

Zur Ermittlung der Bruchgeschwindigkeit aus Wallner-Linien muß aber in allen Fällen die Lage ihrer Ursprungspunkte (in Bild 14: A_1 und A_2) bekannt sein.

In Bild 14 ist im übrigen noch ein — als gezackte Linie dargestellter — Lanzettbruch L gezeichnet, der, da er die Bruchrichtung repräsentiert, senkrecht auf der Winkelhalbierenden des Schnittwinkels φ stehen muß.

Natürlich können die Ursprungspunkte von Wallner-Linien auch außerhalb der Bruchfläche liegen, etwa in Kerbstellen, die bei einer starken dynamischen Beanspruchung ebenfalls zur Aussendung von bruchzeichnenden elastischen Impulsen angeregt werden können. Auf diese Möglichkeit der Erzeugung „anomaler“

Wallner-Linien hat SCHARDIN [17] schon hingewiesen. Liegt der Ursprung eines solchen Impulses in weiter Entfernung senkrecht über der Bruchfläche, so sollte theoretisch eine Wallner-Linie mit einer Bruchfront identisch sein (vgl. KERKHOF [8]). Es ist anzunehmen, daß bei der Entstehung eines sogenannten Muschelbruches oder einer Spaltfläche unter Schlagbeanspruchung viele anomale Wallner-Linien auf diese Weise entstehen.

In diesem verallgemeinerten Sinne können die Schlagwellen auf den archäologischen Funden in Bild 3a und 3b tatsächlich als Wallner-Linien angesehen werden, die — erwartungsgemäß — ungefähr senkrecht auf den, wenn auch spärlichen, lanzettartigen Bruchlinien stehen.

3. Literatur

- [1] ADRIAN, W.: Die Frage der norddeutschen Eolithen. Paderborn: Schöningh 1948.
- [2] CRANZ, C. und SCHARDIN, H.: Kinematografie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz. Z. Phys. **56** (1929) S. 147—183.
- [3] CULF, C. J.: Fracture of glass under various liquids and gases. J. Soc. Glass Technol. **41** (1957) S. 157—167 T. [Ref. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 354.]
- [4] HERTZ, H.: Gesammelte Werke. Bd. 1. Leipzig: Barth 1895.
- [5] HUBER, M. T.: Zur Theorie der Berührung fester elastischer Körper. Ann. Phys. **14** (1904) S. 153—163.
- [6] JEBSEN-MARWEDEL, H.: Glas als Rekonstruktionsmodell für die steinzeitliche Feuersteinbearbeitung. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 485—486.
- [7] KERKHOF, F.: Bestimmung der maximalen Bruchgeschwindigkeit verschiedener Gläser nach der Ultraschall-Methode. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 267—272.
- [8] KERKHOF, F.: Sprödbbruchmodulation durch elastische Wellen. In: VOLLRATH, K. und THOMER, G. (Hrsg.): Kurzzeitphysik. Wien, New York: Springer 1967. S. 498 bis 552.
- [9] KERKHOF, F. und RICHTER, H.: Die kritische spezifische Bruchenergie und ihre Messung an verschiedenen Gläsern mit Hilfe der Ultraschallfraktografie. Glastechn. Ber. **42** (1969) Nr. 4, S. 129—136.
- [10] LUMLEY, H. DE U. a.: La grotte du Vallonet, Roquebrune-Cap-Martin (A.-M.). Note préliminaire. Bull. Mus. Anthropol. préhistor. Monaco **10** (1963) S. 5—20.
- [11] LYELL, CH.: Das Alter des Menschengeschlechtes auf der Erde und der Ursprung der Arten durch Abänderung nebst Beschreibung der Eiszeit in Europa und Amerika. Leipzig: Thomas 1864. S. 75.
- [12] MÜLLER-BECK, H.: Das Altpaläolithikum. In: DRACK, W. (Hrsg.): Ur- und frühgeschichtliche Archäologie der Schweiz. Bd. 1: Die ältere und mittlere Steinzeit. 1968. S. 89—106.
- [13] PETER, K.: Sprödbbruch und Mikroplastizität von Glas in Eindruckversuchen. Glastechn. Ber. **37** (1964) S. 333 bis 345.
- [14] PFEIFFER, L.: Die steinzeitliche Technik und ihre Beziehung zur Gegenwart. Jena: G. Fischer 1912.
- [15] PONCELET, E. F.: The markings on fracture surfaces. J. Soc. Glass Technol. **42** (1958) S. 279—288 T. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 208.]
- [16] ROESLER, F. C.: Brittle fractures near equilibrium. Proc. phys. Soc. **B 69** (1956) S. 981—992. [Ref. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 354.]
- [17] SCHARDIN, H.: Ergebnisse der kinematografischen Untersuchung des Glasbruchvorganges. III. Teil. Glastechn. Ber. **23** (1950) S. 325—336.
- [18] SCHMIDT, R. R.: Die diluviale Vorzeit Deutschlands. Stuttgart: Schweizerbarth 1912.
- [19] SMEKAL, A.: Zum Bruchvorgang bei sprödem Stoffverhalten unter ein- und mehrachsigen Beanspruchungen. Österr. Ing. Arch. **7** (1953) S. 49—70. [Ref. Glastechn. Ber. **27** (1954) S. 398.]
- [20] SOMMER, E.: Formation of fracture „lances“ in glass. Eng. Fract. Mech. **1** (1969) S. 539—546.
- [21] TILLET, J. P. A.: Fracture of glass by spherical indenters. Proc. phys. Soc. **B 69** (1956) S. 47—54. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 372.]
- [22] TIMOSHENKO, S. und GOODIER, J. N.: Theory of elasticity. New York, Toronto, London: McGraw-Hill 1951.
- [23] TURNER, D. N., SMITH, P. D. und ROTSEY, W. B.: Hertzian stress cracks in beryllia and glass. J. Amer. ceram. Soc. **50** (1967) S. 594—598.
- [24] VOLLRATH, K.: Funkenlichtquellen und Hochfrequenz-Funkenkinematografie. In: VOLLRATH, K. und THOMER, G. (Hrsg.): Kurzzeitphysik. Wien, New York: Springer 1967. S. 76—165.
- [25] WALLNER, H.: Linienstrukturen an Bruchflächen. Z. Phys. **114** (1939) S. 368—378. [Ref. Glastechn. Ber. **18** (1940) S. 52.] (50456)

DK 666.1.036.4(091):666.1(091):92 Fourcault

Fünfzig Jahre mechanische Tafelglaserzeugung nach dem Fourcault-Verfahren. Zum fünfzigsten Todestag Emile Fourcaults

VON HERBERT GOERK, Witten (Ruhr)

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

(Eingegangen am 1. August 1969)

Im Jahre 1919 erreichte die Entwicklung des mechanischen Ziehprozesses nach FOURCAULT betriebliche Reife, und seine Einsatzfähigkeit im industriellen Maßstabe wurde erwiesen. Im gleichen Jahre, am 11. Oktober 1919, verschied EMILE FOURCAULT, der große belgische Erfinder und Mensch.

Im Jahre 1969 jährt es sich zum fünfzigsten Mal, daß der mechanische Ziehprozeß für die Erzeugung von Tafelglas nach dem Fourcault-Verfahren bis zur betrieblichen Reife entwickelt und der Nachweis für seine

industrielle Einsatzfähigkeit erbracht wurde. Im gleichen Jahre, am 11. Oktober, gedenken wir des fünfzigsten Todestages des großen Erfinders und Menschen EMILE FOURCAULT.

Die Einführung des mechanischen Ziehprozesses in den Jahren nach 1919 bedeutete eine Umwälzung in der Erzeugung von Tafelglas. Bis dahin wurde Fensterglas nach dem Mundblasverfahren hergestellt. Die Arbeitsweise ist allgemein bekannt. Ein entsprechender Posten der zähflüssigen Glasmasse wird mit der Pfeife aufgenommen und allmählich, unter beständigem Schwenken, zu einem Zylinder, der sogenannten Walze, aufgeblasen. Diese mußte nunmehr abgesprengt und in Längsrichtung aufgeschnitten werden, um endlich in einem Streckofen aufs neue bis zur Erweichung erhitzt und auf einer ebenen Schamotteunterlage zu einer ebenen Glastafel ausgebügelt zu werden. Auch die Herstellungsverfahren nach SIEVERT und nach LUBBERS behielten grundsätzlich den gleichen technologischen Vorgang bei. Für das Aufblasen der Walze wurde lediglich die Lungenkraft des Glasbläfers durch einen mechanisierten Blas-, bzw. Blasziehprozeß ersetzt. Dem Sievert-Verfahren war eine Realisierung in betrieblichem Maßstabe nur in der Glashütte des russischen Grafen ORLOV-DAVIDOV in Sudimir bei Briansk knapp vor Beginn des Ersten Weltkrieges beschieden [1]. Das Lubbers-Verfahren gelangte zu Beginn dieses Jahrhunderts in den Vereinigten Staaten von Amerika zu einer gewissen Bedeutung. Es wurde auch in Europa verwendet. So wurden z. B. in Deutschland in der Glashütte Witten-Crengeldanz drei Lubbers-Maschinen aufgestellt; die erste wurde am 11. November 1911 in Betrieb genommen [2]. In Böhmen arbeitete eine Lubbers-Maschine in der Hütte in Třemošná bei Pilsen, doch war die Glasqualität nicht befriedigend, und das Verfahren wurde nicht mehr in das Hauptwerk in Unterreichenau übertragen [3].

Der Gedanke, den technologisch unrichtigen Herstellungsvorgang einer ebenen Glastafel über den Umweg eines Zylinders auszuschalten und diese unmittelbar aus der Oberfläche eines geschmolzenen Glasbades zu formen, war eigentlich naheliegend. So einfach seine Ausführung auch erscheinen mag, so schwierig war seine Realisierung bis zur betrieblichen Reife.

Als EMILE FOURCAULT noch ein Kind von 9 Jahren war, entwarf bereits der Franzose VALLIN eine vollkommen richtige Vorstellung für einen Tafelglasziehprozeß. Die französische Patentschrift Nr. 91 787, die im Jahre 1871 VALLIN erteilt wurde [4], zeigte eine erstaunliche Voraussicht für die Belange und Erfordernisse des mechanischen Ziehens von Tafelglas. Die Patentschrift enthielt bereits Skizzen für eine Maschine für das vertikale Ziehen, bestehend aus übereinander angeordneten Asbestwalzenpaaren. Sie enthält sogar einen Vorschlag für das Umbiegen des vertikal aus der Glasoberfläche ausgehobenen Glasbandes über eine Umlenkwalze in die Waagerechte. Für die Erhaltung einer stets gleichen Glasbandbreite schlug VALLIN wohl als erster zangenförmig ausgebildete Bortenhalter vor. Doch blieb dem Erfinder die Übertragung seiner Ideen in die betriebliche Praxis versagt. Noch vorher, etwa um 1857, scheiterte der Engländer CLARK gerade an dem Teilproblem der Erhaltung einer stets konstanten Glasbandbreite während des Ziehens [5, 6, 7].

Von den Erfindern, die sich das Ziehen eines ebenen Glasbandes unmittelbar aus der Oberfläche eines Glasbades zur Aufgabe gemacht hatten, war der Erfolg als erstem FOURCAULT beschieden. Das Übermaß an Schwierigkeiten, die sich FOURCAULT bei der Lösung dieser Aufgabe entgingen, aber auch die bewunderns-

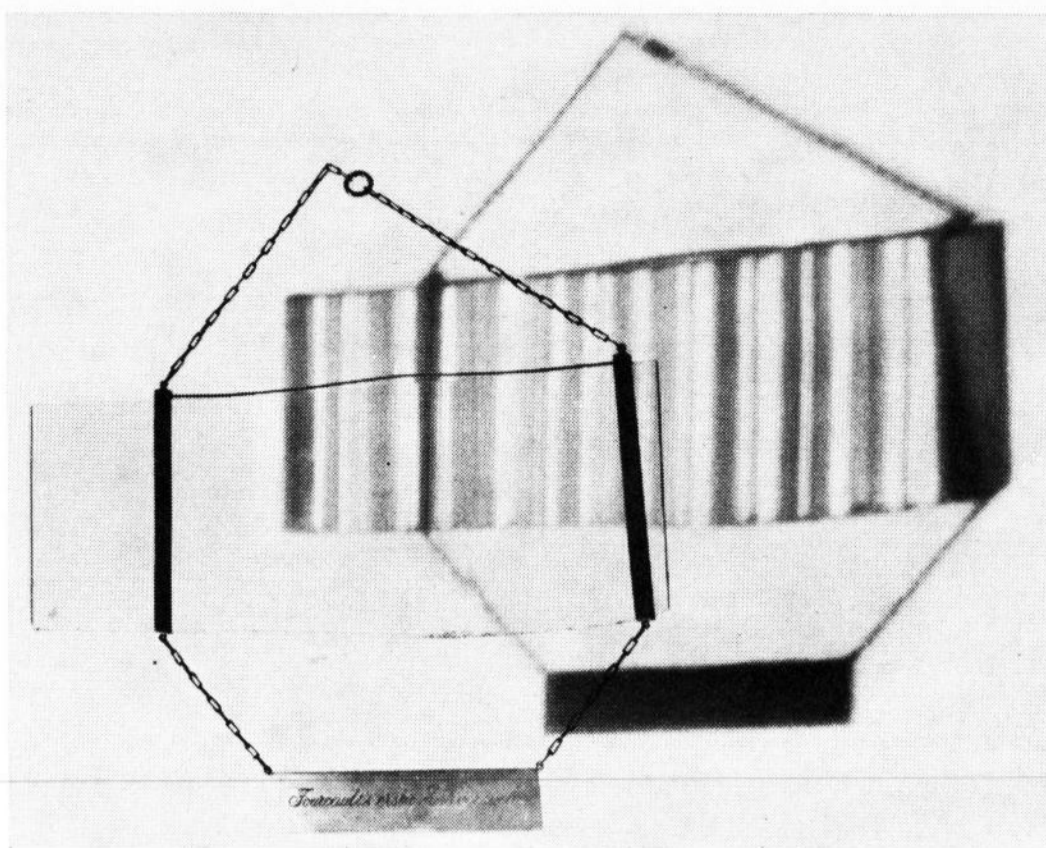


Bild 1. Tafelglas von den ersten Ziehversuchen FOURCAULTS.

werte Tatkraft und Ausdauer, die er bei der Verfolgung seines Zieles bewies, sind bereits von berufener Seite ausführlich geschildert worden [8]. Deshalb sollen hier nur mehr die entscheidenden Phasen der Entwicklung des mechanischen Ziehprozesses nach den Ideen von FOURCAULT aufgeführt werden. Diese waren die Erteilung eines französischen Patentbeschlusses im Jahre 1902 [9], auf welches sinngemäße Patente in anderen Ländern, in Deutschland z. B. zwei Patente im Jahre 1904, folgten. Doch war FOURCAULT bereits 1910 genötigt, seine Rechte teilweise, soweit diese das Ziehen von Tafelglas einer Dicke größer 4 mm betrafen, an die Internationale Spiegelglas Union zu veräußern, um sich für weitere Versuche das erforderliche Kapital zu verschaffen. Die Patentrechte für die zu jener Zeit wichtigeren Glasdicken bis zu 4 mm behielt sich FOURCAULT jedoch zur eigenen Verfügung vor. Für diese Rechte interessierte sich nun ein Kreis deutscher und böhmischer, damals österreichischer Fensterglaserzeuger. Die deutsche Gruppe bildete die Deutsche Glasgesellschaft mbH, welcher vor allem die Firmen Vereinigte Vopelius'sche und Wentzel'sche Glashütten GmbH und Gebrüder Müllensiefen angehörten. Die österreichische Gruppe bildeten die damals in der Handelsgesellschaft Vereinigter Tafelglasfabriken in Prag zusammengeschlossenen Firmen. FOURCAULT schloß mit diesen beiden Gruppen einen Vertrag, auf Grund dessen im Jahre 1912 eine Aktiengesellschaft Verreries de Dampremy mit einem Aktienkapital von 1 Million belg. Frs. gegründet wurde. An dieser war die Familie FOURCAULT und ihre Freunde, vor allem Herr HENRI LAMBERT, weiter die deutsche und die österreichische Gruppe gleichmäßig mit einem Drittel beteiligt. Im Verwaltungsrat war die deutsche Gruppe durch Herrn Dipl.-Ing. HANS BLANK und die österreichische durch Herrn Dr.-Ing. e. h. JOSEF MAX MÜHLIG vertreten [10]. Neben der Aktiengesellschaft entstand noch eine Firma Fourcault & Cie., die Inhaberin der Patente in den einzelnen Ländern blieb.

In Dampremy wurde ein für damalige Verhältnisse sehr großer Glasschmelzofen mit acht Fourcault-Ziehmaschinen gebaut; sieben Maschinen für eine Glasbandbreite von 1 m und eine Maschine für 1,25 m. Die Anlage nahm im Frühjahr 1914 den Betrieb auf, mußte aber im Herbst desselben Jahres infolge der Kriegsereignisse wieder stillgelegt werden. Ein kleines Stück Tafelglas aus den ersten Ziehversuchen ist erhalten geblieben (Bild 1). Das Schattenbild dieses Glasmusters auf einem

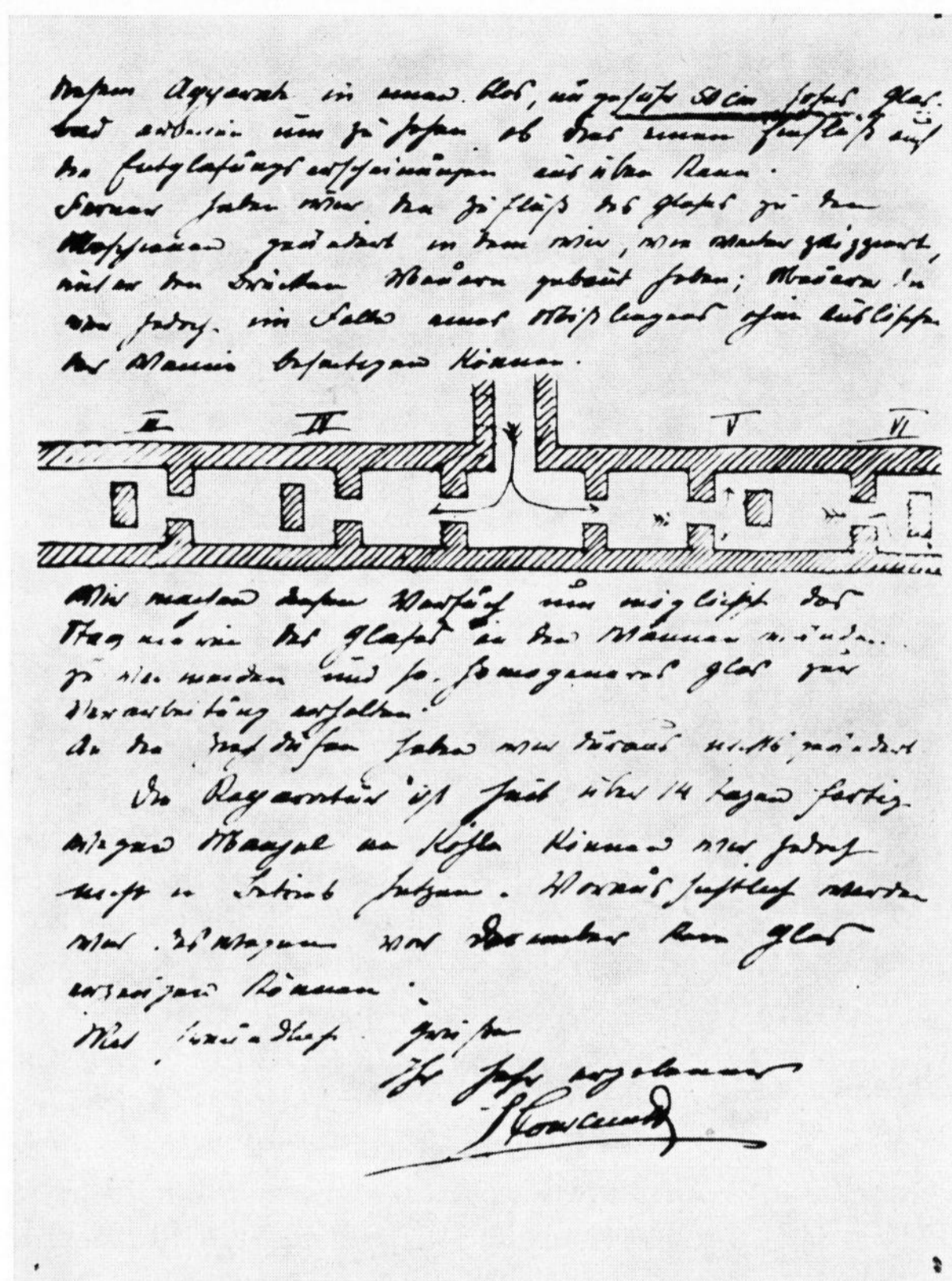


Bild 2. Vierte Seite eines Briefes FOURCAULTS vom 12. November 1917 mit einem Vorschlag für die Anordnung mehrerer Ziehkammern und mit eigenhändiger Unterschrift.

weißen Bildschirm zeigt natürlich, daß seine Qualität nach heutigen Maßstäben nicht beurteilt werden kann. Durch besondere Verfügungen konnte im März 1916 im damals besetzten belgischen Gebiet der Betrieb wieder aufgenommen werden und blieb aufrecht, bis Belgien von den alliierten Armeen wieder befreit wurde. Es ist sehr schmerzlich, daß diese Aktion, die dem Gedanken, dem Streben und dem Verdienst FOURCAULTS dienen sollte, sich gerade gegen den Erfinder auswirkte. Er wurde vaterlandsfeindlicher Handlung bezichtigt. Der seelische Druck setzte der ohnehin angegriffenen Gesundheit FOURCAULTS zu; er wurde freigesprochen, allein sein Leben war erschüttert, und er starb am 11. Oktober 1919 [8].

Anfang der zwanziger Jahre wurde das Fourcault-Verfahren in vielen europäischen und überseeischen Ländern eingeführt.

In Deutschland standen der Einführung der mechanischen Tafelglaserzeugung in der schweren Zeit nach Kriegsende größte Schwierigkeiten entgegen. Die Lizenz für das Fourcault-Verfahren, welche die Deutsche Glasgesellschaft für ihre Mitglieder erworben hatte, wurde aufgehoben und mußte unter schweren Bedingungen von einer englischen Firma, die alle nicht-belgischen Patente, das Fourcault-Verfahren betreffend, übernommen hatte, wiedererworben werden. Die Firmen Gebrüder Müllensiefen, die Vereinigte Vopelius'sche und Wentzel'sche Glashütten GmbH und die Lautenthaler Glashütte GmbH gründeten die Saartafelglas-Gesellschaft mit dem Sitz in Sulzbach (Saar) und stellten die dortige Hütte auf das neue Verfahren um. Die erste deutsche Fourcault-Hütte war entstanden. Bei der Ein-

führung der Erzeugung mußten noch große Schwierigkeiten überwunden werden. Im Land um Rhein und Ruhr konnte erst 1924 mit zielbewußter Aufbauarbeit begonnen werden. Doch entstand bereits im Frühjahr 1925 im Werk Witten-Crengeldanz — genau 100 Jahre nach der Gründung des Werkes — eine Anlage mit vier Fourcault Ziehmaschinen [11].

In Böhmen, das nach dem Zerfall der Österreichisch-Ungarischen Monarchie der Tschechoslowakei zugehörte, waren die Voraussetzungen für die Einführung des mechanischen Ziehprozesses wesentlich günstiger, da letztere als Siegerstaat galt. Zuerst entschloß sich die Firma Mühlig-Union, das Verfahren einzuführen. Im Werk in Hostomitz bei Teplitz-Schönau wurde ein Schmelzofen mit sieben Maschinen gebaut, der schon am 1. April 1919 in Betrieb gesetzt wurde. Doch galt es auch hier, große Schwierigkeiten zu überwinden, bis brauchbares und nicht viel später sogar nach damaligen Maßstäben sehr gutes Tafelglas erzeugt werden konnte. Hier wurde im Jahre 1919 das Fourcault-Verfahren bis zur betrieblichen Reife entwickelt und der Nachweis für seine industrielle Einsatzfähigkeit erbracht. Im Sudetenland folgte die Glashütte Bleistadt, welche 1921 an der Wanne A mit 10 Maschinen für eine Glasbandbreite von etwa 60 cm und 1923 an der Wanne B mit neun Maschinen die Erzeugung aufnahm. Im Werk in Settenez wurde 1921 die Handarbeit eingestellt und zwei Jahre später eine Schmelzwanne mit 10 Ziehmaschinen in Betrieb genommen. In der Glashütte in Unterreichenau wurde 1925 mit der mechanischen Tafelglaserzeugung begonnen, und zwei Jahre später wurde im böhmischen Raum kein mundgeblasenes Fensterglas mehr hergestellt [3].

Die großen Erfolge, die seinem mechanischen Tafelglas-Ziehverfahren beschieden waren, und dessen Verbreitung über die ganze Welt, konnte FOURCAULT in ihrer umfassenden Bedeutung nicht miterleben. Diese zeigte sich bereits sehr bald nach der Einführung des neuen Verfahrens. Die Produktivität der Tafelglaserzeugung erhöhte sich sprunghaft um ein Vielfaches. Nicht weniger bedeutsam war der Fortschritt in menschlicher Hinsicht. Der Mensch wurde von der schweren und auch



Bild 3. EMILE FOURCAULT, 1862—1919, Fotografie mit Widmung und eigenhändiger Unterschrift.

gesundheitsschädlichen Arbeit des Glasblasens befreit. An seine Stelle trat die Maschine, über deren Funktion er nunmehr die Aufsicht führte.

Die Weiterentwicklung des Verfahrens wurde schnell vorangetrieben und machte rasche Fortschritte. Eine moderne Tafelglas-Ziehanlage vermag ein Mehrfaches der ursprünglichen Erzeugung an Tafelglas und dieses von einer unvergleichlich besseren Qualität zu produzieren. Mehr als die Hälfte der Weltproduktion, etwa 400 Millionen Quadratmeter (eD) jährlich, werden heute nach dem Fourcault-Verfahren hergestellt. Spezifische, dem Fourcault-Verfahren eigene Merkmale sind Gewähr dafür, daß sich dieses auch in Zukunft auf dem Weltmarkt im Wettbewerb mit anderen aufstrebenden Verfahren behaupten können wird.

Menschen, die FOURCAULT gut kannten, schilderten ihn als Mann von lauterstem Charakter, tiefem Pflichtgefühl und wohlthuender Schlichtheit. In wichtigen technischen Fragen pflegte er Gedankenaustausch. Beredtes Zeugnis dafür legt z. B. ein Brief FOURCAULTS an MÜHLIG ab, in welchem er die von ihm vorgeschlagene ursprüngliche Anordnung mehrerer Ziehmaschinen hintereinander an einem Zuführungskanal, quer zur Längsachse des Wannensofens, erläuterte. Seite 4 dieses Briefes zeigt, daß FOURCAULT seinen Gedanken spontan in einfacher Handskizze Ausdruck verlieh (Bild 2). Zum Andenken an diesen großen Techniker und Menschen sei noch einmal sein Bild beigefügt, das er einst mit der Inschrift „Als Andenken“ seinem Freund MÜHLIG widmete (Bild 3).

Literatur

- [1] KLEIN, E.: Die jüngste Entwicklung der mechanischen Tafelglasbläserei nach dem Sievert-Verfahren. Dresden: Verl. Akad. Buchh. Dressel 1917. S. 47—75.
- [2] O. Verf.: 125 Jahre Glashütte Witten-Crengeldanz. Fürth (Bay.): Hrsg. Deutsche Tafelglas AG Detag 1951. S. 33.
- [3] GOERK, H.: Beitrag Böhmens zur Entwicklung der Tafelglaserzeugung. (Orig. tschech.) Sklár a Keram. 15 (1965) S. 195—199. [Ref. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 111.]
- [4] BOREL, E. V.: A drawn sheet glass process of 1871. Glass Ind. 39 (1958) S. 482—483, 509.
- [5] GOERK, H.: Ziehen von Flachglas. (Orig. tschech.) Prag: SNTL Verlag für Technische Literatur 1966. S. 25. [Ref. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 408.]
- [6] CLARK, W.: Manufacture of sheet glass. Brit.-Patent Nr. 489, 19. 2. 1857.
- [7] GOERK, H.: Ziehen von Flachglas. (Orig. tschech.) Prag: SNTL Verlag für technische Literatur 1966. S. 193 bis 194. [Ref. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 408.]
- [8] MÜHLIG, J. M.: Zum zwanzigsten Todestag EMILE FOURCAULTS. Glastechn. Ber. 17 (1939) S. 285—286.
- [9] FOURCAULT, E.: Procédé et appareil pour la fabrication de verre par étirage. Franz.-Pat. Nr. 320631, 24. 4. 1902.
- [10] MÜHLIG, J. M.: Über die Entwicklung des Fourcault-Verfahrens. In: MÜHLIG, J. M.: Aufsätze und Vorträge. Teplitz-Schönau: Schors 1942. S. 89—91.
- [11] O. Verf.: 125 Jahre Glashütte Witten-Crengeldanz. Fürth (Bay.): Hrsg. Deutsche Tafelglas AG Detag 1951. S. 33—40. (50427)