtes, in dem darüber hinaus der Versuch unternommen werden soll, die gewonnenen Untersuchungsergebnisse in der Gesamtsicht des Literaturwissens zu diskutieren.

Die Untersuchungen wurden im Auftrag der Hütten-technischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) und in engem Kontakt mit dem Fachausschuß III der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft (DGG) ausgeführt. Die Autoren sind für die finanzielle Hilfe der HVG und für zahlreiche fruchtbare Sachdiskussionen den Mitgliedern des Fachausschusses III zu Dank verpflichtet.

Herrn Professor Dr. C. KRÖGER, dem Direktor des Instituts für Brennstoffchemie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, danken die Autoren für zahlreiche Sachhilfen und wertvollen Erfahrungsaustausch.

4. Literatur

- [1] CHORY, J. P.: Methode zur quantitativen Bestimmung von SO_3 und SO_2 in Rauchgasen. Brennstoff — Wärme — Kraft **14** (1962) S. 601—603.
- [2] GEBHARDT, F. und SISTERMANN, A.: Beiträge zur Sulfatbestimmung von Kalk-Natron-Gläsern durch Verbrennung im Sauerstoffstrom. Glastechn. Ber. **39** (1966) S. 458—461.
- [3] GOKSØYR, H. und ROSS, K.: The determination of sulphur trioxide in flue gases. J. Inst. Fuel **35** (1962) S. 177—179.
- [4] JEBSEN-MARWEDEL, H.: Glastechnische Fabrikationsfehler. Eine pathologische Technologie des Werkstoffes Glas. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1959. [Ref. Glastechn. Ber. **32** (1959) S. 262.]
- [5] JEBSEN-MARWEDEL, H.: Einfluß des Schwefels beim Glasschmelzen auf die Qualität des Glases durch Gallebildung. (Fachausschußvortrag.) Nicht veröffentlicht.
- [6] MEIER ZU KÖCKER, H. und BRANDT J.: Zur Einfriertemperatur des SO_2/SO_3 -Gleichgewichtes in Verbrennungsgasen schwefelhaltiger Brennöle. Brennstoff-Chem. **50** (1969) Nr. 5.
- [7] ZSCHIMMER, E. und DIETZEL, A.: Die Temperatur-Zeit-Kurven der sichtbaren Entglasung bei Spiegelglas. Sprechsaal **60** (1927) S. 110—112, 129—131, 145—151, 165 bis 168, 186—190, 204—209. [Ref. Glastechn. Ber. **5** (1927/28) S. 378.] (48348)

DK 681.4.021.1:621.93.023:621.9.025.7:671.152

Untersuchungen beim Sägen von optischem Glas mit diamantbesetzten Kreissägeblättern Teil II*). Einfluß der Exzentrizität sowie der Makrogestalt des Sägeblattes auf Verschleiß, Wirtschaftlichkeit, Rauheit und Schartigkeit

VON GOTTHOLD PAHLITZSCH UND WINFRIED KARSTEN, Braunschweig

(Mitteilung aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Braunschweig)

(Eingegangen am 18. Dezember 1968)

Nach umfangreichen Verschleißuntersuchungen an diamantbesetzten Kreissägeblättern beim Sägen mit rundlaufendem und exzentrisch gespanntem, aber rundem bzw. zentrisch gespanntem, unrundem Sägeblatt werden Schlußfolgerungen auf eine zweckmäßige Gestaltung der Werkzeuge zum Kreissägen verschiedener optischer Glassorten gezogen. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigt, daß das Sägen mit exzentrisch gespanntem bzw. unrundem Werkzeug nur bei harten Glassorten die Fertigungskosten senkt. Die Rauhtiefen der Schnittflächen und die Kantenschartigkeiten des Werkstückes werden zwar durch das unrundlaufende Werkzeug erhöht, doch nicht so stark, daß der Umfang des dem Sägen nachfolgenden Bearbeitungsverfahrens beeinträchtigt wird.

5. Verschleißverhalten

Obwohl das Zeitspannvolumen beim Sägen mit exzentrisch gespanntem oder unrundem Sägeblatt größer

*) Teil I. Einfluß der Exzentrizität sowie der Makrogestalt des Sägeblattes auf die Kinematik des Sägevorganges und das Zeitspannvolumen. Glastechn. Ber. **42** (1969) Nr. 4, S. 121—128.

ist als mit rundlaufendem Sägeblatt, kann im voraus nicht bestimmt werden, ob dieses Sägeverfahren wirtschaftlich ist oder ob es wegen des zu großen örtlichen Werkzeugverschleißes unbedingt notwendig ist, den Radialschlag des Sägeblattes völlig zu vermeiden und nur mit rundlaufendem Sägeblatt zu arbeiten.

Während sich das Zeitspannvolumen sehr einfach aus der Vorschubgeschwindigkeit und der konstant bleibenden Hauptschnittfläche bestimmen läßt, bereitet die Verschleißmessung an Diamantwerkzeugen erhebliche Schwierigkeiten.

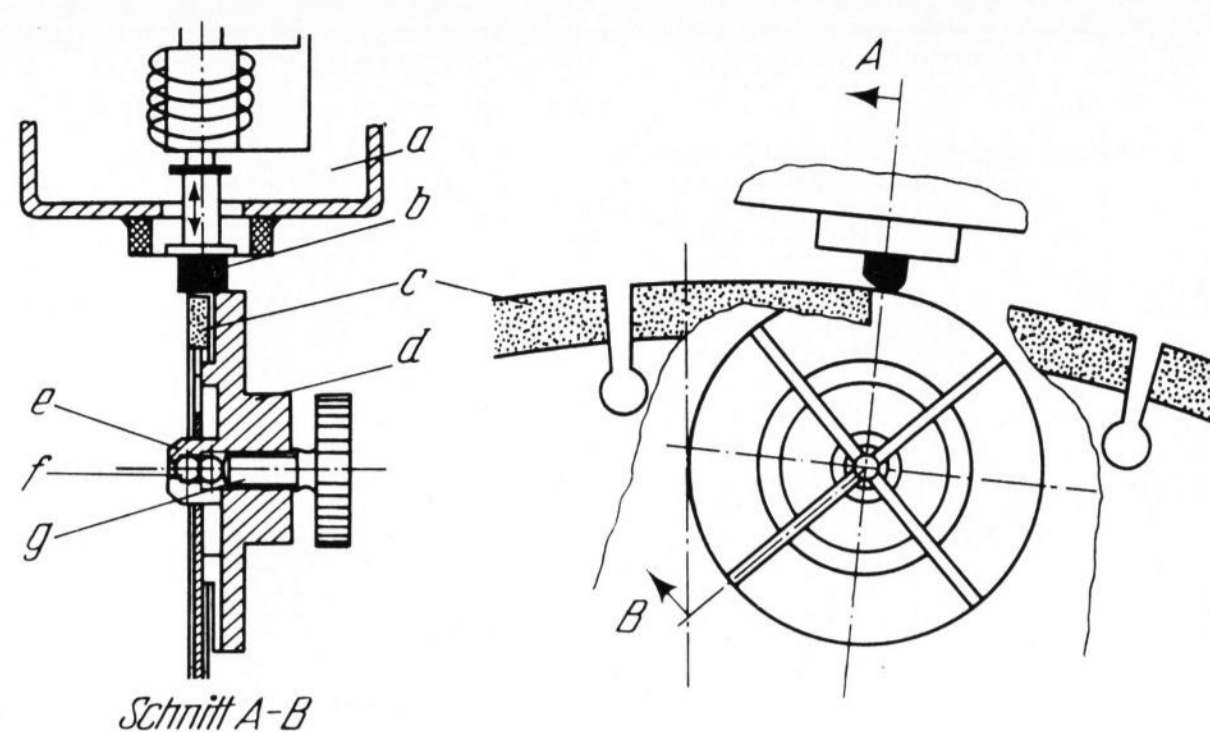
5.1. Verschleißmeßeinrichtung

Die bisher üblichen Verfahren zur Bestimmung des Diamantwerkzeugverschleißes, wie Auswiegen der Werkzeuge, Bestimmung der Volumendifferenz mit Hilfe einer Meßflüssigkeit, Abbilden des Werkzeugprofils durch Einstechen in Kunststoffplättchen, Messen der Radiusabnahme an einigen Profilstellen mit Hilfe von Feinzeigern oder optischen Geräten, sind aus folgenden Gründen für das vorliegende Problem nicht geeignet:

Beim Sägen mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt nimmt der Radius infolge Verschleißes nicht gleichmäßig über den ganzen Umfang ab, sondern nur an ganz bestimmten Stellen der Schneidfläche. Da es aber wichtig ist, die Größe und Lage des Verschleißes zu kennen, sind Verfahren, die nur eine pauschale Aussage über den Gesamtverschleiß zulassen oder bei denen nur an einigen Stellen des Sägeblattes der Verschleißvorgang verfolgt wird, unzureichend. Darüber hinaus ist der Sägeblattverschleiß beim Sägen von Glas mit Diamantwerkzeugen so gering, daß die Genauigkeit der meisten oben angegebenen Verfahren nicht genügen würde.

Dagegen bietet sich die induktive Abtastvorrichtung zur Bestimmung der Sägeblattwelligkeit auch zur Verschleißmessung an, weil bei Verwendung eines genügend breiten Tastbolzens die gesamte Sägeblattkontur auf einem Registrierschrieb festgehalten werden kann. Ferner ist es vorteilhaft, daß bei dieser Verschleißmessung das Sägeblatt am Spindelkopf befestigt bleibt.

Als Bezugsniveau wählte man hierbei nach Erprobung einiger anderer Lösungen eine Scheibe, die vor jeder Messung mit dem Sägeblatt verbunden wird und während des Abtastens mit umläuft (Bild 14). Die Bezugsscheibe wird mit Hilfe eines Spreizdornes in einer Bohrung am Rand des Sägeblattes befestigt, so daß Temperaturdehnungen des Sägeblattes so gut wie keinen Einfluß auf die Messung haben. Wenn die abzutastende Fläche der Scheibe nur wenig über den Kornspitzen des Schneidbesatzes liegt, kann mit ausreichend großen Empfindlichkeiten der Meßgeräte gearbeitet werden. Der Fehler, der durch die begrenzte Positioniergenauig-



Schnitt A-B

Bild 14. Konstruktive Gestaltung der umlaufenden Bezugsscheibe.

- a = induktiver Wegaufnehmer, b = Hartmetalltastkopf,
- c = Sägeblatt, d = umlaufende Bezugsscheibe,
- e = Spreizdorn, f = Kugel, g = Druckschraube.

keit der Scheibe auftritt, erwies sich kleiner als die Aufzeichnungsfehler des Schreibwerkes.

5.2. Versuchsablauf

Für die Versuche waren je zwei unterschiedliche Sägeblatt Drehzahlen ($n = 405$ bzw. 1915 min^{-1}) und Vorschubgewichte ($P_{vg} = 3,15$ bzw. $9,0 \text{ kp}$) vorgesehen. Doch stellte sich heraus, daß besonders beim Sägen von F2 und bei exzentrischer Sägeblatteinspannung die großen Vorschubgewichte und Schnittgeschwindigkeiten nicht eingestellt werden konnten, weil wegen zu großer Wärmeentwicklung die Verfahrensgrenze bereits erreicht war. So wurden die Versuche jeweils abwechselnd mit den vier Einstellbedingungen gefahren, die in Tabelle 1 angegeben sind.

Um einen Überblick über die Größenordnung des Verschleißes zu erhalten, wurde zunächst eine gewisse Menge Glas (BK7) mit rundlaufendem Sägeblatt zerspannt. Die anschließenden Reihenversuche unterteilen sich dann in vier Gruppen, weil beide Glaswerkstoffe mit zentrisch und exzentrisch gespanntem Werkzeug gesägt werden sollten.

Bedingt durch den starken örtlichen Verschleiß beim exzentrisch gespanntem Sägeblatt mußte dieses nach dem Sägen von BK7 für die F2-Versuche abgerichtet werden. Da aber mit den Abrichtwerkstoffen (Hartmetall und Korundschleifscheibe) nicht die gleichmäßige und große Kornprofilhöhe erzielt wird wie durch langzeitiges Zerspannen von Glas, wurden mit dem zentrisch gespannten, aber unrunder Sägeblatt ebenfalls Versuche durchgeführt und als fünfte Gruppe mit in die Auswertung einbezogen (Tabelle 2).

Die zur Verschleißmessung erforderlichen Sägeblattabtastungen wurden jeweils nach etwa 20 Einstichen vorgenommen, so daß jeweils insgesamt eine Schnittfläche¹⁾ von $0,2 \text{ m}^2$ gesägt wurde.

¹⁾ Unter Schnittfläche wird hier — wie beim Sägen allgemein üblich — eine der beiden von den Planflächen des Sägeblattes erzeugten Trennflächen verstanden, die in DIN 6580 mit Nebenschnittfläche bezeichnet wird.

Tabelle 1. Einstellbedingungen

(Je Einstich 90 cm^2 Schnittfläche) abwechselnd 4 Einstellungen)

Einstich-Nr.	Drehzahl n in min^{-1}		Vorschubgewicht P_{vg} in kp	
	BK7	F2	zentrisch	exzentrisch
1	405	405	3,65	3,65
2	1915	405	3,15	3,15
		1915 850	3,15	3,15
3	405	405	9,0	9,0
4	1915	405	9,0	5,5
		1915 850	5,0	5,0

Tabelle 2. Versuchsablauf

Vers.-Gr.	Werkstoff	Sägeblattaufspannung/-form
1	BK7	zentrisch/rund
2	BK7	exzentrisch/rund
3	BK7	zentrisch/unrund
4	F2	zentrisch/rund
5	F2	exzentrisch/rund

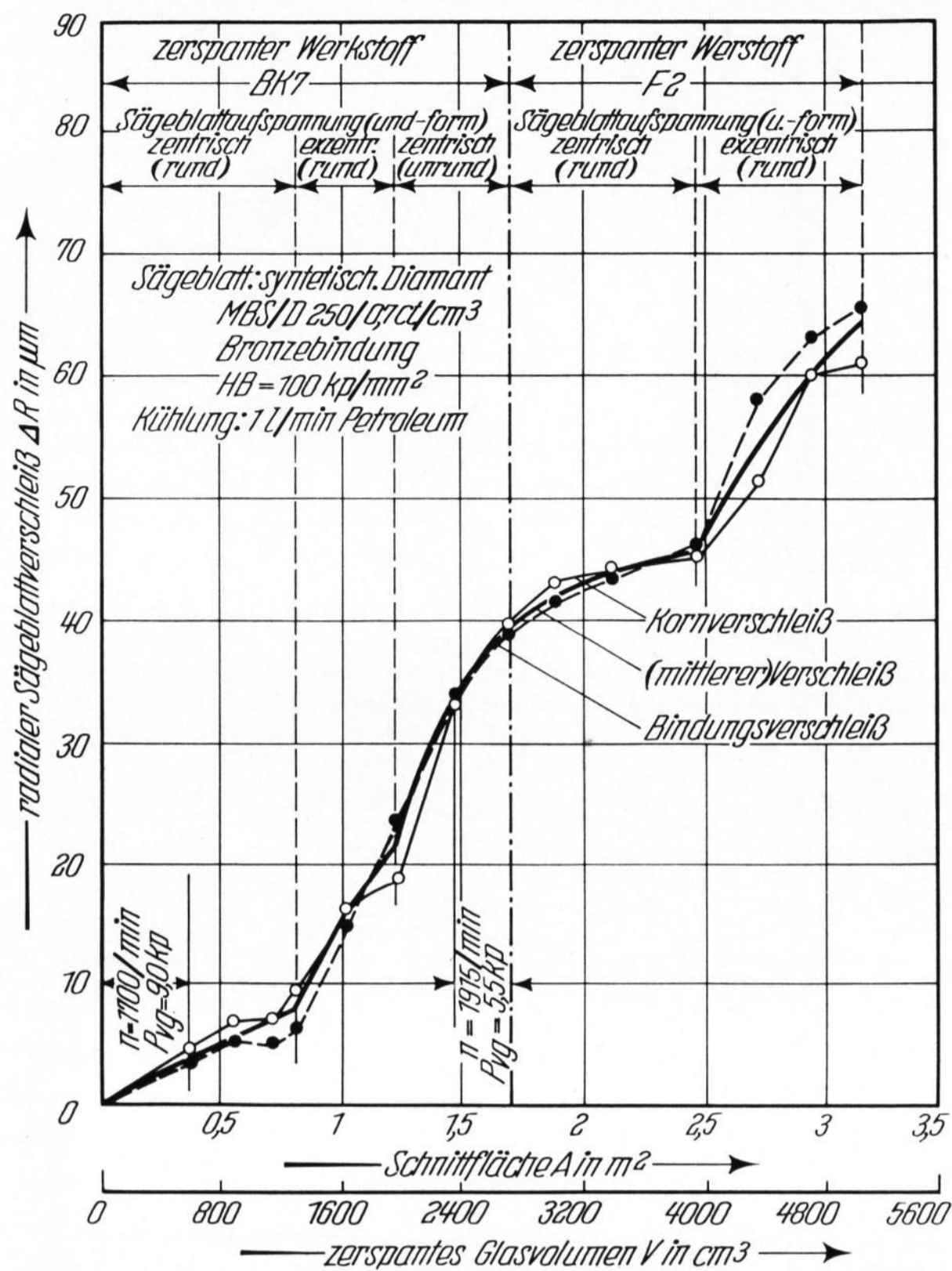
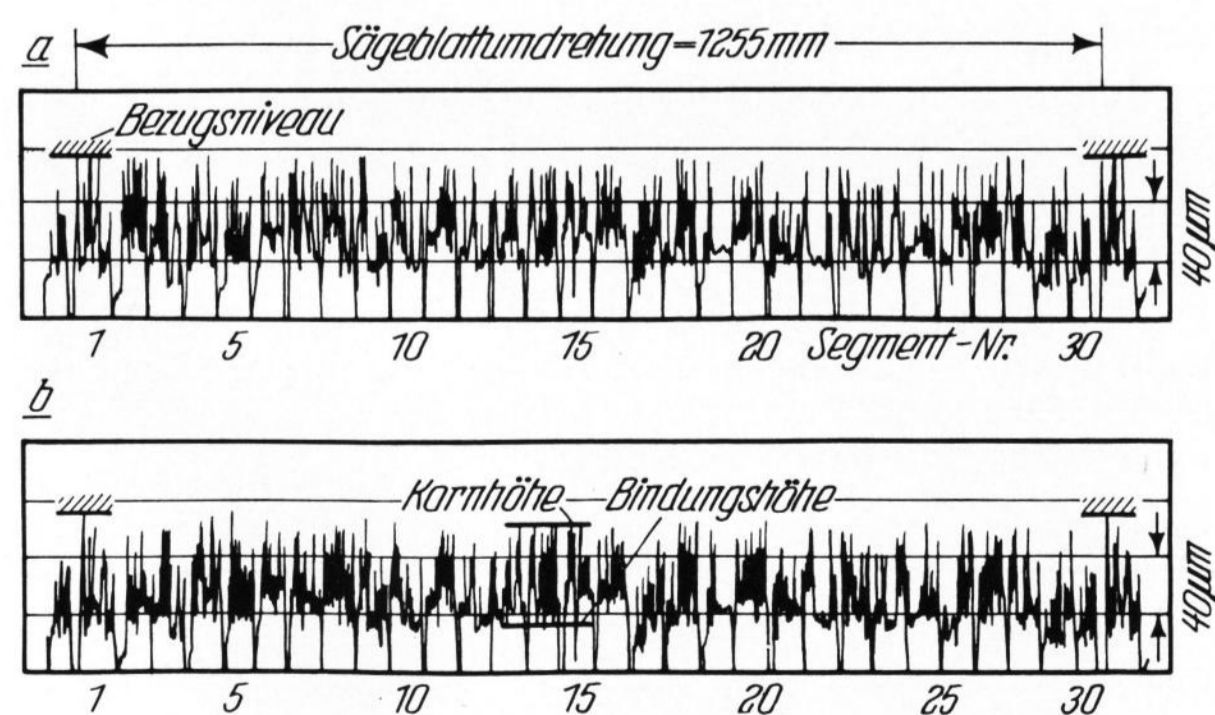


Bild 15. Radialer Sägeblattverschleiß.

Wegen der relativ geringen Diamantkonzentration wurden sowohl die Einzelkörner bzw. Korngruppen als auch die Bindungsoberfläche abgetastet, so daß die Möglichkeit bestand, Korn- und Bindungsverschleiß getrennt auszuwerten.

Bei der Auswertung der Abtastschriebe wurde für jeden Millimeter des Rasters die Höhe des am weitesten herausragenden Kornes bzw. die tiefste vom Tastbolzen erreichbare Stelle ausgemessen. Als Bezugslinie diente die von der umlaufenden Bezugsscheibe herrührende Markierung auf dem Schrieb. Der Mittelwert dieser jeweils rund 180 Messungen stellt die mittlere Kornprofilhöhe bzw. Bindungshöhe dar. Die Differenz der Werte aus zwei Abtastungen ist der radiale Korn- bzw. Bindungsverschleiß.

Beim exzentrisch gespannten Sägeblatt wurde die Verschleißmessung segmentweise vorgenommen, weil



Bilder 16a und b. Verschleiß beim Sägen von BK7 mit zentrisch gespanntem, rundem Sägeblatt, a) Anfangszustand des Sägeblattes, b) Zustand nach dem Sägen von 8170 cm^3 BK7. (Versuchsbedingungen siehe Bild 15.)

nur so der über dem gesamten Umfang stark unterschiedliche Verschleiß lokalisiert werden konnte.

In Bild 15 ist der während aller Versuche am Sägeblatt aufgetretene Korn- und Bindungsverschleiß über der Schnittfläche bzw. dem zerspannten Glasvolumen aufgetragen. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde der ebenfalls ins Diagramm eingetragene Mittelwert zwischen Korn- und Bindungsverschleiß herangezogen. Dies ist zulässig, weil sich beim Sägen größerer Mengen von Glas mit gleicher Sägeblattaufspannung allmählich beide Verschleißvorgänge auf ein einheitliches Maß einpendeln [1, 3] (Literatur siehe Teil I).

5.3. Verschleiß beim Sägen von BK7

Für das Sägen von BK7 mit rundlaufendem Sägeblatt steigen die Verschleißkurven linear an. Sowohl der Kornverschleiß als auch der geringere Bindungsverschleiß sind der gesägten Schnittfläche direkt proportional. Der mittlere auf die gesägte Fläche (einseitig gemessen) bezogene radiale Verschleiß beträgt $\Delta R' = 10 \mu\text{m}/\text{m}^2$. Beim exzentrisch gespannten, runden Sägeblatt steigt der bezogene Verschleiß auf $\Delta R' = 30 \mu\text{m}/\text{m}^2$. Der Bindungsverschleiß ist hier größer als der Kornverschleiß.

Das unrunde, aber zentrisch gespannte Sägeblatt verschleißt zunächst stärker ($\Delta R' = 50 \mu\text{m}/\text{m}^2$), dann etwas schwächer ($\Delta R' = 25 \mu\text{m}/\text{m}^2$) als das exzentrisch gespannte Sägeblatt. Jedoch überwiegt immer der Kornverschleiß.

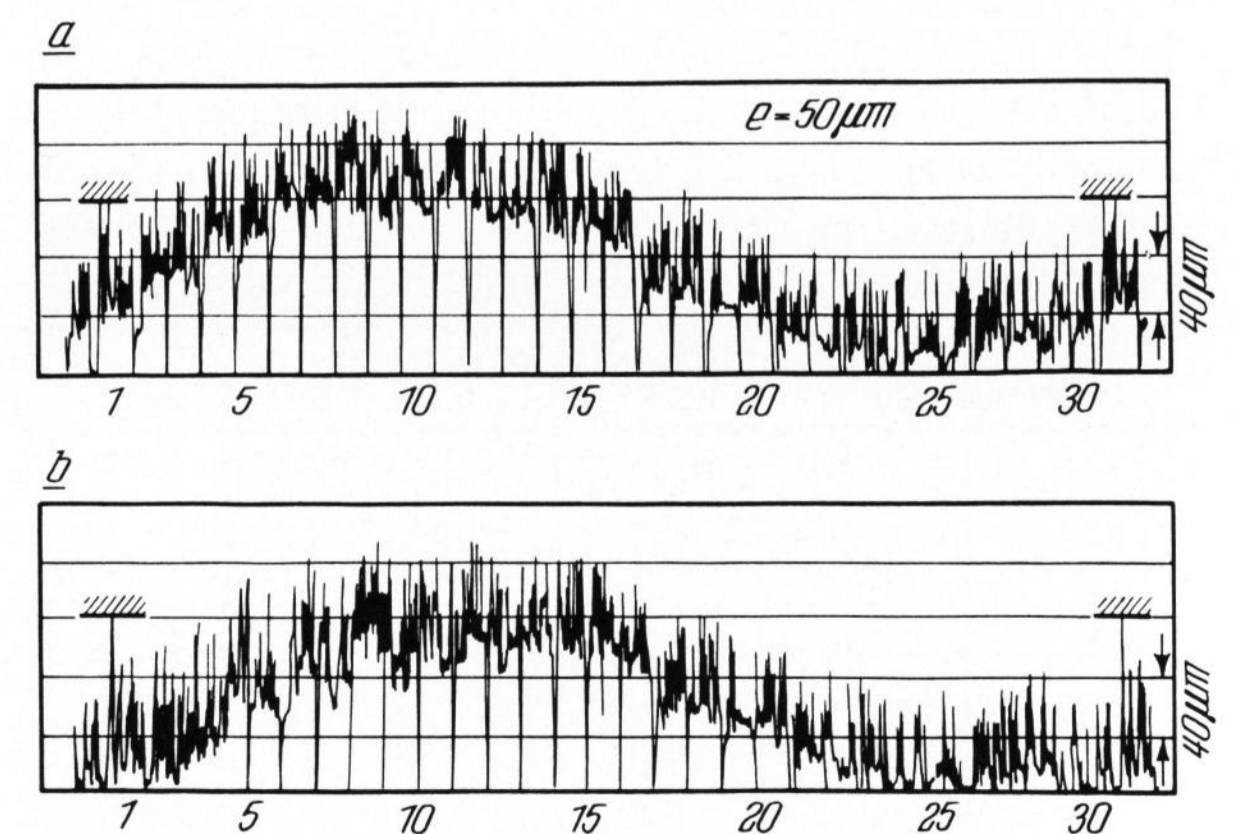
5.4. Verschleiß beim Sägen von F2

Für das Sägen von F2 mit rundlaufendem Sägeblatt zeigt die Kornverschleißkurve in Bild 15 einen stark degressiven Verlauf. Der Bindungsverschleiß liegt mit $10 \mu\text{m}/\text{m}^2$ in der gleichen Größenordnung wie beim Sägen von BK7.

Beim exzentrisch gespannten Sägeblatt verläuft die Verschleißkurve wieder degressiv. Nach anfänglichem starkem Bindungsverschleiß scheint sich dann bald ein Gleichgewicht zwischen den beiden Verschleißarten einzustellen.

5.5. Deutung der Verschleißvorgänge

Um die Verschleißvorgänge umfassend zu deuten, ist es nötig, sich noch einmal kurz die Kinematik des Kreissägens von Glas besonders mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt zu vergegenwärtigen.



Bilder 17a und b. Verschleiß beim Sägen von BK7 mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt, a) Anfangszustand des Sägeblattes, b) Zustand nach dem Sägen von 4420 cm^3 BK7. (Versuchsbedingungen siehe Bild 15.)

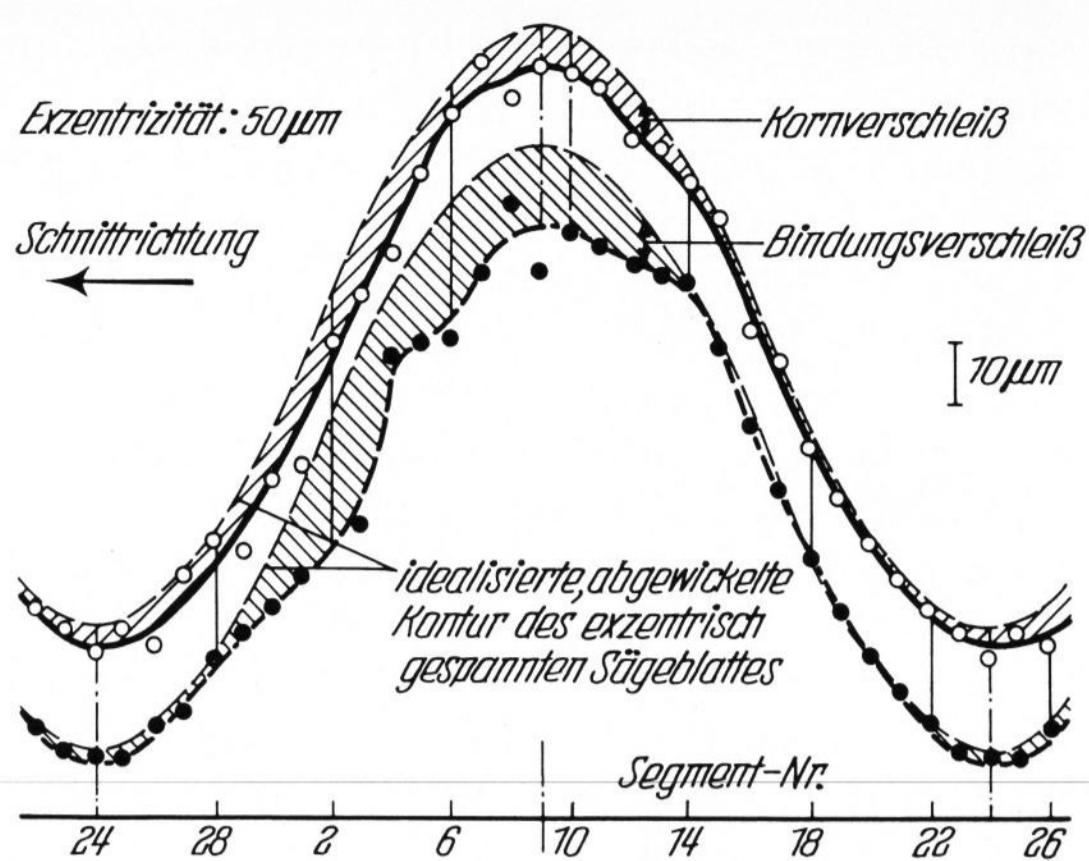


Bild 18. Verschleiß nach dem Sägen von 2210 cm² BK 7 mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt. (Versuchsbedingungen siehe Bild 15.)

Während das rundlaufende Sägeblatt ständig im Eingriff mit dem Werkstück ist, kann es beim exzentrisch gespannten Werkzeug unter Umständen zum intermittierenden Eingriff kommen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn bei kleiner Sägeblattzahl die Vorschubbelastung nicht groß genug ist, um ständigen Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück aufrechtzuerhalten. Die maximalen Kraftspitzen, deren Betrag um ein Vielfaches größer als derjenige der Vorschubbelastung ist, treten bei der Bewegungsumkehr des schwingenden Werkstücksupportes, also kurz hinter dem „Tal“, des exzentrisch gespannten Sägeblattes auf. Bei hohen Drehzahlen besteht immer intermittierender Eingriff, weil auch die großen angewendeten Vorschubbelastungen zu klein sind, um den schweren Werkstücksupport in der Frequenz der Sägeblattzahl beschleunigen zu können.

5.5.1. Verschleißvorgang beim Sägen von BK 7

Bild 16 gibt die Abtastung des zentrisch gespannten, runden Sägeblattes wieder. Der Anfangszustand des Sägeblattes (Bild 16a) ist durch eine große Dichte und gleichmäßige Höhe der Diamantkörner gekennzeichnet. Beim Sägen des relativ harten Glases BK 7 verschleiben somit vor allem die Diamantkornspitzen durch Splintern und teilweises Ausbrechen nach vorangegangenem Abstumpfen. Daher ist nach dem Sägen einer Schnittfläche von rund 0,8 m² auf dem Abtastschrieb (Bild 16b) eine Abnahme der Kornprofilhöhen und eine Auflockerung des Kornverbandes deutlich zu erkennen, während die Veränderungen an der Bindungsoberfläche nur geringfügig sind.

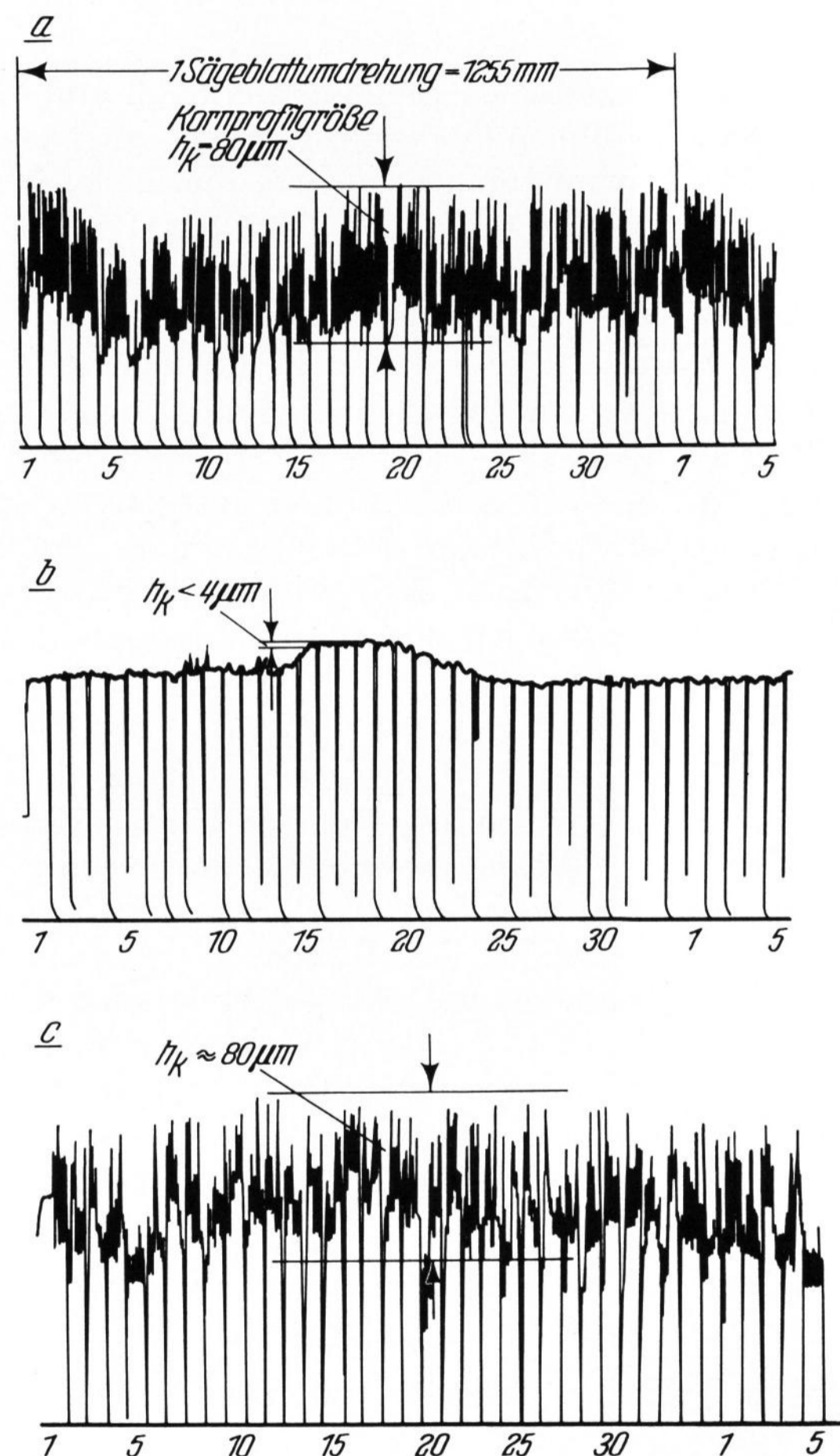
Obwohl das Sägeblatt derartig exzentrisch gespannt wurde, daß die am meisten beanspruchte Stelle des Umfangs die größten Kornanhäufungen aufwies (Bild 17a), stellte sich ein besonders starker Bindungsverschleiß beim Sägen von BK 7 mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt ein (Bild 17b; Bild 18). Dieses Verschleißverhalten läßt sich nur durch die Kinematik des Zerspanvorganges erklären:

Infolge der durch die Supportschwingungen bei kleineren Drehzahlen bedingten großen radialen Komponente der Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug dringen die aus der Bindung herausragenden Körner tief in die Hauptschnittfläche ein, ohne daß größere Glasmengen durch Ritzen abgetragen werden. Die Bindung kommt intensiver als bei reiner tangen-

tialer Schnittbewegung mit dem splitternden Glas in Berührung und verschleißt stark durch Reibung beim Herausfordern der Späne aus der Schnittfuge. Auf Grund der Radialbewegung werden die Diamantkörner offenbar selbst wenig (tangential) belastet, denn in Bild 17b ist im ansteigenden Bereich des Sägeblattes eine deutliche Vergrößerung der Kornprofilhöhen zu erkennen. Die Kornausbrüche dagegen sind sekundärer Art und sind auf den primären Bindungsverschleiß zurückzuführen.

Da bei der großen Drehzahl der Support nur sehr wenig schwingt und das Sägeblatt dadurch nur an der Stelle seiner größten radialen Erstreckung in Eingriff kommt, verschiebt sich das Verhältnis von Korn- zu Bindungsverschleiß an dieser Stelle des Sägeblattumfangs zugunsten des Kornverschleißes, wie auch Bild 18 erkennen läßt.

Dieses Sägeblatt wurde dann mit Hilfe der Spieth-Hülse so gut es ging zentrisch gespannt, doch blieb eine gewisse Unrundheit auf Grund des starken örtlichen



Bilder 19a bis c. Zerspanung von Werkstoffen mit extremen Härteunterschieden,

a) Anfangszustand des Sägeblattes,

Sägeblatt: D = 400 mm Ø, a_s = 1,5 mm, 34 Segmente, Naturdiamanten D 250, Konzentration 1 ct/cm³, Bronzebindung, Bindungshärte HB = 105 kp/mm²,

b) Zustand nach dem Zerspanen von 5,3 cm³ Hartmetall, Zerspaner Werkstoff: Hartmetall, Einstellbedingungen: n = 1520 min⁻¹, P_{vg} = 3,5 kp, Kühlung: 2,0 l/min Petroleum,

c) Zustand nach dem Zerspanen von 54 cm³ einer Schleifscheibe,

Zerspaner Werkstoff: Korundscheibe 60 J, Einstellbedingungen: n = 1520 min⁻¹, P_{vg} = 5 kp, Kühlung: 2,0 l/min Petroleum.

Verschleißes beim Sägen mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt erhalten. Da jetzt aber keine sinusförmige Erregung vorlag, führte der Werkstücksupport beim Sägen keine starken Schwingungen mehr aus, so daß vorwiegend die am weitesten aus dem Sägeblatt herausragenden Diamantkörner verschlissen. Durch die zunehmende Zahl der zum Eingriff kommenden Körner verringert sich der flächenbezogene Verschleiß, womit der degressive Verlauf der Verschleißkurve in Bild 15 erklärt ist.

5.5.2. Verschleißvorgang beim Sägen von F2

Beim Zerspanen des relativ weichen Glases F2 mit rundlaufendem Sägeblatt dringen die Diamantspitzen weit in den Werkstoff hinein und tragen diesen wegen der geringeren Splitterneigung von F2 vorwiegend durch Ritzen ab. Die Bindung wird also in stärkerem Maße durch Reibung an der Hauptschnittfläche beansprucht als beim Sägen des relativ harten Glases BK7. Damit ergibt sich beim Zerspanen von F2 zunächst ein relativ großer Bindungsverschleiß, wie aus Bild 15 zu erkennen ist.

Die Reibung zwischen Bindungswerkstoff und Glas ist besonders bei hohen Drehzahlen so groß, daß an der Schnittstelle Temperaturen entstehen, die in der Nähe der Entzündungstemperatur des Kühlmittels (Petroleum) liegen. Aus diesem Grunde mußten auch die Schnittbedingungen beim Sägen von F2 stärker begrenzt werden als bei BK7.

Ein Gleichgewicht zwischen Bindungs- und Kornverschleiß stellt sich erst nach dem Zerspanen größerer Glasmengen ein, wenn nämlich durch fortgeschrittenen Bindungsverschleiß die Körner so weit aus der Bindung herausragen, daß sie schon nach geringer Abstumpfung durch kleine Belastungen aus dem Bindungswerkstoff herausgerissen werden.

Das Verschleißverhalten des Sägeblattes beim Sägen von F2 mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt unterscheidet sich nicht wesentlich von dem bei der Zerspanung von BK7. Wieder verschleißt auf Grund der Kinematik das Sägeblatt fast ausschließlich im Bereich des ansteigenden Profils. Der Verschleiß, insbesondere derjenige der Bindung, vor der größten radialen Erstreckung des Sägeblattprofils ist etwas stärker ausgeprägt als bei BK7. Wegen des Fehlens der Höchstdrehzahl von 1915 min^{-1} ist an der höchsten Stelle des Sägeblattprofils nur ein relativ geringer Verschleiß zu verzeichnen.

5.6. Verschleißvorgang beim Zerspanen von Werkstoffen mit extremen Härteunterschieden

Um die Annahmen zur Deutung des Verschleißverhaltens des Sägeblattes unter Beweis zu stellen, wurden abwechselnd zwei Werkstoffe zerspannt, die einen sehr unterschiedlichen Gefügebau aufweisen.

Zunächst wurde mit einem mit natürlichen Diamanten der Körnung D 250 (Konzentration 1 ct/cm^3) bestückten segmentierten, rundlaufenden Sägeblatt Hartmetall gesägt und dann in eine Korundschleifscheibe (60 J) eingestochen. Die Bindungshärte des Sägeblattes betrug $\text{HB} = 105 \text{ kp/mm}^2$.

Nach dem Zerspanen von $5,3 \text{ cm}^3$ Hartmetall war die anfängliche Kornprofilhöhe von rund $80 \mu\text{m}$ praktisch auf null abgesunken (Bild 19). Das Sägeblatt war

vollkommen stumpf. Durch Einstechen in eine Korundschleifscheibe (zerspante Menge 54 cm^3) konnte die ursprüngliche Kornprofilhöhe fast wieder erreicht werden. Dies geschah allerdings auf Kosten der Korndichte, weil durch den starken Bindungsverschleiß auch erhebliche Kornausbrüche auftraten.

Durch diesen Versuch ist bewiesen, daß Kornverschleiß primär dann auftritt, wenn der zu zerspanende Werkstoff hart ist, die Kornspitzen also nicht weit in die Hauptschnittfläche eindringen können. Starker Bindungsverschleiß tritt hingegen bei relativ weichen Werkstoffen auf, wenn die Körner so weit in den Werkstoff eindringen können, daß die Bindung mit dem Werkstoff in Berührung kommt und durch Reibung verschleißt.

5.7. Schlußfolgerungen aus den Verschleißuntersuchungen

Aus den Verschleißuntersuchungen folgt eindeutig, daß weiche Glasarten, wie z. B. F2 und SF6, mit Sägeblättern großer Körnung (D 250) zerspannt werden müssen, damit durch die relativ große Kornprofilhöhe gewährleistet ist, daß die Bindung nicht so sehr am Glas reibt und damit verschleißt.

Harte Glasarten, wie z. B. BK7 und ZK7, können bei rundlaufendem Sägeblatt mit kleineren Körnungen (D 150) zerspannt werden, weil die Körner ohnehin nicht weit in den Werkstoff einzudringen vermögen, durch den geringen Korndurchmesser aber die Möglichkeit der Erhöhung der Schneidenzahl gegeben ist.

Bei exzentrisch gespanntem, rundem oder zentrisch gespanntem, unrundem Sägeblatt ist es in jedem Falle empfehlenswert, sowohl die Körnung als auch die Konzentration und die Bindungshärte groß zu wählen. Wegen des intermittierenden Eingriffs ist der Zerspanungsvorgang auf einen Teil des Sägeblattumfangs reduziert. Die je Umdrehung anfallenden Späne müssen also von dem beschränkten Raum zwischen Diamantkörnern und Bindung aufgenommen und aus der Schnittfuge herausbefördert werden. Soll starker Bindungsverschleiß vermieden werden, so muß dieser Spanraum (durch höhere Kornprofile) unter Verwendung grober Körnungen vergrößert werden. Keinesfalls darf aber der Spanraum durch Verringerung der Konzentration vergrößert werden, weil dann der geschwächte Kornverband den stoßartigen Belastungen nicht mehr gewachsen wäre. Durch eine große Bindungshärte schließlich kann zwar eine Minderung des Bindungsverschleißes erzielt werden, doch ist dieser Maßnahme insofern eine Grenze gesetzt, als dadurch der Selbstschärfefekt durch Ausbrechen abgestumpfter Körner nicht gemindert werden darf.

6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die beim Sägen von Glas mit diamantbesetzten Kreis-sägeblättern entstehenden Fertigungskosten k_f setzen sich aus folgenden Einzelkosten zusammen:

$$k_f = k_w + k_m + k_l + k_e + k_h + k_u + k_{gr} \text{ DM/m}^2 \quad (13)$$

Die Einzelkosten bedeuten in gleicher Reihenfolge: Werkzeug-, Maschinen-, Lohn-, Energie-, Hilfsmittel-, Umspann- und Restgemeinkosten. Alle Kosten werden auf 1 m^2 Schnittfläche bezogen.

Faßt man die von der Vorschubgeschwindigkeit indirekt abhängenden Kosten zusammen (Maschinen-,

Lohn-, Energie- und Restgemeinkosten), so ergibt sich

$$k(u) = 1963,5 \cdot \frac{1}{u} \quad \text{DM/m}^2 \quad (14)$$

mit u in mm/min.

Hierbei wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

Maschinenanschaffungskosten	10000,— DM,
Maschinenausnutzungsgrad	0,8,
Lebensdauer der Maschine	8 Jahre,
jährliche Arbeitsstunden	2000,
Stundenlohn	5,50 DM,
Verteilzeitzuschlag	10%,
Antriebsleistung	1 kW,
Strompreis	0,10 DM/kWh,
Gemeinkostenzuschlag	80%.

Die vom schnittflächenbezogenen Verschleiß $\Delta R'$ direkt abhängenden Kosten (Werkzeugkosten) ergeben

$$k(\Delta R') = 0,0583 \cdot \Delta R' \quad \text{DM/m}^2 \quad (15)$$

mit $\Delta R'$ in $\mu\text{m/m}^2$,

wobei mit einem Sägeblattpreis von 350,— DM und einer Schleifbesatzhöhe von 6 mm gerechnet wurde.

Da das exzentrisch gespannte Sägeblatt einem sehr starken örtlichen Verschleiß unterliegt und dadurch seine Unrundheit vermindert wird, muß das Sägeblatt nach einer gewissen Zeit bzw. nach einer bestimmten gesägten Schnittfläche derart umgespannt werden, daß wieder die ursprüngliche Unrundheit vorhanden ist. Bei den durchgeführten Versuchen wurde die Sägeblattkontur laufend abgetastet, so daß die Unrundheit immer bekannt und der Umspannzeitpunkt leicht zu bestimmen war. Dieses Verfahren wäre jedoch für die Praxis zu aufwendig. Da aber die einfach zu messende Vorschubgeschwindigkeit stark von der Unrundheit abhängt, müßte in der Praxis bei einer bestimmten Vorschubbelastung, Schnittgeschwindigkeit, Werkstückhöhe und Glassorte für jedes Sägeblatt eine untere Vorschubgeschwindigkeit festgelegt werden, bei der das Sägeblatt umgespannt werden muß.

Die Umspannkosten sind also vor allem von der Zahl der nötigen Umspannungen je m^2 bzw. von der in der Standzeit, d. h. zwischen zwei Umspannungen gesägten Schnittfläche A_T abhängig. Sie treten natürlich nicht beim Sägen mit rundlaufendem Sägeblatt auf.

Veranschlagt man für die Umspannzeit 0,3 h und legt wieder die oben angegebenen Daten zugrunde, so erhält man für die nur von A_T abhängigen Umspannkosten

$$k(A_T) = 3,27 \cdot \frac{1}{A_T} \quad \text{DM/m}^2 \quad (16)$$

mit A_T in m^2 .

Die Hilfsmittelkosten wurden wegen ihres geringen Einflusses nicht mit in diese Kostenrechnung einbezogen.

Nach Addition der Gleichungen (14), (15) und (16) ergibt sich für die Fertigungskosten

$$k_f = 1963,5 \cdot \frac{1}{u} + 0,0583 \cdot \Delta R' + 3,27 \cdot \frac{1}{A_T} \quad \text{DM/m}^2. \quad (17)$$

In dieser Gleichung erscheinen als veränderliche Größen nur noch die Vorschubgeschwindigkeit u , der flächenbezogene radiale Sägeblattverschleiß $\Delta R'$ und die zwischen zwei Umspannungen erzeugte Schnittfläche A_T .

Um eine bessere Übersicht über den Einfluß dieser drei Größen auf die Kosten zu erhalten, wurde die Gleichung mit den drei Variablen u , A_T und $\Delta R'$ in Bild 20 in Form eines Nomogrammes grafisch dargestellt. Über den beiden Abszissen u und A_T sind die Kosten als Kurvenscharen mit den Parametern A_T und u aufgetragen; die verschleißbedingten Kosten werden durch das linke seitliche Diagramm berücksichtigt.

Leider ist es nicht möglich, die Kostenrechnung exakt durchzuführen, weil der schnittflächenbezogene radiale Verschleiß nicht für jede Einstellbedingung gesondert gemessen wurde. Da aber der bezogene Verschleiß einen relativ geringen Einfluß auf die Fertigungskosten hat, sei es gestattet, auf Grund der vorhandenen Werte für die verschiedenen Sägeblattaufspannarten und Glassorten den bezogenen Verschleiß zu schätzen.

Aus dem Nomogramm (Bild 20) ist zu erkennen, daß der Einfluß der Schnittfläche A_T , die beim Sägen mit exzentrisch gespanntem oder unrundem Sägeblatt zwischen zwei Umspannungen erzielt wird, von $A_T > 0,4 \text{ m}^2$ nur noch gering ist. Die Verschleißuntersuchungen zeigten nun (Bild 15), daß der schnittflächenbezogene radiale Verschleiß beim Sägen mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt für beide Glassorten über eine Schnittfläche von rund $0,4 \text{ m}^2$ konstant war. Da aber die Exzentrizitätsabnahme schon rund 15% betrug (Bild 17), wurde für dieses Verfahren die Schnittfläche, nach der das Sägeblatt umgespannt werden muß, zu $A_T = 0,4$ festgelegt. Wegen des stark degressiven Charakters der Verschleißkurve für das Sägen von BK7 mit zentrisch gespanntem, aber unrundem Sägeblatt wurde für A_T der Wert 0,25 angenommen.

Die Vorschubgeschwindigkeit übt nach Bild 20 den größten Einfluß auf die Kosten aus. Deshalb ist es sinnvoll, die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die maximal erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten durchzuführen, welche die zu vergleichenden Sägeverfahren zulassen.

Die folgende Tabelle 3 enthält die für die Kostenrechnung nötigen Werte für u_{max} , $\Delta R'$ und A_T sowie die Kostenanteile und die gesamten Fertigungskosten. Die maximalen Vorschubgeschwindigkeiten sind dem Bild 11 entnommen; der aus dem Bild 15 bestimmte schnittflächenbezogene Verschleiß ist wegen der höchstzulässigen Einstellbedingungen verdoppelt worden. Für

Tabelle 3. Kostenanteile und gesamte Fertigungskosten k_f

Kostenanteile	Sägeblattaufspannung/-form		
	zentrisch/ rund	exzentrisch/ rund	zentrisch/ unrund
n in min^{-1}	1915	1915	1915
P_{vg} in kp	9,0	5,5	5,0
u_{max} in mm/min	32,5	38	60
$\Delta R''$ in $\mu\text{m/m}^2$	20	60	100
A_T in m^2	$\rightarrow \infty$ ¹⁾	0,4	0,25
$k(u)$ in DM/m^2	60,40	51,60	32,70
$k(\Delta R'')$ in DM/m^2	1,17	3,50	5,83
$k(A_T)$ in DM/m^2	—	8,17	13,10
k_f in DM/m^2	61,57	63,27	51,63

¹⁾ Bei zentrisch gespanntem, rundem Sägeblatt entfällt das Umspannen, so daß A_T gegen unendlich geht und der letzte Summand in Gleichung (17) null wird.

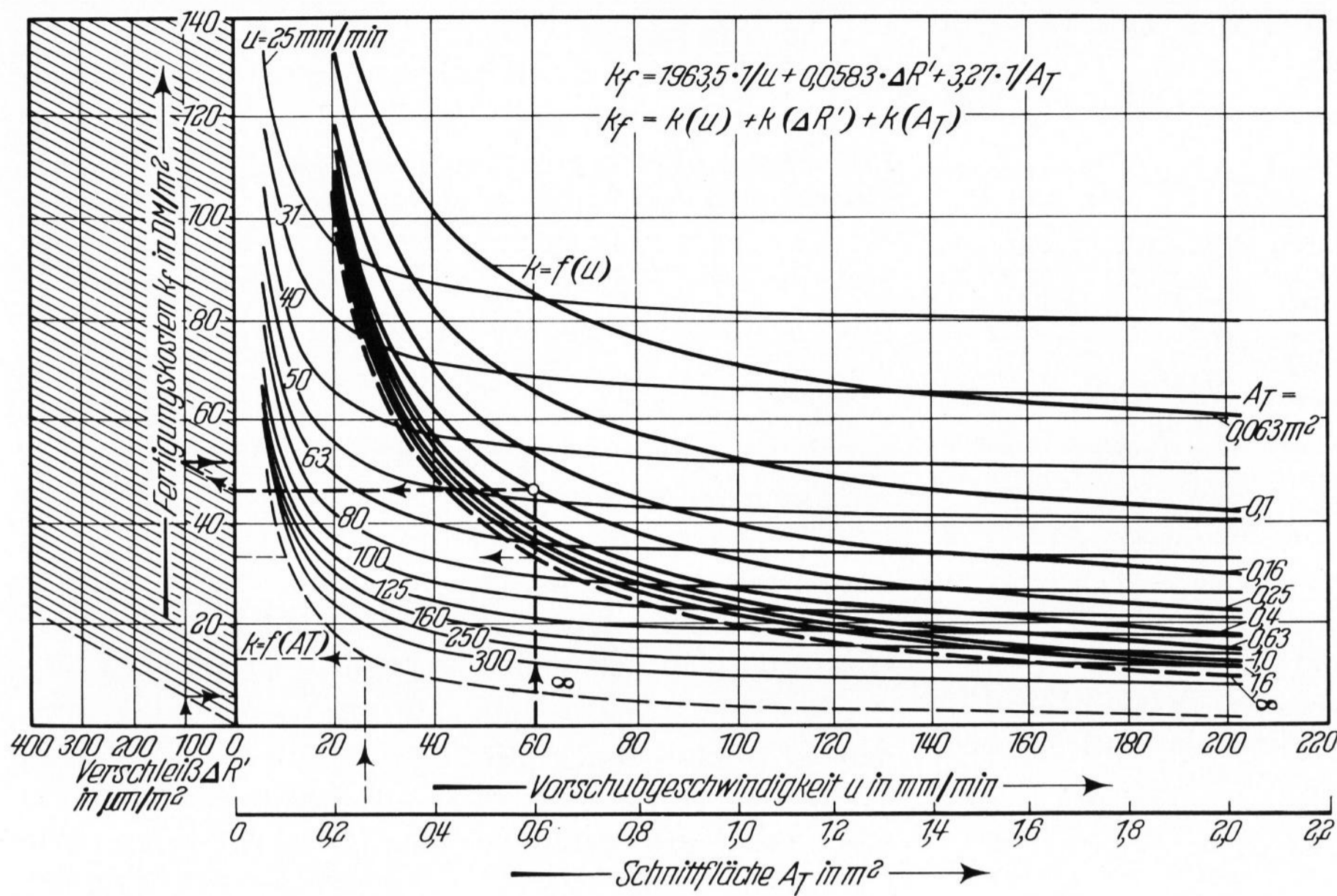


Bild 20. Nomogramm zur Ermittlung der Fertigungskosten.

das unrunde Sägeblatt ist ein Ablesebeispiel in das Nomogramm (Bild 20) eingetragen.

Tabelle 3 und das Säulendiagramm (Bild 21) zeigen deutlich, daß für maximale Vorschubgeschwindigkeiten die Kosten für das Sägen mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt und die für das Sägen mit rundlaufendem Sägeblatt fast gleich sind. Jedoch ergibt sich eine Kostenersparnis von rund 17%, wenn mit unrundem Sägeblatt gearbeitet wird. Auffallend ist, daß beim letzten Verfahren die verschleißbedingten und vor allem die Umspannkosten fast 60% der Gesamtkosten betragen. Wird also durch geeignete Wahl der Diamantbestückung und Bindungshärte (vgl. Kapitel 5.7.) erreicht, daß der Verschleiß kleiner und damit die Schnittfläche A_T zwischen zwei Umspannungen größer wird, so lassen sich die Fertigungskosten beim Sägen von BK7 mit zentrisch gespanntem, aber unrundem Sägeblatt noch weiter senken.

Vergleicht man die beim F2-Sägen anfallenden Kosten (3. Säulengruppe in Bild 21) mit denen beim Sägen von BK7 bei gleichem Sägeblattzustand (2. Säulengruppe), so sieht man, daß wegen der kleineren erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten und des größeren Verschleißes die BK7-Kosten rund doppelt so hoch sind.

Beim Sägen des relativ weichen Glases F2 mit höchstzulässigen Einstellbedingungen stellt sich eine deutliche Überlegenheit des Sägens mit rundlaufendem Sägeblatt heraus. Die Kosten für das Sägen mit exzentrisch gespanntem Blatt liegen hier um 80% höher.

Für kleinere Drehzahlen und Vorschubgewichte steigen die Kosten für das Sägen mit rundlaufendem Sägeblatt wesentlich stärker an als beim Sägen mit exzentrisch gespanntem Blatt, so daß sich für diese für die Praxis allerdings wenig interessanten Einstellbedingungen eine Überlegenheit des Sägens mit exzentrisch gespanntem Sägeblatt ergibt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß das Sägen mit exzentrisch gespanntem bzw. unrundem Sägeblatt nur für harte Glassorten wie BK7 Kostenersparnisse erbringt, während es für weiche Glassorten wie F2 unwirtschaftlich gegenüber dem Sägen mit rundlaufendem Sägeblatt ist.

7. Rauheit und Schartigkeit

7.1. Versuchsdurchführung

Die Rauhtiefenmessungen wurden mit einem Perth-O-Meter auf beiden Schnittflächen an allen vier Ecken der Platten je 10mal vorgenommen. Der Tastweg betrug 10 mm; die Tastrichtung verlief senkrecht zur Schnittrichtung.

Die Kantenschartigkeit der Platten wurde durch Abtasten der durch die Schnittfläche und die horizontal liegende Fläche des eingespannten Glasklotzes gebildeten Kante mit Hilfe eines induktiven Wegaufnehmers mit Diamantkegel-Tastspitze bestimmt²⁾. Die Rauhtiefe der horizontal liegenden Glasklotzflächen betrug entweder $R_t = 0,25 \mu\text{m}$ (polierte Oberfläche) oder $R_t = 25 \mu\text{m}$ (gesägte Oberfläche), so daß auch ein möglicher Einfluß dieser Oberflächenbeschaffenheit auf die Kantenschartigkeit ermittelt werden konnte.

²⁾ Die Diamantkegelspitze liefert bei der Abtastung von Glaskanten mit durch Ausplatzungen bedingten relativ großen Schartentiefen bessere Ergebnisse als ein schneidenförmiger Taster.

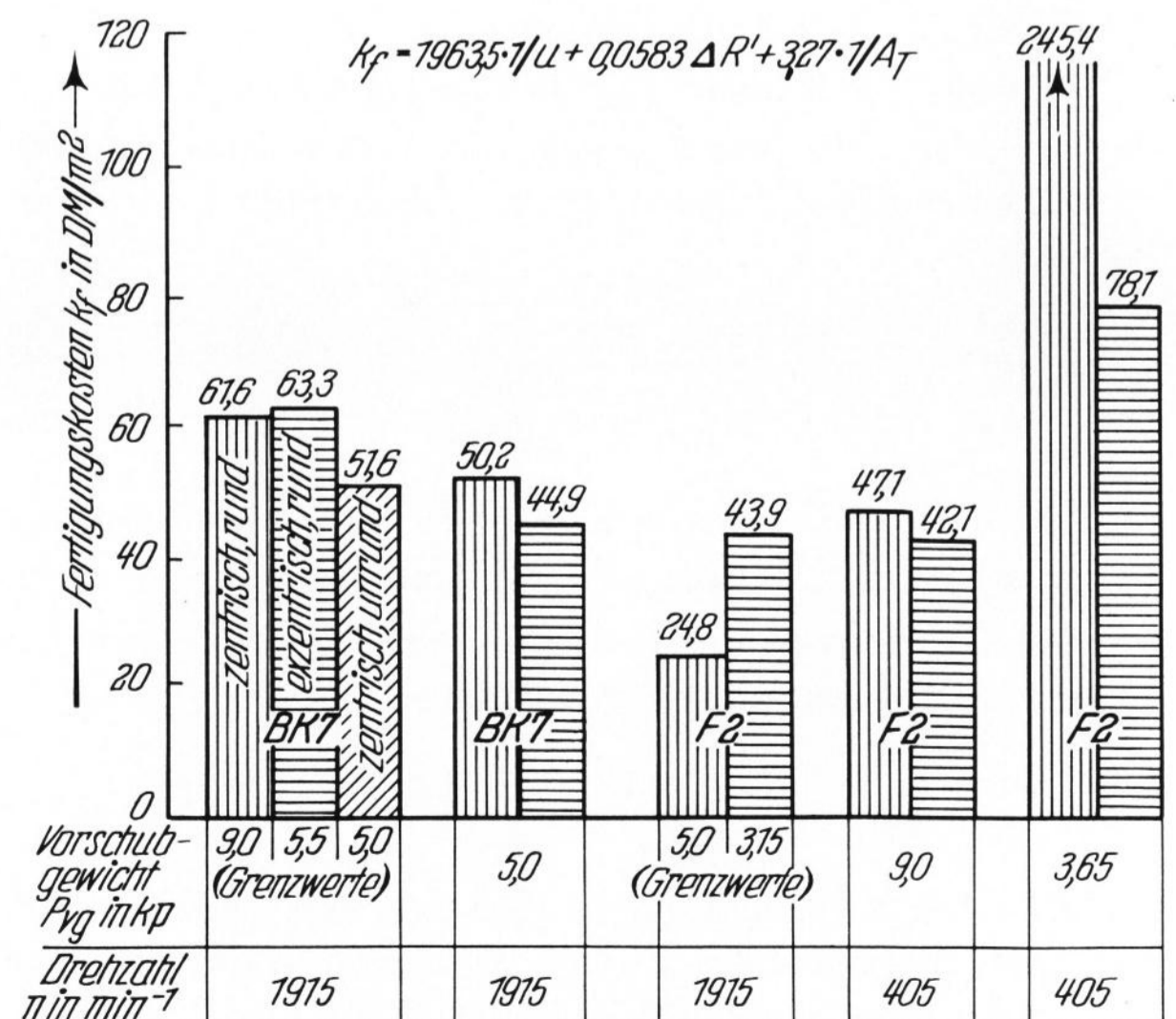


Bild 21. Vergleich der Fertigungskosten.

7.2. Meßergebnisse

Die starke Abhängigkeit der Rauhtiefen der gesägten Schnittflächen vom Radialschlag geht aus Bild 22 hervor und ist mit dem wachsenden Vorschub je Umdrehung bei exzentrischer Sägeblattaufspannung zu erklären. Sowohl bei der kleinen ($n = 426$) als auch bei der großen Drehzahl ($n = 1720$) besteht im untersuchten Exzentrizitätsbereich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Rauhtiefe und Exzentrizität.

In Bild 23 sind die Ergebnisse der Rauhtiefen- und Schartentiefenuntersuchungen beim Sägen von BK7 a) für die zentrische und b) für die exzentrische ($e = 50 \mu\text{m}$) Sägeblattaufspannung gegenübergestellt. Die Darstellung ist so zu verstehen, daß von der Schnittfuge, die idealisiert durch zwei in gleichem Abstand liegende parallele Ebenen begrenzt wird, die an den vier Meßstellen der rechten und linken Schnittflächen ermittelten Rauhtiefen auf den horizontalen Kanten des Glasblockes aufgetragen sind. Die Schartentiefen der Ein- bzw. Austrittskanten sind auf der Ober- bzw. Unterseite des Glasblockes eingezeichnet. Die eingetragenen Meßpunkte stellen bei den Rauhtiefen Mittelwerte aus 40 Messungen, bei den Schartentiefen Mittelwerte aus 4 Messungen dar. Der Vergrößerungsfaktor für die Rauhtiefen beträgt $5 \cdot 10^2$, der der Schartentiefen $5 \cdot 10^1$.

Schon auf den ersten Blick fällt die fast völlige Übereinstimmung der eingezeichneten Schartentiefen mit den Rauhtiefen auf, so daß gesagt werden kann, daß sich die Rauhtiefe zur Schartentiefe wie 1:10 verhält. Rau- und Schartentiefen müssen also auf die gleichen Ursachen zurückgeführt werden.

Beim Sägen von BK7 mit zentrisch gespanntem, rundem Sägeblatt (Bild 23a) steigen Rau- und Schartentiefen mit zunehmender Vorschubbelastung an, was mit größer werdendem Vorschub je Umdrehung, welcher der Überschliffzahl indirekt proportional ist, zu erklären ist. Der Anstieg der Rauhtiefen mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit findet seine Erklärung in axialen (Flutter-)Schwingungen des Sägeblattes, die bei höheren Drehzahlen verstärkt auftreten und dadurch eine intensivere Zertrümmerung der Schnittflächen bewirken.

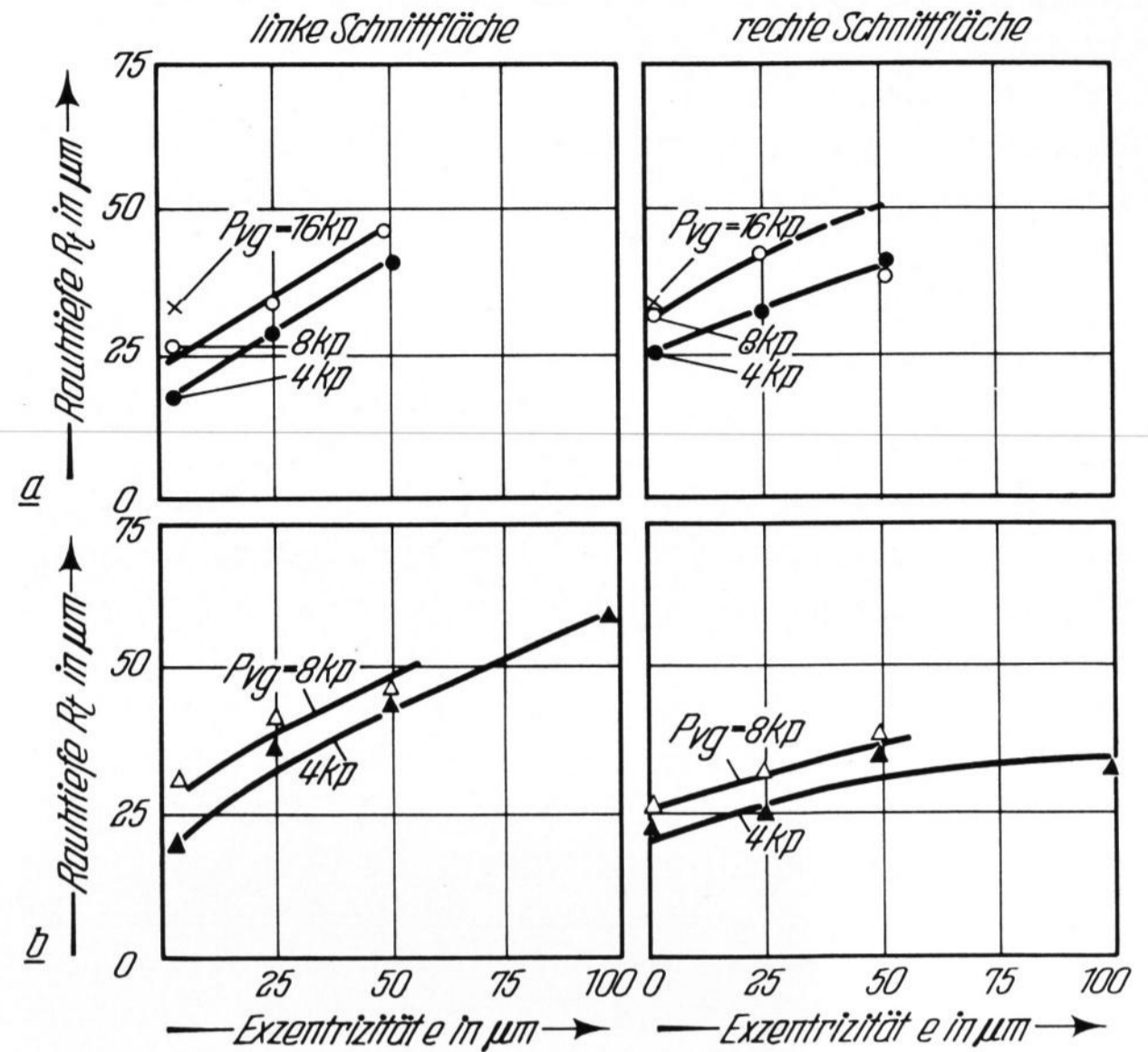
Für diese Theorie spricht auch die Tatsache, daß bei hoher Drehzahl die Rauhtiefen mit größer werdender Einstechtiefe abnehmen. Das flatternde Sägeblatt wird in der Schnittfuge nämlich mehr und mehr gedämpft. Die Dämpfung ist bei kleinen Vorschubgewichten besonders ausgeprägt, weil bei großen Belastungen das Sägeblatt von vornherein weniger stark zu Schwingungen neigt.

Ein gesicherter Einfluß der Eingriffstiefe in Schnittrichtung auf Rau- und Schartentiefe ist nicht zu erkennen. Auch ist nicht mit Sicherheit festzustellen, daß die Oberflächenbeschaffenheit (gesägt oder poliert) die Schartentiefe beeinflusst.

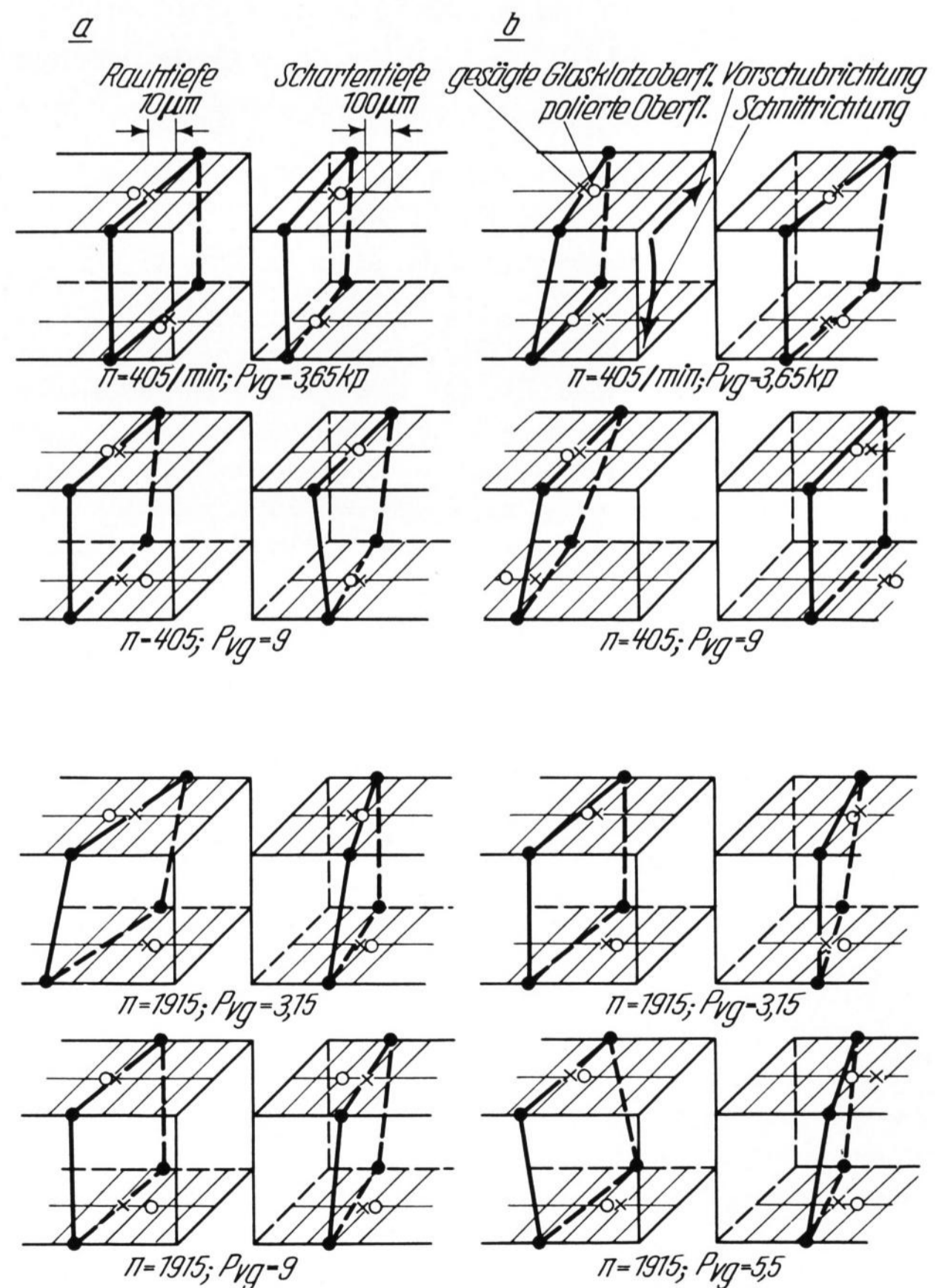
Für das Sägen von BK7 mit exzentrisch gespanntem, rundem Sägeblatt gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für das Sägen mit zentrisch gespanntem Blatt; nur liegen die Absolutbeträge der Rau- und Schartentiefen wesentlich höher als beim rundlaufenden Werkzeug. Rauhtiefen über $50 \mu\text{m}$ bzw. Kantenschartigkeiten über $500 \mu\text{m}$ treten aber nicht auf, so daß der Umfang des dem Sägen nachfolgenden Fertigungsverfahrens nicht beeinträchtigt werden dürfte.

Die Rau- und Schartentiefen des weicheren Glaswerkstoffes F2 lagen in der gleichen Größenordnung wie

die BK7-Werte. Das liegt daran, daß dem die Rau- und Schartentiefen vergrößernden Einfluß auf Grund des erhöhten Vorschubes je Umdrehung der Einfluß der geringeren Splitterneigung von F2 entgegenwirkt. Im übrigen ergaben sich die gleichen Tendenzen wie beim



Bilder 22a und b. Einfluß der Exzentrizität auf die Rauhtiefe beim Sägen von BK7, a) Sägeblattdrehzahl $n = 426 \text{ min}^{-1}$, b) Sägeblattdrehzahl $n = 1720 \text{ min}^{-1}$.



Bilder 23a und b. Rau- und Schartentiefen beim Sägen von BK7. Sägeblattaufspannung: a) zentrisch, b) exzentrisch ($e = 50 \mu\text{m}$).

Sägen von BK7, so daß sich eine weitere Diskussion der Ergebnisse erübrigt.

8. Zusammenfassung

Nach einer kurzen Beschreibung der Versuchsmaschine mit ihren Meßeinrichtungen sowie der untersuchten Werkstoffe und Werkzeuge wird der Einfluß des Radialschlages eines abgerichteten (runden) aber exzentrisch gespannten Sägeblattes auf die Kinematik des Kreissägens mit gewichtsbetätigtem Vorschub untersucht.

Die Eigenfrequenzen des aus Werkstücksupport und Vorschubgewicht bestehenden Zwei-Massen-Systems und die kritischen Drehzahlen, bedingt durch die exzentrische Spannung des Sägeblattes, werden theoretisch berechnet und experimentell nachgewiesen. Sowohl die kritischen als auch die den Eigenfrequenzen entsprechenden Drehzahlen liegen im Bereich der Drehzahlen, welche die auch in der Praxis angewendeten Schnittgeschwindigkeiten zwischen 10 und 35 m/s ergeben. In Abhängigkeit von der Sägeblattdrehzahl werden für verschiedene Exzentrizitäten die auf den Sägeblattumfang bezogenen Eingriffszeiten, die Lage und Größe der Vorschubkraftspitzen sowie die Wegamplituden des in Vorschubrichtung frei schwingfähigen Werkstücksupportes bestimmt und gezeigt, daß das Zeitspanvolumen im wesentlichen von der Größe der Vorschubkraftspitze und nur unbedeutend von der Zeitdauer des Eingriffs abhängt und es um so größer ist, je stärker das

Sägeblatt exzentrisch gespannt wird. Die optimale Exzentrizität beträgt $e = 50 \mu\text{m}$.

Für die Praxis folgt aus umfangreichen Verschleißuntersuchungen an diamantbesetzten Kreissägeblättern beim Sägen von verschiedenen optischen Glasarten mit rundem, aber exzentrisch gespanntem bzw. unrundem, zentrisch gespanntem und rundem, zentrisch gespanntem Sägeblatt, daß bei rundlaufendem Werkzeug weiche Glasarten wie F2 und SF6 zweckmäßig mit Sägeblättern großer Körnung (z. B. D 250), härtere Gläser wie BK7 und ZK7 dagegen besser mit kleineren Körnungen gesägt werden sollten; bei unrundlaufendem Werkzeug hingegen sollte für alle Glasarten ein Sägeblatt mit grober Körnung und hoher Diamantkonzentration gewählt werden. Doch sollte beim Sägen weicher Glasarten ein Radialschlag des Sägeblattes möglichst vermieden werden, weil eine Wirtschaftlichkeitsrechnung gezeigt hat, daß das Sägen mit rundem, aber exzentrisch gespanntem bzw. unrundem, zentrisch gespanntem Werkzeug nur bei harten Glasarten die Fertigungskosten senkt.

Die Rauhtiefen der Schnittflächen und die Kantenschartigkeiten des Werkstückes werden zwar durch das unrundlaufende Werkzeug vergrößert, doch liegen ihre Höchstwerte in der Größenordnung von 50 bzw. 500 μm , so daß der Umfang des dem Sägen nachfolgenden Bearbeitungsverfahrens nicht beeinträchtigt werden dürfte. (49052)

Kurzbeiträge

DK 748''16/17'':666.28(091):929.71

Gläser des 17. und 18. Jahrhunderts mit Ordenskettten

VON ANNALIESE OHM, Frankfurt (Main)

(Mitteilung aus dem Museum für Kunsthandwerk
Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 21. März 1969)

Das Fest der Ordensketttenverleihung war ein großes Ereignis in barocker Zeit. Nach den feierlichen Zeremonien, mit denen der Auserwählte in den Orden aufgenommen wurde, folgte das Festmahl, auf dessen Höhepunkt der Souverän dem neuen Ritter mit einem Glaspokal, der Wappen und Ordenszeichen trug, ein Vivat zusprach. Anschließend wurde dem Neuaufgenommenen der Pokal als Geschenk überlassen.

Mit Gläsern, die für diese Anlässe gefertigt wurden, und mit Gläsern, die überhaupt Darstellungen von Ordensinsignien tragen, beschäftigt sich dieser Aufsatz¹⁾. Auf etwa 150 Gläsern wurden Ordenszeichen von 17 Ordenskongregationen gefunden. Vorwiegend stammen die Gläser aus böhmischen, schlesischen, mitteldeutschen und niederländischen Hütten des 17. und 18. Jahrhunderts.

Haben die Ordensgründungen des früheren Mittelalters ausschließlich religiösen Charakter, so werden diese Zielsetzungen im späten Mittelalter entschieden politisiert. Der neu aufgenommene Ritter mußte sich verpflichten, nur diesem einen Orden anzugehören und dem Souverän dieses Ordens in Krieg und Frieden beizustehen und zu dienen. Als Gegenleistung wurde er dafür in den engeren Kreis der Ratgeber des Fürsten aufgenommen [1]. In barocker Zeit treten diese politischen Ziele immer mehr in den Vordergrund. Die

Verleihung der Ordensmitgliedschaft wird immer mehr zu einem diplomatischen Akt. Es ist erklärlich, daß gerade in der Zeit des Absolutismus zahlreiche Ordensneugründungen, bzw. -restaurierungen stattfanden, denn diese Institutionen waren vorzüglich geeignet, den Herrscher, der ja an ihrer Spitze stand, glanz- und prunkvoll herauszustellen.

Die Insignien der bedeutendsten Orden der damaligen Zeit (des spanischen und österreichischen Goldenen Vlieses, des preußischen Schwarzen Adler-Ordens, des sächsisch-polnischen Weißen Adler-Ordens, des englischen Hosenbandordens und dänischen Elefanten-Ordens) sind erklärlicherweise auch am häufigsten wiedergegeben.

Die ersten Gläser mit Darstellungen von Ordenskettten oder Kleinodien²⁾ finden sich auf Walzenhumpen süddeutscher und böhmischer Herkunft und sind in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts entstanden. Auf ihnen ist in Email- und Goldmalerei der Reichsadler dargestellt, der als Herzschild Wappen oder Brustbild des Kaisers zeigt, bzw. den thronenden Herrscher, der von den Kurfürsten umgeben ist. Der Kaiser, der hier noch als Symbol, nicht als lebensnahes Portrait erscheint, trägt die Ordenskette über seinem Ornat, die Wappen schmückt, als fester Bestand, die Kette wie eine Rahmung. Bei den Darstellungen dieser Gläser handelt es sich immer um die Kette des Goldenen Vlieses, des bedeutendsten Ordens in katholischen Ländern (1430 durch Herzog PHILIPP den Guten von Burgund in Brügge gegründet) [2].

In der Mitte und zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts tauchen diese Darstellungen auf geschnittenen, geschliffenen und diamantgerissenen Gläsern Nürnberger und niederländischer Hütten auf. Es handelt sich um Flöten und Becher, weniger um Pokale. Pokale finden sich in erster Linie in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, der Regierungszeit KARLS VI. (1711 bis 1740), unter dem die Spaltung des Ordens in einen spanischen und einen österreichischen Zweig (1714) erfolgte. Sie sind vorwiegend in böhmischen und

¹⁾ Das Thema wurde auf der 42. Glastechnischen Tagung am 16. Mai 1968 in Würzburg vorgetragen. Eine ausführliche Darlegung mit Katalogteil der zusammengestellten Gläser erscheint voraussichtlich im Herbst 1969 im Journal of Glass Studies, The Corning Museum of Glass, Corning, N. Y. Es wird im vorliegenden Kurzbeitrag daher nur auf die großen Zusammenhänge eingegangen.

²⁾ Mit Kleinod wird der Kettenanhänger bezeichnet.