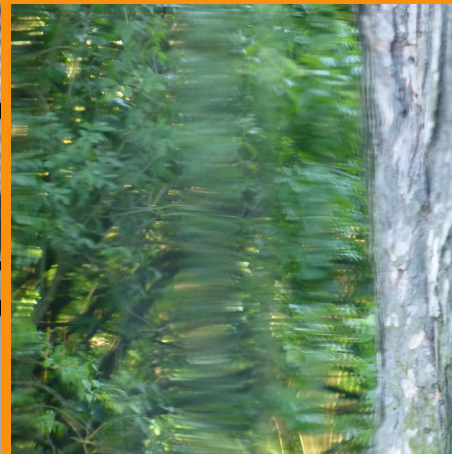




Forschungen des Instituts für
Archäologische Wissenschaften,
Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte 17



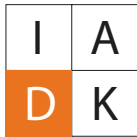
Alexandra Schmölder

Farbloses Fensterglas

Rohstoffe und Herstellungstechniken,
Entwicklungsgeschichte und denkmalpflegerische Relevanz
von Theophilus bis zur Einführung von Floatglas

Farbloses Fensterglas

**Rohstoffe und Herstellungstechniken,
Entwicklungsgeschichte und denkmalpflegerische Relevanz
von Theophilus bis zur Einführung von Floatglas**



Forschungen des Instituts
für Archäologische Wissenschaften,
Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte

herausgegeben vom Institut für Archäologische Wissenschaften, Denkmalwissenschaften
und Kunstgeschichte der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Abteilung
Archäologische Wissenschaften

Michaela Konrad
Andreas Schäfer
Rainer Schreg

Abteilung
Denkmalwissenschaften

Paul Bellendorf
Stefan Breitling
Mona Hess
Ralf Kilian
Marianne Tauber
Gerhard Vinken

Abteilung
Kunstgeschichte

Stephan Albrecht
Andreas Huth
Wolfgang Brassat

Band 17

Abteilung Denkmalwissenschaften

Verantwortlicher Herausgeber: Paul Bellendorf



University
of Bamberg
Press

2025

Alexandra Schmölder

Farbloses Fensterglas

Rohstoffe und Herstellungstechniken,
Entwicklungsgeschichte und denkmalpflegerische Relevanz
von Theophilus bis zur Einführung von Floatglas

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät Geistes- und Kulturwissenschaften der Otto-Friedrich-Universität Bamberg als Dissertation vorgelegen.

Gutachter: Prof. Dr. Paul Bellendorf

Gutachter: Prof. Dr. Stephan Albrecht

Tag der mündlichen Prüfung: 20.12.2023

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über das Forschungsinformationssystem (FIS; <https://fis.uni-bamberg.de>) der Universität Bamberg erreichbar. Das Werk – ausgenommen Cover, Zitate und Abbildungen – steht unter der CC-Lizenz CC BY.



Lizenzvertrag: Creative Commons Namensnennung 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Herstellung und Druck: docupoint, Magdeburg

Satz und Layout: Fabien Griessel; Stefan Gareis (srg-media)

Umschlaggestaltung: University of Bamberg Press, Alexandra Schmölder, Fabien Griessel

Umschlagbild: Konstanzer Chronik, Detailansicht (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10144850>

[Stand: 08.10.2024]); Zylinderblasverfahren (Foto A. Schmölder 2019); Matthias Grünewald, Isenheimer Altar, Colmar, 1512-1516. Seitenflügel mit Darstellung des Hl. Antonius. Detailansicht. (Foto A. Schmölder 2021); Mondglasverfahren (D. Diderot / J. R. d'Alembert 1772, Bayerische Staatsbibliothek München, 2 Bibl.Mont. 7-3, 10 Verrerie en bois XV, urn:nbn:de:bvb:12-bsb10710701-9); Tellerglas (Foto A. Schmölder 2019); Ziehglas (Foto A. Schmölder 2021)

© University of Bamberg Press, Bamberg 2025

<https://www.uni-bamberg.de/ubp/>

ISSN: 2626-2053 (Print)

ISBN: 978-3-98989-040-4 (Print)

eISSN: 2750-8250 (Online)

eISBN: 978-3-98989-041-1 (Online)

URN: urn:nbn:de:bvb:473-irb-1060964

DOI: <https://doi.org/10.20378/irb-106096>

*„Höchste Schätzung aber genießt das farblos-transparente Glas,
denn es kommt dem Bergkristall am nächsten.“*

Plinius Secundus d. Ä. um 79 n. Chr.

*

*„Das Glas zu Fenstern ist am besten, wenn es weiß, gerade und rein,
und nicht grün, windisch oder körnericht ist.“*

Johann Friedrich Penther 1744

Inhalt

1	Einleitung.	11
1.1	Einführung und Zielsetzung.	11
1.2	Empfehlungen der Landesdenkmalämter zum Umgang mit Fensterglas	12
1.3	Angewendete Methode	13
1.4	Verwendete Terminologie	15
2	Grundprinzip der Glasherstellung.	18
3	Rohstoffe für die Glasherstellung	22
3.1	Quarz.	22
3.2	Übersicht über die verschiedenen Flussmittel	25
3.2.1	Natriumbasierte Flussmittel	25
3.2.1.1	Soda natürlichen mineralischen Ursprungs.	27
3.2.1.2	Halophytenasche	28
3.2.1.3	Glaubersalz	32
3.2.1.4	Synthetisch hergestellte Soda	33
3.2.1.4.1	Leblanc-Verfahren	33
3.2.1.4.2	Solvay-Verfahren.	34
3.2.2	Kaliumbasierte Flussmittel	34
3.2.2.1	Holzasche.	35
3.2.2.2	Pottasche	36
3.2.2.3	Weinstein	38
3.2.3	Flussmittel mit gemischten Wirkstoffen und Flussmittelzusätze.	39
3.2.3.1	Kochsalz	39
3.2.3.2	Sal alkali.	40
3.3	Kalk.	40
3.4	Entfärbungsmittel	42
3.4.1	Braunstein.	42
3.4.2	Arsenik	44
3.5	Glasbruch	44
3.6	Resümee Rohstoffe	45
4	Herstellungsverfahren für Flachglas	49
4.1	Mundgeblasene Herstellungsverfahren.	49
4.1.1	Zylinderblasverfahren.	49
4.1.1.1	Nach Theophilus um 1100.	49
4.1.1.2	Nach Krünitz 1779	51

4.1.1.3	Nach Tabor 1818	53
4.1.1.4	Technische Weiterentwicklung 19. Jahrhundert	58
4.1.1.5	Deutsches bzw. böhmisches Verfahren 2. Hälfte 19. Jahrhundert	58
4.1.1.6	Belgisches bzw. rheinisches Verfahren 2. Hälfte 19. Jahrhundert.	59
4.1.1.7	Verfahren in der Glashütte Lamberts, Waldsassen, 21. Jahrhundert	59
4.1.1.8	Glasqualität	62
4.1.1.9	Geschichtliche Einordnung	62
4.1.1.10	Resümee Zylinderblasverfahren	65
4.1.2	Butzenscheibenherstellung.	66
4.1.2.1	Nach Agricola 1556.	67
4.1.2.2	Nach Lamberts 21. Jahrhundert	68
4.1.2.3	Herstellungsvarianten	69
4.1.2.4	Glasqualität.	70
4.1.2.5	Geschichtliche Einordnung	72
4.1.2.6	Resümee Butzenscheibenherstellung	75
4.1.3	Tellerscheibenherstellung.	76
4.1.3.1	Nach Trumpf 21. Jahrhundert	77
4.1.3.2	Glasqualität.	77
4.1.3.3	Nach Lamberts 21. Jahrhundert	78
4.1.3.4	Geschichtliche Einordnung	79
4.1.3.5	Resümee Tellerscheibenherstellung	80
4.1.4	Mondglasherstellung	81
4.1.4.1	Nach Tabor 1818	81
4.1.4.2	Glasqualität.	86
4.1.4.3	Geschichtliche Einordnung	88
4.1.4.4	Resümee Mondglasherstellung	89
4.2	Mechanische Herstellungsverfahren	90
4.2.1	Mechanische Zylinderziehverfahren.	90
4.2.1.1	Sievert-Verfahren 1901	90
4.2.1.2	Lubbers-Verfahren 1911	92
4.2.1.3	Resümee Zylinderziehverfahren	94
4.2.2	Tafelziehverfahren.	95
4.2.2.1	Fourcault-Verfahren 1924.	95
4.2.2.2	Libbey-Owens-Verfahren 1927	97
4.2.2.3	Pittsburgh-Verfahren 1931	99
4.2.2.4	Resümee Tafelziehverfahren	100

5	Fensterglas im historischen Kontext	102
5.1	Anfänge der profanen Fensterverglasung.	102
5.2	Farblosigkeit und Transparenz	102
6	Denkmalpflegerische Relevanz von Profanverglasung	107
6.1	Unterscheidungsmerkmale für Fenstergläser.	107
6.1.1	Raute und kleines Quadrat	107
6.1.2	Runde Form.	111
6.1.3	Quartierfenster	114
6.1.4	Sechsecke	114
6.1.5	Rechtecke	117
6.2	Herstellungsbedingte Bestimmungsmerkmale	118
6.2.1	Format und Glasdicke	118
6.2.2	Materialbeschaffenheit	120
6.2.3	Oberflächenbeschaffenheit.	122
6.3	Schematische Einordnung von Fensterscheiben	122
6.4	Authentizität von Glas im Baudenkmal.	124
7	Schlussbetrachtung und Ausblick.	126
8	Anhang	130
8.1	Tabellen.	130
8.1.1	Gegenüberstellung der verschiedenen Zylinderblasverfahren	130
8.1.2	Vergleich der einzelnen Herstellungsverfahren	132
8.1.3	Dokumentierte Formate: Glasscheiben	134
8.1.4	Dokumentierte Formate: Glastafeln	135
8.2	Bildtafeln aus Diderot-d'Alembert zum Mondglasverfahren.	136
9	Textauszüge.	142
9.1	Theophilus um 1100.	142
9.2	Georgius Agricola 1556	143
9.3	Johann Krünitz 1779.	143
10	Literaturverzeichnis.	144
11	Abbildungsverzeichnis	158

1 Einleitung

1.1 Einführung und Zielsetzung

Während der Bearbeitung des sogenannten Klimaglas-Projekts¹ zur energetischen Ertüchtigung von historischen Glasfenstern stellte sich heraus, dass es keine Übersicht der verschiedenen Herstellungstechniken für farbloses historisches Fensterglas vom Mittelalter bis zur Einführung von Floatglas gab. Es fehlte eine differenzierte Auflistung der verschiedenen Fertigungsmöglichkeiten, noch war klar, in welchen Zeiträumen die einzelnen Techniken angewandt worden waren.² Damit entbehrt die praktische Denkmalpflege einer wichtigen Grundlage für die Bewertung historischer Gebäude. Die einfache blanke Verglasung bleibt in der Forschung aufgrund ihrer reinen Funktionalität weitgehend unbeachtet und wird allenfalls im Zusammenhang mit Buntglasfenstern untergeordnet behandelt, bei denen die kunstgeschichtlichen, ikonographischen und künstlerischen Aspekte im Vordergrund stehen und näher beleuchtet werden. Vor diesem Hintergrund begann die Beschäftigung mit den Herstellungstechniken für profanes Fensterglas, die zunächst eine Reihe von Missverständnisse und Irrtümern ans Licht brachte. Eine Aufgabe bestand darin, diese zu klären.

Für die Herstellung von klarem Fensterglas sind nicht nur die einzelnen Herstellungsverfahren von Bedeutung. Zum Gelingen gehören auch die Zusammensetzung des Glasgemenges und die Verfügbarkeit der Rohstoffe. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hier auf den eingesetzten Flussmitteln und auf der Art und Weise, wie sie gehandelt und eingebracht wurden. Ziel der Arbeit ist es, die Verfahren und ihre Produkte darzustellen und miteinander zeitlich in Verbindung zu setzen, um so neue Erkenntnisse für die Bewertung und Einordnung im Rahmen der Denkmalpflege zu gewinnen.

Mit Blick auf die Denkmalpflege in Deutschland stehen vor allem die Technikveränderungen im deutschsprachigen Raum im Vordergrund. Hier haben sich im Laufe der Zeit die nationalen Grenzen zwar etwas verschoben, ausschlaggebend für die geographische Eingrenzung in dieser Arbeit waren die Hauptgebiete der Glasherstellung,³ zu denen auch Böhmen im Grenzbereich von Tschechien und Polen zu zählen ist. Die Konzentration auf die im deutschsprachigen Raum typischen Eigenheiten ermöglicht zudem einen Vergleich zu den Entwicklungen in anderen Regionen wie Italien, Frankreich und den Niederlanden.

Profan wird im Folgenden im Sinne von einfach, schlicht und ungefärbt verstanden, so dass auch die klaren, durchsichtigen Fensterscheiben im sakralen

Bereich eingeschlossen werden können. Dennoch liegt das Hauptaugenmerk auf dem gläsernen Fensterverschluss im bürgerlichen Umfeld. Zeitlich setzt das Thema mit der Erwähnung des Zylinderblasverfahrens durch Theophilus in seiner *De diversis artibus* um 1100 ein.⁴ Römisches Fensterglas hingegen wird als separates, weit über die Grenzen Deutschlands hinausreichendes Forschungsgebiet betrachtet und ist daher nicht Gegenstand der Betrachtung. Den zeitlichen Endpunkt der Arbeit bildet die Einführung des Floatglases, das mit seiner makellosen Qualität alle vorherigen Flachglasprodukte übertraf und schließlich ablöste. Die Errichtung der ersten Floatglaslinie in Deutschland im Jahr 1966⁵ kann daher als *terminus ante quem* für historische Herstellungstechniken und deren Glasprodukte gelten. Die Liste an möglichen Verfahren umfasst dementsprechend auch die inzwischen als historisch einzustufenden Ziehverfahren, die in denkmalpflegerischen Kreisen bislang wenig Aufmerksamkeit erfahren haben.

- 1 Ein vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanziertes und in Kooperation mit dem Fraunhofer IBP durchgeführtes Projekt, 2018-2021, Projekttitel: Innovative Lösungen für die energetische Ertüchtigung historischer Gläser und Glasfenster – Praxisversuche in der Alten Schöfferei, Kloster Benediktbeuern, kurz Klimaglas genannt. Siehe dazu Leitfaden BELLENDORF et al. 2021.
- 2 Diese Problematik ist auch Inhalt des DFG-Projekts MatGlas im Schwerpunktprogramm SPP 2255 Kulturerbe Konstruktion, in dem die Materialität und Konstruktion von Fensterglas im Zeitraum von 1880 bis 1970 untersucht werden. Projekttitel: „MatGlas: Materialität und Authentizität von Glas und Glaskonstruktion im Bauwesen der Hochmoderne. Eine baukonstruktive und restaurierungswissenschaftliche Bestandsaufnahme und Analyse von Material und Konstruktion“, Projektlaufzeit 2021-2024.
- 3 Die mittelalterliche Glashüttenforschung in Deutschland konzentriert sich auf die Hauptgebiete Böhmen, Spessart, Schwarzwald und Weserbergland. Siehe dazu ČERNÁ / TOMKOVÁ 2017; ČERNÁ 2016; KRIMM 1988; ders. 1984; ders. 1982; MAUS 1999, STEPHAN 2020; ders. 2019; ders. 2010.
- 4 Die auch unter dem Namen *Schedula diversarum artibus*, kurz *Schedula*, bekannte Schrift wird gewöhnlich Theophilus Presbyter zugeschrieben. Einer neuen Forschungslage nach kann sie mit Northungus Theophilus in Verbindung gebracht werden, der sich als Kompilator medizinischer und naturphilosophischer Texte arabischer Autoren einen Namen gemacht hat und im ersten Viertel des 12. Jahrhunderts nachweislich in Fulda und Hildesheim wirkte. Vgl. SPEER 2014, XI–XXXIII. In dieser Arbeit wird auf einen Beinamen verzichtet. Es handelt sich bei der *Schedula* um eine auf lateinisch verfasste Quellensammlung, die im klösterlichen Umfeld vermutlich als Handbuch zur Anfertigung liturgischer Gegenstände entstand. Neben Anweisungen zur Malerei und Goldschmiedekunst enthält das zweite Buch ein Kapitel zur Glasherstellung, das das damalige Interesse an Buntglasfenstern im Sakralbau widerspiegelt. Als Übersetzung wird hier die von BREPOHL 2013, 145–165 zugrunde gelegt.
- 5 SPOERER et al. 1988, 181.

Die Erforschung handwerklicher und maschineller Herstellungstechniken stellt eine besondere Herausforderung dar, weil die Beschreibungen in den Quellen primär nicht dem Erlernen der Technik dienen, sondern als allgemeine Feststellungen niedergeschrieben wurden. Die Erkenntnisse basieren auf einer Kombination von Rückschlüssen, die sich aus schriftlichen Quellen, Befunden und Bildmaterial ziehen lassen. Sie erlauben einen Einblick in den komplexen und differenzierten Arbeitsprozess der Glasmacher und in die verschiedenen Möglichkeiten der Fensterglasherstellung.

Einige angrenzende Themenfelder werden nur am Rande erwähnt, da ihre Ausarbeitung den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte. Dazu zählt etwa die Technik des Gussverfahrens, das in erster Linie der Herstellung von Spiegeln diente und extrem teuer war. Gussglas fand zudem nur selten als Fensterglas im profanen Umfeld Verwendung. Auch der Beschaffung der Öfen und der Herstellung der Schmelzgefäße wird nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet, obwohl sie für den Glashüttenbetrieb durchaus eine wichtige Rolle spielen. Die technischen Voraussetzungen finden daher auch nur dann Erwähnung, wenn damit Auswirkungen auf das Endprodukt verbunden sind.

Die vorliegende Arbeit ist in den Restaurierungswissenschaften für die Denkmalpflege angesiedelt, zu denen als Schwerpunkte die Materialwissenschaften und die Kunsttechnologien gehören. Zum Forschungsgebiet zählen sowohl die eingesetzten Rohstoffe als auch die handwerklichen Traditionen, die die Grundlage für das Erkennen, Verstehen, Einordnen und Datieren bilden. Entsprechend liegt der Fokus dieser Arbeit auf den Herstellungsverfahren, ihren Produkten und den Erkenntnissen für die praktische Denkmalpflege. Ziel dieser Arbeit ist es, durch belastbare Daten ein grobes Raster mit Eckpunkten zu erstellen, um die Einordnung und Datierung von klarem Fensterglas zu erleichtern. Damit soll ein Beitrag zur praktischen Denkmalpflege geleistet werden, soweit sie sich mit der Frage beschäftigt, ob eine Glasscheibe als neu, historisch oder gar bauzeitlich einzustufen ist.

1.2 Empfehlungen der Landesdenkmalämter zum Umgang mit Fensterglas

Die Hauptaufgabe der Denkmalpflege ist der Schutz und die Erhaltung von Baudenkmalen. Sie ist in den verschiedenen Denkmalschutzgesetzen der Bundesländer verankert. Vor allem dem Substanzerhalt wird eine wichtige Rolle zugewiesen. Er umfasst sämtliche Baumaterialien, zu denen auch das Fensterglas zählt, auch wenn es in den Empfehlungen der

Landesdenkmalämter kaum explizit Berücksichtigung findet. Obwohl die Bedeutung der Fenster für das Erscheinungsbild einer Fassade hinlänglich bekannt ist und in der Fachliteratur auch erörtert wird, liegt das Hauptaugenmerk doch auf den Fensterrahmen und Fensterkonstruktionen. Die Glasscheiben, die immerhin den größten Teil eines Fensters ausmachen, haben bislang wenig Aufmerksamkeit erfahren und werden in den 2018 von der Vereinigung der Landesdenkmalämter veröffentlichten Empfehlungen zum Umgang mit Holzfenstern nur am Rande erwähnt.⁶ Der Erhalt einer historischen Scheibe wird zwar ausdrücklich gefordert,⁷ ohne jedoch eine historische Verglasung zu definieren oder Anhaltspunkte zur ihrer Identifikation aufzuführen.

Ähnlich sprechen die 2015 in Österreich erschienenen *ABC Standards der Baudenkmalpflege* von einer „Material- und Herstellungskontinuität“⁸ bei Glasbeständen und lehnen einen Austausch von historischem Fensterglas ab:

„Ein Ersatz historischer Gläser durch Wärme-, Brandschutzglas etc. entspricht [...] nicht der Zielsetzung nach historisch-handwerkstechnischer Authentizität und ist in der Regel denkmalfachlich nicht vertretbar.“⁹

Eine Definition von historischen Gläsern oder eine Auseinandersetzung mit typischen Erkennungsmerkmalen fehlt gleichwohl auch hier. Zudem werden die Herstellungsverfahren von Butzenscheiben fehlerhaft als Teil einer Mondscheibe beschrieben, so dass eine klare Differenzierung dieser Scheiben nicht möglich ist.¹⁰

Deutlicher wird die Bedeutung von historischem Fensterglas und auch seine Wirkung auf das Erscheinungsbild für das Gebäude in einem von Harald Gieß verfassten Arbeitsheft zu *Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern zwischen 1780 und 1910* herausgestellt, das 1990 vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege veröffentlicht wurde.¹¹ Gieß weist auf den Charme der unebenen und von kleinen Lufteinschlüssen durchsetzten Gläser des 18. und 19. Jahrhunderts hin.¹² Daraus würden sich die unterschiedlichen Reflexionen von historischen und modernen Scheiben erklären, die für die Ästhetik der Häuserfassaden bestimmend seien.¹³ Außer Acht gelassen werden

6 VdL 2018.

7 Ebd., 13.

8 BUNDESDEKMALAMT ÖSTERREICH 2015, 144 f.

9 Ebd.

10 MERTEN 1954, 292-298. Siehe auch Kapitel zur geschichtlichen Einordnung der Mondglasherstellung.

11 GIESS 1990.

12 Ebd., 162.

13 Ebd.

jedoch die nach dem Ziehverfahren hergestellten Gläser, was dem Zeitrahmen des Artikels geschuldet ist.

In enger Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege in Baden-Württemberg hat Hermann Klos in zahlreichen Artikeln¹⁴ wichtige Beiträge zum Erhalt von modernen Fenstern geleistet, jedoch liegt auch hier der Schwerpunkt eher auf dem Erhalt der Fensterkonstruktion als historisches Zeugnis als auf dem Erhalt der Scheibe selbst.

In jüngster Zeit rückte die Wertschätzung für historische Fensterscheiben im Zusammenhang mit der energetischen Ertüchtigung von Fenstern wieder etwas in den Vordergrund. Im eingangs erwähnten Klimaglas-Projekt wurden Lösungen erarbeitet, um den Erhalt von historischem Glas und Wärmeschutzvorgaben zu vereinbaren. Die Ergebnisse flossen in einen Leitfaden ein, der den Landesämtern zur Verfügung steht. Das DFG-Projekt *MatGlas* im Schwerpunktprogramm SPP 2255 Kulturerbe Konstruktion leistete durch die Beschäftigung mit der Identifikation und Authentizität von Glasscheiben wichtige Lobbyarbeit für den Erhalt der Bausubstanz Glas.¹⁵

Anfang 2022 organisierte das baden-württembergische Landesamt für Denkmalpflege ein Arbeitsgespräch rund um den Glas- und Lichtschutz in der Denkmalpflege, bei dem eine Sonderfunktion der Fensterscheibe diskutiert wurde, nicht aber ihre Herstellungstechnik.

1.3 Angewendete Methode

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in einer Literaturrecherche¹⁶, die auf einer Auswahl an Quellen und Sekundärliteratur beruht und mit Bildquellen und Befunden abgeglichen wurde. Zeitgenössische Quellen wurden systematisch nach den einzelnen Verfahren untersucht und auf ihre Glaubwürdigkeit überprüft. Dazu wurde Sekundärliteratur herangezogen, deren Aussage auf Archivarbeit basiert. Um vorschnelle Rückschlüsse zu vermeiden, die sich aus theoretisch beschriebenen Herstellungstechniken und fehlender Praxiserfahrung leicht ergeben, war eine Rückversicherung durch Gespräche mit Glasmachern, Restauratoren und Glasern¹⁷ besonders wichtig und aufschlussreich.

Ausgangslage war das Fehlen eines Standardwerkes für die Herstellung von historischem Fensterglas, so dass ein erster Überblick in Lexika gesucht wurde. Die umfangreichsten Informationen liefert das Reallexikon zur Kunstgeschichte unter dem Stichwort *Flachglas* mit detaillierten Literaturhinweisen.¹⁸ Der räumliche und zeitliche Umgriff in diesem Beitrag ist

allerdings sehr weit gefasst, denn er bezieht Glas aus den römischen Provinzen und mittelalterliches Glas aus mehreren anderen europäischen Ländern ein. Da der Schwerpunkt des Artikels im kunsthistorischen Kontext liegt, umfasst der Beitrag auch Buntglasfenster und dekorative Fenster wie Wappenfenster oder Kabinettscheiben. Die Abgrenzung zu klarem farblosem Glas ist nicht immer deutlich und wird länderübergreifend behandelt, so dass hier zwar ein Einstieg gegeben ist, aber keine Antwort auf die Fragestellung geboten wird, wie sich farbloses Fensterglas in Deutschland entwickelte. Da der Eintrag keine Erkenntnisse zu den neuen Ziehtechniken bietet, musste die Recherche für einen Überblick auf Handbücher ausgeweitet werden, die sich mit moderner Glastechnik beschäftigen.¹⁹

Schnell stellte sich heraus, dass das Forschungsgebiet nicht allein kunsthistorisch betrachtet werden konnte. Es gab Überschneidungen mit angrenzenden Fachdisziplinen, so in der Archäologie, Materialkunde, Geschichte, Technologie- und Wirtschaftsentwicklung, die in die Recherche einbezogen wurden.

Um Datenbanken für die Literaturrecherche zu nutzen, mussten Suchbegriffe definiert werden, die zielführend zu sein versprochen. *Flachglas*, *Fensterscheiben* oder *Fensterglas* waren zu allgemein. Die Suchkombination *klares* oder *entfärbtes Fensterglas* erwies sich als zu speziell. Mit der Eingabe von unterschiedlichen Begriffen und Begriffskombinationen wurde experimentiert. Neben der Datenbank der lokalen Universitätsbibliothek wurde die Deutsche Nationalbibliothek, die Suchmaschine BASE und für Bildmaterial das *Corpus Vitrearum Deutschland* durchforstet, um die wichtigsten zu nennen.

Eine Unterscheidung zwischen dem Produkt und der Herstellungstechnik brachte bei der Datenbankrecherche keine zusätzlichen Erkenntnisse. Am Beispiel der Butzenscheiben lässt sich eine weitere Schwierigkeit benennen, die mit der späten Einführung des Begriffs im 19. Jahrhundert zusammenhängt. Entsprechend war die Trefferquote in den digitalen Sammlungen historischer Quellen eingeschränkt, wenn nicht

14 KLOS 2014; ders. 2012; ders. 2010; ders. 2009; ders. 2008.

15 Die Ergebnisse werden nach Ende der Projektzeit 2021-2024 veröffentlicht.

16 Die einzelnen Quellen sind in den jeweiligen Kapiteln aufgeführt.

17 Besonderer Dank gilt Michael Brückner in der Glashütte Lamberts, Ulrich Huber bei Schott in Grünenplan, Cornelius Réer, Glasmacher in Nürnberg, sowie den Restauratorinnen der Kölner Dombauhütte, Ulrike Brinkmann und Katrin Wittstadt, sowie Martha Hör in Fürth. Wertvolle Hinweise gab Glasermeister Josef Ganka.

18 KOBLE 2003, 543–601.

19 GLOCKER / GERHEUSER 2017.

gleich null. Erst die Kenntnis der zeitgenössischen Bezeichnung *gemeine Scheiben* führte zu Ergebnissen, vor allem wenn auch variierende Schreibweisen geprüft wurden. Waren die historischen Suchbegriffe einmal definiert, war auch eine Recherche in weiteren historischen Quellen in der Datenbank des Münchner Digitalisierungszentrums (MDZ) hilfreich. Zudem konnte sie zeitlich eingegrenzt werden, je nachdem welcher Zeitraum vermutet wurde. Auf diese Weise konnte beispielsweise ermittelt werden, wann Waben als Fensterglas schriftlich greifbar wurden.

Um die Recherche zu den modernen Ziehverfahren zu erweitern, wurde auch die Idee verfolgt, eine Patentrecherche beim Patentinformationszentrum Dresden durchzuführen, die sich am Ende jedoch nicht als zielführend erwies. Es wurde erkannt, dass nicht der Zeitpunkt der Erfindung oder des Einreichens eines Patents für die Denkmalpflege von Bedeutung ist, sondern die Einführung und Verfügbarkeit des Produktes auf dem deutschen Markt.

Für die Ermittlung der verwendeten Rohstoffe, vor allem für die Klärung des Begriffs Soda, wurden die wichtigsten zeitgenössischen Quellen zur Glasherstellung herangezogen wie Theophilus, Georgius Agricola²⁰, Antonio Neri²¹, Christopher Merrett²² und Johannes Kunckel²³ sowie die Lexika des 18. Jahrhunderts²⁴ und die Fachliteratur zur Glasherstellung des 19. Jahrhunderts²⁵. Auch wenn die Traktate von Neri und Merrett lange vor Kunckel veröffentlicht worden waren, wurden sie erst durch Kunckels Übersetzung ins Deutsche einem breiteren Publikum zugänglich. Daher war der Zeitpunkt der Veröffentlichung des Originaltextes in diesem Fall weniger relevant.

Für die Recherche zu den Herstellungstechniken und den Formaten gab die Hausväterliteratur interessante Impulse.²⁶ Außerdem kann Carl Wiegand Tabor als Sachverständiger und Augenzeuge als wichtige Quelle betrachtet werden.²⁷ Als Fundgrube erwiesen sich auch die im 19. und 20. Jahrhundert erschienenen Werke zur Glasfabrikation.²⁸

Eine eigene Archivrecherche war aufgrund der zeitlichen und inhaltlichen Spannweite des Themas nicht möglich. Um die Glaubwürdigkeit der Literatur zu sichern, wurde bevorzugt Sekundärliteratur verwendet, die auf archivalischen Hinweisen basiert.

Für die Recherche in der Sekundärliteratur wurde nicht nur deutschsprachige, sondern auch englischsprachige Literatur herangezogen, um international renommierte Artikel mitzubersichtigen. Die Recherche in der Datenbank des *Journal of Glass Studies* brachte hier neue Erkenntnisse. Insgesamt erwies sich jedoch die *klassische* Literaturrecherche, die sich von Fußnote zu Fußnote hangelt, am effektivsten.

Die in der Literatur erwähnten Erkenntnisse, seien es Hinweise auf eine Technik, das Produkt Fensterglas oder ein Flussmittel, wurden chronologisch notiert. Diese Informationen wurden zunächst gesammelt und auf ihre Plausibilität hin überprüft. Für eine Auswertung wurden die Herstellungstechniken und ihr Anwendungszeitraum den schriftlichen, bildlichen, archäologischen sowie den Befunden *in situ* gegenübergestellt und ausgewertet, die dann in einem Zeitstrahl veranschaulicht werden konnten. Außerdem diente es der besseren Orientierung, wann welche Begriffe im Umlauf waren. Nach einem ähnlichen Prinzip wurde auch die Literatur zu den Rohstoffen untersucht.

- 20 AGRICOLA 1556. Georgius Agricola (1494-1555, sein deutscher Name Georg Bauer wurde latinisiert) gilt als deutscher Universalgelehrter, der sein Wissen auf zahlreichen Reisen erweiterte. Als Arzt und Apotheker wirkte Agricola eine Zeitlang im böhmischen St. Joachimstal, einer damals bedeutenden Silberstadt. Sein Hauptwerk *De re metallica libri XII* (1556) handelt vom Bergbau. Es wurde ein Jahr später unter dem Titel *Vom Bergwerck XII Bücher ins Deutsche* übersetzt. Darin wendet sich Agricola im letzten Kapitel kurz der Herstellung von Glas zu, wie er sie in Venedig kennengelernt hatte.
- 21 NERI 1612. Antonio Neri (1576-1614) war italienischer Priester, Alchemist und Glasmacher, der sich längere Zeit in Antwerpen aufgehalten hatte. In seiner bedeutenden Schrift *L'arte vetraria distineta in libri sette* aus dem Jahr 1612 veröffentlichte er Geheimnisse der Glasmacherkunst. Sein Werk wurde von KUNCKEL 1679 übersetzt.
- 22 MERRETT 1668. Christopher Merrett (1614-1695) war ein englischer Arzt, Chemiker und Naturforscher, der 1662 Neris Schrift zur Glaskunst in Englische übersetzte. Vgl. TURNER 1963, 200. KUNCKEL 1679 nimmt Bezug auf Merretts Werk.
- 23 KUNCKEL 1679. Johannes Kunckel (1630-1703), bedeutender deutscher Alchemist und Glasmacher, überlässt mit seinem Werk *Ars vitraria experimentalis*, oder Vollkommene Glasmacher-Kunst ein wichtiges Zeugnis seiner Zeit. Darin übersetzt er nicht nur Neris Schrift, sondern ergänzt sie durch eigene Kommentare. Ebenso geht er auch auf Merretts Übersetzung und dessen Erkenntnisse ein. Neben seinen Veröffentlichungen ist Kunckel für die Herstellung von Golddrubinglas bekannt, das im Kontext des klaren Fensterglases jedoch keine Rolle spielt.
- 24 ZEDLER 1731-1754; PENTHER 1765; Krünitz 1777-1842.
- 25 MERTENS 1889; MEYERS KONVERSATIONSLERIKON 1885-1892, 1909.
- 26 BÖCKLER 1678; Suckow 1751; PENTHER 1765.
- 27 TABOR 1802; ders. 1818. Carl Wiegand Tabor (1755-1835) war Gutachter und der letzte Manufaktur-Direktor der kurmainzischen Spiegelmanufaktur in Lohr. Sein zweibändiges Werk *Versuch einer ausführlichen Anleitung zur Glasmacherkunst für Glashüttenbesitzer und Cameralisten* kann als Versuch gewertet werden, das Glasmacherhandwerk wissenschaftlich zu erklären. Siehe LOIBL 1996b, 16 zu weiteren biographischen Details.
- 28 LENG 1854; Lobmeyr 1874; BENRATH 1880; GERNER 1897, DRALLE 1911, THIENE 1931; KÖNIG 1934.

1.4 Verwendete Terminologie

Für diese Arbeit müssen einige häufig verwendete Attribute rund um den Begriff Glas vorweg geklärt werden. Mit *farblos* wird im allgemeinen Sinne ein Fensterglas bezeichnet, das keine Farbe enthält. *Entfärbt* deutet auf einen technischen Vorgang hin, bei dem durch einen gezielten Einsatz von Entfärbungsmitteln ein natürlicher Farbstich abgemildert wurde.²⁹ Als *historisch* wird in dieser Arbeit ein Glas „aus vergangener Zeit“³⁰ genannt, das zu einer Epoche zählt, die im Sinne des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes als inzwischen abgeschlossen gilt. Historisch bedeutet jedoch nicht zwingend, dass das Glas aus der Entstehungszeit eines Gebäudes stammt. Es kann im Laufe der Zeit ein noch älteres Glas ersetzt haben. Ist ein historisches Fensterglas *bauzeitlich* entstanden und eingesetzt worden, gilt es als besonders erhaltenswert, da es einen hohen Zeugniswert besitzt. Fensterscheiben aus jüngerer Zeit, die auch mit *bauzeitlich* umschrieben werden können, aber nicht historisch sind, sind in dieser Arbeit nicht Gegenstand der Untersuchung. Ein *altes* Glas ist meist aufgrund von Alterungsspuren lediglich nicht mehr neu. Dieses Attribut ist für den denkmalpflegerischen Kontext unspezifisch und wird daher hier nicht verwendet. Ungenau ist auch der in schriftlichen Quellen häufig verwendete Begriff *weißes* Glas, von dem angenommen wird, dass es im Mittelalter farbloses Glas bedeutet, dessen Grad an Transparenz jedoch unklar bleibt.³¹ Im 19. Jahrhundert wird mit weißem Glas allerdings durchsichtiges farbloses Glas bezeichnet.³² Mit *klarem* Glas wird durchsichtiges Glas umschrieben.

Wie es im Handwerk üblich ist, verfügt auch das Glashüttenwesen über seine eigene Terminologie. Die vermischten Rohstoffe werden von den Glasmachern als *Gemenge* bezeichnet, ihre Zusammensetzung als *Gemengesatz*, *Glassatz* oder kurz *Satz*.³³ Das Gemenge wird in *Häfen* oder *Wannen*, eigens dafür aufwendig hergestellten Tonbehältnissen, *eingetragen* und im Ofen *niedergeschmolzen*.³⁴ Das *Niederschmelzen* deutet auf die starke Volumenverringerung beim Zusammenschmelzen hin.³⁵ Das noch nicht ganz ausreagierte Glasvorprodukt wird als *Fritte*³⁶ bezeichnet. Der ungeformte Glasposten an der Glasmacherpfeife heißt im Fachjargon *Köbel*. Das langsame Abkühlen des geformten Glases, das im Herstellungsprozess eine wichtige Funktion einnimmt, um die Spannung aus dem Glas zu nehmen, damit es nicht springt, wird *Tempern* genannt und findet üblicherweise in entsprechenden Temper- bzw. Kühlöfen statt.

Abgesehen vom fachspezifischen Vokabular erschweren uneinheitliche Definitionen für die

Herstellungsverfahren, die Glasprodukte und die Flussmittel das Verständnis.³⁷ Die Gefahr von Fehlinterpretation und Missverständnissen ist dadurch gegeben. Um Eindeutigkeit zu gewinnen, werden einige Begriffe hier vorab geklärt und definiert.

Als Oberbegriff für alle Arten von Fensterscheiben steht der Begriff Flachglas, das unabhängig von der Herstellungstechnik gegossen, geblasen oder gezogen sein kann.³⁸ Auch das besonders hochwertige und teure *Spiegelglas* gehört im Zustand vor der Belegung mit Zinn, Blei oder Silber in die Kategorie des Flachglases. Ebenso zählt das Schaufensterglas trotz etwaiger Rundung in die Kategorie Flachglas, da seine Ausgangsform plan war und erst in einem zusätzlichen Arbeitsprozess gebogen wurde.³⁹

Obwohl die Herstellung von Fensterscheiben bis ins frühe 20. Jahrhundert hinein vorwiegend aus geblasenen Hohlkörpern hervorging, bezieht sich die Bezeichnung *Hohlglas* und *Hohlglasherstellung* üblicherweise auf Glasgefäße und ihre Fertigung.⁴⁰ Glashohlkörper, aus denen flache Scheiben geschleudert werden oder Zylinder entstehen, werden in der Fachsprache nicht von *Glasbläsern*, sondern von *Glasmachern* geblasen.⁴¹ Mit Glasbläser wird eine besondere, auf kleinteilige Gegenstände spezialisierte künstlerische Berufsgruppe bezeichnet, die mit einem geringen Luft Einsatz auskam. Ihr Kunsthandwerk kann nicht mit der erheblichen Lungenkraft eines Glasmachers verglichen werden, die für die Herstellung von mundgeblasenem Flachglas erforderlich ist. Glasbläser

„[...] waren Freikünstler, d.h. gehörten zu keinem Handwerk; sie bliesen durch ein dünnes Kupferrohr über einer Talg- oder Oellampe aus Glasröhren und -stäbchen allerhand Figuren, chemische und physikalische Instrumente, welche sie auch selbst verkaufen durften. Abraham Fino hatte diese Kunst aus Amsterdam ca. 1650 nach Nürnberg gebracht und nach ihm that sich besonders die Familie Hack darin hervor.“⁴²

29 GAI 2001, 21.

30 FREISTAAT BAYERN 2021, Artikel 1, 1.

31 Siehe Kapitel zur Farblosigkeit und Transparenz.

32 Vgl. LENG 1854, 272, 274.

33 KURZMANN 2004, 28 f.

34 Ebd.

35 Ebd.

36 Zur Etymologie und den Vorteilen eines Glasvorproduktes siehe ebd., 184–189.

37 Vgl. LOIBL 2003b; ders. 2012a, 38; KURZMANN 2004, 36–41.

38 KOBLE 2003, Spalte 545.

39 Zu der Technik siehe JEBSEN-MARWEDEL 1960, 16; ders. 1950, 231ff.

40 Vgl. SEIZ 1994, 52.

41 Eine Ausnahme bildet LENG 1854, 295.

42 VOPELIUS 1895, 47; KUNCKEL 1679, 66 f., im zweiten Teil seines Buches.

Eine Eigenart der deutschen Sprache besteht darin, dass der Begriff *Scheibe* in seinem Ursprung etwas Rundes bedeutet, wie es in den Wörtern Butzenscheibe, Mondscheibe oder Radscheibe anklingt,⁴³ für die heutige Fensterscheibe aber nicht zutrifft. Noch 1765 heißt es in Johann Penthers Anleitung zum Bauen: „*Das Glas zu Fenstern wird unterschieden in Scheiben und Tafeln*“⁴⁴. Diese Sprachauffassung änderte sich im 18. Jahrhundert, als zunehmend rechteckige Formate gefragt waren. „*Das Tafelglas, woraus ins besondere die Fensterscheiben gefertigt werden, bläset der Glasmacher [...]*“⁴⁵ Heute verstehen wir unter *Fensterscheibe* in der Regel ein rechteckiges Format. Bei der Lektüre zeitgenössischer Berichte muss diese Bedeutungsverschiebung berücksichtigt werden. Im Kontext runder Glasformen, wie Butzenscheiben und Tellerscheiben, die mit Bleiruten zu einer großflächigen und damit rechteckigen Fensterverglasung zusammengefügt wurden, erscheint es besonders sinnvoll, von *Scheiben* zu sprechen, um die Verdopplung im Begriff *runde Scheibe* zu umgehen.

Große Verwirrung besteht bei der Unterscheidung zwischen Butzenscheiben, Mondscheiben und sogenannten Tellerscheiben. Die *Butzenscheibe* wird vielfach als Teil der Mondscheibe betrachtet⁴⁶ oder beide Begriffe als Synonyme verwendet,⁴⁷ obwohl sich ihre Herstellungsweise und Weiterverarbeitung erheblich unterscheiden. Den Definitionen von Sebastian Strobl⁴⁸ und Werner Loibl⁴⁹ folgend, wird eine Butzenscheibe hier als ein Endprodukt definiert, das sich durch seinen geringen Durchmesser von bis zu 15 cm und einer durch den Herstellungsprozess bedingten Verdickung in der Mitte, der namensgebenden Butze, auszeichnet. Als Fertigprodukte grenzen sich Butzenscheiben deutlich von den verwandten *Mondscheiben* ab, die aufgrund ihrer Größe nicht unzerteilt zu Fensterscheiben verarbeitet wurden und auch keine runde, sondern in der Regel eckige Formen aufweisen.

Als Sonderform der Butzenscheibe gelten die sogenannten Tellerscheiben. In Größe und Dicke ähnlich, weisen *Tellerscheiben* keine Butze oder Heftnarbe auf. In zeitgenössischen schriftlichen Quellen werden sie aufgrund ihrer hohen Qualität auch als *Spiegelscheiben* aufgeführt.⁵⁰ Da der Begriff leicht zu Verwechslung mit dem ähnlich klingenden Spiegelglas⁵¹ führt, wird in der vorliegenden Arbeit die Bezeichnung *Tellerscheibe* oder *Tellerglas* bevorzugt, die inzwischen auch in denkmalpflegerischen Kreisen verbreitet ist.⁵²

Im Zusammenhang mit dem Zylinderblasverfahren wird in der Literatur des 19. Jahrhunderts der Begriff *Walze*⁵³ für einen im Blasverfahren hergestellten Zylinder verwendet. Entsprechend ist das Walzenblasverfahren gleichbedeutend mit dem Zylinderblasverfahren

und ein Walzenglas das daraus resultierende Erzeugnis.⁵⁴ Mit der Einführung neuer Guss- und Ziehverfahren, bei denen metallene Walzen zum Flachrollen oder Flachziehen des Glases eingesetzt werden, kann dies zu Missverständnissen führen. Das Glas ist dann zwar *gewalzt* worden, wird aber nicht als Walzenglas bezeichnet, sondern als *Gussglas* bzw. Ziehglas. Um einer Fehlinterpretation vorzubauen, wird *Walze* als altertümliches Synonym für Zylinder nur im Kontext von Zitaten verwendet.

Zu Verwirrung führt auch die vor allem im 19. Jahrhundert geläufige, aber undifferenzierte Verwendung von *Tafelglas* und *Walzenglas*. Tabor sieht im Walzenglas eine mindere Qualität, das einen Farbstich besitzt und nur „*von mittlerer Größe*“⁵⁵ und „*sehr geringer Dicke*“⁵⁶ war. *Tafelglas* hingegen zeichnet sich durch eine besonders reine Qualität und größere Glasdicke aus, die sich für die Herstellung von Spiegeln eignet.⁵⁷ Für Heinrich Leng wiederum ist *Tafelglas* ein Synonym für Fensterglas.⁵⁸ Auch in dem 1963 erschienenen Lehrbuch für Glastechnik wird *Tafelglas* als „*ein verhältnismäßig schwaches Flachglas im Gegensatz zu Spiegelglas*“ definiert.⁵⁹ Schließlich kann mit *Tafelglas* auch feines, eine Tafel schmückendes Glasgeschirr gemeint sein.⁶⁰ In dieser Arbeit wird der Begriff *Tafelglas* im allgemeinen Sinne einer flachen Glastafel verwendet.

Unter einer *Glastafel* wird danach ein eckiges Format verstanden, das keiner einzelnen Herstellungsart zugeordnet wird. Das Glas kann also sowohl

43 LOIBL 2003b, 103 f. und ders. 2012a, 38.

44 Vgl. PENTHER 1765, 13.

45 Fensterscheibe hier schon als Begriff für ein rechteckiges Format. KRÜNITZ 11779, 21788, 619.

46 MERCK / BEYTHIEN 1922, 139; PLETT 1935, 9; VÖLCKERS 1939, 25; JEBSEN-MARWEDEL 1960, 21; BUNDESDENKMALAMT ÖSTERREICH 2015, 145, sowie Informationstafel im Deutschen Museum.

47 BOWLES 1833, 79; JASCHKE 1986, 49–51; LERNER 1981, 71.

48 STROBL 1990, 61, 64.

49 LOIBL 2012a, 41.

50 Ders. 1996c, 91.

51 Vgl. KOBLER 2003, 586. Hier werden Spiegelscheiben, die für Bamberg geliefert werden sollten, für Spiegelglas gehalten.

52 Freundlicher Hinweis von Thomas Noky, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen. Vgl. auch KAUFMANN 2010, 40.

53 Auch die Begriffe Düte, Tute und Tüte sind gebräuchlich. KRÜNITZ 11779, 21788, 620, BECKMANN 1787, 335.

54 TABOR 1818, 156. Vgl. LOIBL 2003b, 106.

55 TABOR 1818, 156.

56 Ebd.

57 Im französischen Sprachgebrauch des 19. Jahrhunderts steht „*verre en table*“ als Qualitätsbezeichnung für ein großes, helles und dickes Flachglas aus Böhmen. BARRELET 1953, 127.

58 LENG 1854, 271.

59 SPRINGER 1963, 121.

60 GERBER 2003, 67; HENKES 1994, 349.

im Zylinderblasverfahren als auch im Mondglasverfahren oder im Zieh- und Gussverfahren produziert worden sein und heutzutage im Floatglasverfahren. Für eine besondere Abgrenzung zu gegossenen Flachglasprodukten hat Werner Loibl den Begriff Glasplatte vorgeschlagen.⁶¹

Eine Ungenauigkeit betrifft auch den Begriff *Waldglas*, der in seinem ursprünglichen Sinne auf die Herkunft eines Glasprodukts aus einer Waldglashütte abzielt.⁶² Durch die Verwendung eines mit Eisenoxid verunreinigten Quarzes ist Waldglas oft mit einem mehr oder weniger leicht grünlichen oder gelblichen Farbstich versehen. In dieser Arbeit wird Waldglas im Sinne eines natürlich gefärbten, aber minderwertigen Glases verwendet, unabhängig vom Herstellungsort.

Im Gegensatz zu Waldglas bezeichnet *Spiegelglas* eine besonders hochwertige, fehlerfreie und absolut plane, klare und durchsichtige Glasfläche, die sich zum Belegen von Spiegeln eignet.⁶³ Es kann geblasen, gegossen oder gezogen sein. Für luxuriöse Zwecke und bei sehr großen Formaten, die eine Glasdicke von über 4 mm erforderten, wurde Spiegelglas auch als Fensterglas verwendet. Seitdem Floatglas als 2 mm dickes Glas produziert werden kann, besitzen auch einfache Fensterscheiben Spiegelglasqualität.

Zum Schluss sei noch angemerkt, dass für die chemischen Begriffe in dieser Arbeit die in den Restaurierungswissenschaften übliche Schreibweise verwendet wird.

61 LOIBL 2003b, 107.

62 Vgl. KURZMANN 2004, 206 in Fußnote 55; MAUS 1999, 329; LANG 1994, 71; STROBL 1990, 49; JASCHKE 1986, 39 und SCHULZ 1928, 52.

63 Vgl. LOIBL 2003b, 106 und FALBE / REGITZ 1997, 1541.

2 Grundprinzip der Glasherstellung

Das Wort *Glas* hat verschiedene Bedeutungen: Zum einen handelt es sich um einen natürlichen Rohstoff, zum anderen bezeichnet Glas einen hergestellten Werkstoff und außerdem ein fertiges Produkt.⁶⁴ Ursprünglich leitet es sich von dem latinisierten germanischen Wortes *glaesum* ab.⁶⁵ In Ermangelung eines eigenen Begriffs erweiterten die Germanen ihre Bezeichnung für Bernstein auf römische Glasperlen und auf Glasmuscheln. Beides besaß einen ähnlichen Glanz und war ihnen als Handelsware bekannt.⁶⁶

In der Natur kommt Glas in Form verschiedener mehr oder weniger gefärbter Quarze vor, die aus Siliciumdioxid bestehen. Die größte Ähnlichkeit mit farblosem Glas besitzt der äußerst reine und durchsichtige Bergkristall. Einige andere Mineralien mit durchsichtigen oder zumindest durchscheinenden Eigenschaften sind Alabaster und Selenit. Selenit besteht aus Gips, der, in dünne Schichten gespaltet, das Licht durchschimmern lässt. Im 7./8. Jahrhundert n. Chr. wurde Selenit als Fensterverschluss verwendet, z. B. in der römischen Kirche Santa Sabina.⁶⁷ Es ist auch als Marienglas bekannt, das als Schutz vor Marienbildern angebracht wurde.⁶⁸

Die genauen Anfänge der Glasherstellung sind unbekannt. Es wird vermutet, dass sich Glas als eigenständiger Werkstoff aus der Anwendung von Glasuren für Keramik entwickelt hat.⁶⁹ Ein erstes Glasrezept für kleine, nicht durchsichtige, also opake Gegenstände hielten Assyrer im 7. Jahrhundert v. Chr. in Keilschrift auf Tontafeln fest.⁷⁰ Einen Erklärungsversuch für die Entdeckung von klarem Glas bietet die Anekdote von Plinius Secundus d. Ä. in seiner *Naturalis historia*.⁷¹ Danach hat sich der Anfang der Glasherstellung eher zufällig ergeben, als ein mit Soda (*nitrium*)⁷² beladenes Schiff an der Mittelmeerküste, vermutlich an der Flussmündung des Belus bei Akko im heutigen Nordisrael, strandete.⁷³ Da die Händler zum Feuermachen keine steinige Unterlage für ihren Kessel fanden, improvisierten sie mit ihrem Handelsgut. Als dieses „heiß geworden und mit dem Küstensand vermischt“⁷⁴ war, „ergossen sich da Rinnsale einer durchsichtigen neuartigen Flüssigkeit, und dies war der Ursprung des Glases“.⁷⁵

Für die Herstellung von Glas spielen im Wesentlichen drei Komponenten eine Rolle: ein quarzhaltiger Grundrohstoff, ein geeignetes Flussmittel, um die Schmelztemperatur zu senken, und Kalk, der das Gemenge stabilisiert.⁷⁶ Diese Rohstoffe sind in jedem Glasgemenge eines Fensterglases enthalten. Sie wurden jedoch in vorindustrieller Zeit in unterschiedlicher Form eingebracht. Für farbloses Glas kamen außerdem sogenannte Entfärbungsmittel ins Spiel, um die

Verunreinigungen im Sand und auch im Flussmittel und den damit verbundenen Farbstich im Glas abzuschwächen. Anders als bei Buntglasfenstern war ein Zusatz von färbenden Metalloxiden unerwünscht. Auch auf die Zugabe von teurem Blei, das für die Produktion von hochwertigem Hohlglas begehrt war, wurde in der Regel verzichtet.⁷⁷ Es kann allerdings dort in geringen Mengen nachgewiesen werden, wo Blei in der Nähe der Sandvorkommen abgebaut wurde und Spuren im Glasgemenge hinterlassen hat.⁷⁸

Um reine Quarzsande oder zerkleinerte Kiesel schmelzen zu können, sind hohe Temperaturen von bis zu 1700 °C⁷⁹ erforderlich, die für holzbetriebene Öfen unerreichbar waren. Erst die Zugabe von Flussmitteln erlaubte eine Absenkung der Schmelztemperaturen auf etwa 1100 °C.⁸⁰ Verantwortlich für das *Verflüssigen* des silicatischen Rohstoffs⁸¹ sind an erster Stelle die Alkalimetalle⁸² Natrium und Kalium, die in der Regel als Carbonate (Na_2CO_3 , K_2CO_3) einzeln oder gemeinsam dem

64 DUDEN 1989, 244.

65 Ebd.

66 KRAUSS 1996, 9 und DUDEN 1989, 244.

67 BRUNETTO 2020.

68 KURZMANN 2004, 26.

69 LE LOSQ et al. 2019, 441 f.

70 WEDEPOHL 2003b, 43.

71 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 191 in Knoll 1979, 266.

72 Nitrium war ein Salz, das auch zur Herstellung von Waschmittel gehandelt wurde. Siehe Kapitel zu natürlicher Soda.

73 Knoll 1979, 268 Anmerkung II; KURZMANN 2004, 297.

74 Knoll 1979, 266. Vgl. SCHULZ 1928, 2. Das Handelsgut wird bei Knoll als „Natarsodaklumpen“ übersetzt. Es müssen in diesem Fall sehr große Salzkristalle gewesen sein. Je nachdem, wann sich die Entdeckung ereignete, könnte es sich auch um steinige Halophytenasche gehandelt haben, die in assyrischen Zeiten für Glasuren und die Herstellung von opakem Glas verwendet wurde. Siehe dazu entsprechendes Kapitel zu Soda weiter unten.

75 Knoll 1979, 266.

76 Nach gültiger DIN EN-Norm 2016 wird Fensterglas als Kalk-Natron-Silicatglas bezeichnet.

77 Vgl. KURZMANN 2004, 41. Blei konnte zwar die Schmelztemperatur senken, womit eine erhebliche Energieeinsparung einherging, und erlaubte auch eine längere Phase beim Formungsprozess, war jedoch teuer und verringerte die Korrosionsbeständigkeit des Glases. Für Fensterglas eignete es sich nicht.

78 Ebd. Vgl. STEPHAN 2019, 105 f.

79 JEBSEN-MARWEDEL 1950, 17.

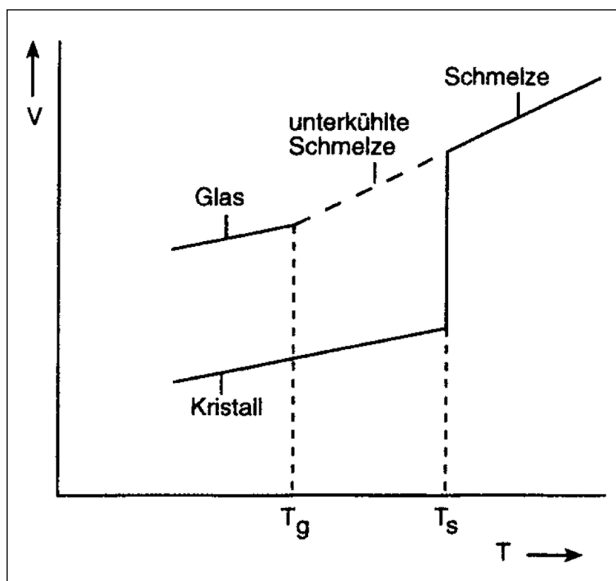
80 KURZMANN 2004, 140. Heutzutage stellen hohe Temperaturen kein unüberwindbares Problem dar. Bei Lamberts wird Glas bei 1500 °C geschmolzen, siehe YouTube Video Glashütte Lamberts.

81 In der älteren Literatur als „Fluß“ bezeichnet.

82 LOIBL 1996b, 13–15. Das Wort für Alkali leitet sich aus dem Arabischen al-qāli – kalihaltig – im Sinne von alkalischer Pflanzenasche ab, nicht zu verwechseln mit kaliumreicher Pflanzenasche!



1 Karte der Rohstoffe und Standorte der deutschen Glasindustrie 1926



2 Darstellung des Temperaturverlaufs von Glas, Volumen V im schmelzflüssigen, glasigen und kristallinen Zustand, T_s = Schmelztemperatur, T_g = Transformationstemperatur bei Glas

Gemenge hinzugefügt wurden. Unter Einwirkung von Hitze spalten sie Kohlendioxid ab.⁸³ Das verbleibende Natrium- oder Kaliumoxid bildet mit dem Siliciumdioxid den neuen Werkstoff.

In der Glastechnologie werden Natrium- und Kaliumcarbonat als *Netzwerkzersetzer* bezeichnet, da ihre atomaren und ionogenen Eigenschaften Einfluss auf die chemische Grundstruktur des Siliciumdioxids nehmen (SiO_2), das als *Netzwerkbildner* benannt wird.⁸⁴ Netzwerkzersetzer sind in der Lage, das kristalline, regelmäßige Gitter des Siliciumdioxids aufzubrechen und zu verändern.⁸⁵ Gleichzeitig verleihen sie dem Werkstoff seine Transparenz⁸⁶ und tragen bei bestimmten Konzentrationsverhältnissen zur Beständigkeit gegenüber hydrolytischen Einflüssen bei (Mischalkaliefekt). Als

83 KURZMANN 2004, 34, 35.

84 KRAUSS 1996, 10; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 13.

85 SIEBE 2019, 159; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 13.

86 KURZMANN 2004, 26.

dritte Komponente bei der Glasschmelze gelten *Netzwerkstabilisatoren*, häufig in Form von Erdalkalimetallen (Calcium und Magnesium) und Zwischenoxiden (Aluminium und Phosphor). Sie tragen zur Stabilisierung des Netzwerks und zur Ausbildung von Schutzschichten bei.

Aufgrund seiner atomaren Struktur wird der Werkstoff Glas als amorph bezeichnet. Es handelt sich um eine sogenannte *unterkühlte Schmelze*. Der Begriff aus der Thermodynamik besagt, dass die geschmolzene Glasmasse beim Abkühlen nicht in einen kristallinen Zustand übergeht, wie dies bei anderen Schmelzen, beispielsweise bei Metalllegierungen wie der Bronze (Kupfer-Zink) oder Glasuren auf Keramiken, üblich ist oder der Fall sein kann. Stattdessen bilden Gläser ein amorphes und gleichzeitig ein als fest zu beschreibendes Material (Abb. 2).⁸⁷ Wenn es beim Herstellungsprozess zu sogenannten *Entglasungen* kommt, erklärt sich dies durch eine unausgewogene Zusammensetzung des Glasgemenges oder ist auf eine ungeeignete Temperaturführung oder Temperaturschwankungen beim Ziehprozess zurückzuführen. In manchen Fällen gibt es kristallines Glas, das hier jedoch nicht relevant ist. Die richtige Mischung von Alkali- und Erdalkalioxiden und die zu erwartenden Schmelztemperaturen sind eine Wissenschaft für sich, die hochkomplex ist und zum Teil bis heute nicht ganz verstanden wird. Als theoretische Grundlage werden Schmelzdiagramme herangezogen, die umso komplizierter werden, je mehr Einzelkomponenten beteiligt sind. Im Zusammenhang mit Fensterglas sind an erster Stelle die Schmelzphasen von Natrium- und Kaliumsilicatglas von Bedeutung, aus denen sich die niedrigsten Schmelztemperaturen (Eutektika) zumindest für Zweistoffsysteme ableiten lassen.⁸⁸ Kurzmann erwähnt, dass ein Gemisch aus gleichen Teilen wasserfreier Soda (Eutektikum 850 °C) und reiner Pottasche (Eutektikum 895 °C) schon bei 700 °C schmilzt.⁸⁹

Für die Witterungsbeständigkeit des Glases erweist sich das kleinere Natriumion (Atomradius 185,7 pm⁹⁰) als vorteilhaft, da es lokal in die Gitterstruktur des Siliciumdioxids eingebaut wird, während das größere Kaliumion (Atomradius 243 pm) die Struktur des silicatischen Netzwerks weitet und in Kanälen quasi aufgereiht verortet ist. Ohne Quervernetzungen durch Netzwerkstabilisatoren sind deshalb Kaliumgläser hydrolytisch leichter angreifbar und tendieren zur Zersetzung. Diese Strukturveränderung führt zu dem bekannten Schadensphänomen, das an vielen gotischen Buntglasfenstern zu beobachten ist. Auch die hochtransparenten Gläser in der Barockzeit neigten bei Feuchtigkeit zu Korrosionsschäden und waren daher anfällig für die sogenannte „*Glaskrankheit*“.⁹¹

Herstellung des Werkstoffs Glas

Grundsätzlich wird zwischen der Herstellung des Werkstoffes und dem Formen des Glases, bei dem u. a. Fensterscheiben entstehen, unterschieden. Bei der Herstellung wird entweder der Schmelzprozess zu einem Zeitpunkt unterbrochen, zu dem die Glasmasse noch nicht ganz ausreagiert hat, und das Glas zu einem späteren Zeitpunkt weiterverarbeitet. Oder aber das Erschmelzen des Rohproduktes geht an Ort und Stelle über in den Formungsprozess.

Plinius der Ältere bezeichnet das Rohprodukt, aus dem eine farblos-durchsichtige Glasmasse entsteht, als „*hammonitrum*“.⁹² Vannoccio Biringuccio nennt in seinem Lehrbuch *De la Pirotechnia* das Vorprodukt „*fritta*“⁹³, von dem sich der deutsche Begriff *Fritte* ableitet, der auch heute noch, vom ursprünglichen Sinn abweichend, für ein industriell hergestelltes Glasprodukt verwendet wird.⁹⁴ Antonio Neri, dessen Ausführungen zur Glasproduktion in *L'Arte vetraria distinta in libri sette* im 17. Jahrhundert in Gelehrtenkreisen einflussreich waren, benutzt für Rohglas die italienische Bezeichnung *bollito*.⁹⁵

Der Kauf eines Glasvorproduktes hatte für den Glasmacher den Vorteil, dass ihm die Beschaffung der Rohstoffe, ein großer Zeitaufwand beim Herstellungsprozess und Energiekosten, erspart blieben. Als Nachteil erwies sich dabei allerdings die fehlende Kontrolle über die Glasqualität. Die gehandelte Glasmasse wurde bei Temperaturen zwischen 1100 und 1300 °C⁹⁶ aufgeschmolzen und homogenisiert und zum Formen auf eine Arbeitstemperatur zwischen 500 und 800 °C⁹⁷ heruntergekühlt.

In römischer Zeit war eine Trennung der beiden Arbeitsprozesse nicht unüblich, denn Rohglas wurde gehandelt und dann in separaten Glaswerkstätten zu

87 SIEBE 2019, 158–159.

88 Zum Eutektikum von Kaliumsilicatglas siehe KRACEK et al. 1929, insbesondere Seite 1871. Freundlicher Hinweis von Prof. Dr. Rudolf Weissmann durch Prof. Dr. Rainer Drewello.

89 KURZMANN 2004, 181.

90 Pm = Piktometer; 1 pm = 0,001 nm (Nanometer).

91 WEISE 1981, 254. Dabei bewirkt die Wassereinwirkung einen Ionenaustausch, so dass Wassermoleküle an die Stelle der Kaliumionen treten.

92 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 194 in Knoll 1979, 266; KURZMANN 2004, 182.

93 Über die Etymologie und den Gebrauch des Wortes in schriftlichen Quellen siehe ebd., 184.

94 Wikipedia 2021a.

95 Neri in KUNCKEL 1679, 10.

96 KURZMANN 2004, 139 f.

97 Ebd., 140, 185–186 führt auch die Vorteile eines Glasvorproduktes auf.

Glasprodukten weiterverarbeitet. Im Mittelalter ist die Trennung von Schmelzhütten und weiterverarbeitenden Glashütten auch im deutschsprachigen Raum nachgewiesen.⁹⁸ Bis etwa Mitte des 13. Jahrhunderts soll die Herstellung des Werkstoffs Glas in eigenen Schmelzhütten stattgefunden haben.⁹⁹ Damit lasse sich laut Loibl das „Fehlen jeglichen Glases auf frühen Hüttenanlagen“¹⁰⁰ erklären, da das Glas an anderer Stelle weiterverarbeitet wurde. Die Schmelzhütten benötigten demnach keine Nebenöfen wie Strecköfen oder Kühlöfen, und an ihren Schmelzöfen müssten entsprechende Arbeitslöcher fehlen.¹⁰¹

Es wird vermutet, dass das noch nicht völlig ausreagierte Rohglas in Werkstätten aufbereitet und geformt wurde, die sich in der Nähe von Siedlungen befanden, was den Transport der Ware zum Absatzmarkt verkürzt¹⁰² und damit die Gefahr des Bruchs verringert hätte. Wann die Zusammenführung von Glaserzeugung und Glasformung stattfand, ist bislang nicht endgültig geklärt. Sie wird jedoch im Zusammenhang mit dem Bevölkerungswachstum und den größer werdenden Städten im späten 14. Jahrhundert gesehen.¹⁰³

Als es üblich wurde, das Erschmelzen des Glaswerkstoffs und das Formen des Glases zu den verschiedenen Produkten in ein und derselben Hütte vorzunehmen, konnte der Schmelz- und Läuterungsprozess in einem Zuge stattfinden. Das Niederschmelzen und Läutern erfolgte bei Temperaturen zwischen etwa 1150 und 1350 °C über einem Zeitraum von 12 Stunden,¹⁰⁴ so dass sich der Glassatz gut durchmischte, sich alle Feststoffe lösten und eine homogene, möglichst bläschenfreie Glasmasse entstand. Der Vorgang wurde unter ständigem Rühren genau überwacht und durch den eventuellen Zusatz von Läuterungsmitteln wie Arsenik unterstützt,¹⁰⁵ um das Aufsteigen von Bläschen zu beschleunigen. Die sich bildende Glasgalle auf dem Glassatz wurde abgeschöpft.¹⁰⁶

Im 19. Jahrhundert kamen anstelle von Häfen große Wannen zum Einsatz, außerdem revolutionierten neue sogenannte Regenerativöfen, die mit Kohle und Gas betrieben werden konnten, den Hüttenbetrieb. Anders als in England, wo seit dem 17. Jahrhundert mit Kohle befeuert wurde und die Verwendung von Holz aufgrund fehlender Wälder verboten war, blieb in Deutschland Holz bis Mitte des 19. Jahrhundert die Hauptenergiequelle.¹⁰⁷

Formungsprozess

Für den Formungsprozess zur Herstellung von Fensterglas kann Rohglas weiterverarbeitet oder nach eigenen Rezepturen erschmolzenes Glas verwendet werden.

Sobald die Temperatur auf etwa 600-800 °C abgesunken ist, kann der neue geschaffene Werkstoff Glas direkt im Anschluss an den Schmelzvorgang geformt werden. Da Glas anders als Kupfer oder Bronze keinen definierten Schmelzpunkt besitzt, sondern einen sogenannten Erweichungsbereich, ist den Glasmachern beim Formungsprozess eine längere Zeitspanne zur Bearbeitung gegeben.¹⁰⁸ Durch eine geschickte Zusammensetzung der Glasmasse, z. B. durch die Wahl des Flussmittels, konnte die Verarbeitungszeit beeinflusst beziehungsweise verändert werden. Gerade in der Hohlglasherstellung waren natriumbasierte Flussmittel von Vorteil, da sie für aufwendige Gläser mehr Zeit zum Formen boten.

Unabhängig von der Herstellungsweise muss geformtes Glas, sei es als Tafel oder Scheibe, langsam auf die Umgebungstemperatur herunterkühlen, um dem Glas die innere Spannung zu entziehen und damit zu verhindern, dass es zerspringt. Der Abkühlungsprozess trägt auch heute noch maßgeblich zum Gelingen eines Glasproduktes bei und wirkt sich auf das Glasvolumen bzw. die Glasdicke aus. Ist die Abkühlgeschwindigkeit zu schnell, entstehen Spannungen, die zu Bruch führen. Ist sie zu langsam, kristallisiert das Glas.¹⁰⁹ Der Kühlprozess fand in der Regel in eigenen Kühlöfen oder Temperöfen statt, die oft direkt an den Schmelzöfen anschlossen oder angrenzten¹¹⁰, um von der Abwärme zu profitieren. Mit der zunehmenden Automatisierung des Herstellungsprozesses entwickelten sich ab dem 19. Jahrhundert sehr lange Kühlkanäle. Eine Änderung brachten die Ziehverfahren, da die Glastafeln während des Ziehprozesses gekühlt wurden.

98 MAUS 1999, 440. Im Schwarzwald ist um 1200 die Herstellung von klarem Rohglas in Schwärzenbach (Titisee-Neustadt) archäologisch belegt, was im Zusammenhang mit dem nahegelegenen Kloster Friedenweiler gesehen wird, wo das Glas weiterverarbeitet worden sein könnte.

99 LOIBL 2003a, 15.

100 Ebd.

101 Ebd., 14 f.

102 Ebd., 15.

103 Ebd., 14 f.; WEDEPOHL 1998, 47, 49.

104 Vgl. KURZMANN 2004, 140.

105 Ebd., 215.

106 Ebd., 189, 195.

107 Es gab in Deutschland nur vereinzelt Versuche, mit Kohle und Torf zu befeuern. Kohlefeuerung erforderte eine besondere Ofenkonstruktion und einen besonderen Abzug. Vgl. ebd., 45 f.

108 WEDEPOHL 2003a, 92.

109 VOGEL 1992, xxx.

110 KURZMANN 2004, 144 f.

3 Rohstoffe für die Glasherstellung

Bei der Wahl des Glashüttenstandorts waren die Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Beschaffung des Brennstoffs die wichtigsten Faktoren. Daher entwickelten sich im deutschsprachigen Raum die frühen Glashütten vorzugsweise in waldreichen Mittelgebirgen in der Nähe von geeigneten Quarzvorkommen und Wasserläufen, die sich zum Betreiben von Mühlen für die Aufbereitung des Quarzes eigneten. Die Wälder lieferten Holz für den hohen Energieverbrauch zur Befuerung der Öfen und zur Herstellung von zusätzlicher Asche, die als Flussmittel verwendet wurde. Sobald das Holzangebot in der unmittelbaren Nähe erschöpft war, zogen die Hütten weiter, oft bereits nach 10-30 Jahren.¹¹¹ Die Faktenlage für die Anfänge der fensterglasproduzierenden Glashütten ist umso lückenhafter, je weiter sie in der Zeit zurückreicht. Oft ist eine Zuordnung der archäologisch bekannten Hüttenstandorte zur Fensterglasherstellung nicht eindeutig.¹¹²

Im Zuge der Industrialisierung und mit dem Ausbau des Eisenbahnnetzes veränderten sich die Standorte, denn die Glashütten waren nicht mehr auf waldreiche Gegenden angewiesen. Neue Glashütten siedelten sich nun vermehrt in der Nähe von Stein- und Braunkohlegebieten an und bevorzugten die gute Anbindung von Bahnhöfen. Rohstoffe konnten so auch aus entfernten Regionen bezogen werden.¹¹³

Für die Herstellung von farblosem Glas spielte die Reinheit der Rohstoffe eine wichtige Rolle, die jedoch nicht an die Qualität von luxuriösem Hohlglas heranreichen musste. Neben Holzasche fanden weitere Flussmittel Einsatz. Außerdem spielten Entfärbungsmittel und Glasbruch eine wichtige Rolle in der Zusammensetzung des Glasgemenges. Auch ein Zusatz von Kalk konnte für die Herstellung von farblosem Glas notwendig sein. All diese Produkte mussten von den Glashütten erworben werden, wenn sie nicht eigens hergestellt werden konnten.

Da die Rohstoffe zur Herstellung von Glas bis ins 19. Jahrhundert natürlichen Ursprungs waren, unterlag die chemische Zusammensetzung der Glasgemengesätze entsprechenden Schwankungen. Rückschlüsse auf die Bandbreite an erschmolzenen Roh- und Fertigprodukten liefern chemische Analysen historischer Bestände. In Bezug auf ungefärbtes Fensterglas liegen nur wenige Daten vor.¹¹⁴ Die farblosen Butzenscheibenfunde aus dem spätmittelalterlichen Glashütten in Schönbuch und im Nassachtal bilden Ausnahmen, auf die auch Katharina Müller zurückgreift.¹¹⁵ In den bei Wedepohl 2003 und 2010 veröffentlichten Tabellen befindet sich unter den Analysen kein farbloses Flachglas.¹¹⁶ Ebenso fehlen unter den 762 von M. A. Bezborodov

untersuchten Glasfragmenten farblose oder fast farblose Fensterscheiben, die sich dem deutschsprachigen Raum des Mittelalters zuschreiben lassen.¹¹⁷

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Glashütten auf einen großen Schatz an empirischem Wissen zurückgreifen konnten und bestrebt waren, „den Zufall möglichst auszuschließen und die Qualität der Produktion gleichförmig und bestimmbar zu machen.“¹¹⁸

3.1 Quarz

Der Hauptbestandteil von klarem Fensterglas ist chemisch betrachtet Siliciumdioxid (SiO_2). Der Anteil im Glas beträgt heute um die 70 %¹¹⁹, während Analysen von frühem historischem Glas meist nur einen Silicatgehalt von 47-60 Grad¹²⁰ aufweisen. In der Natur ist Siliciumdioxid gebunden und als Quarz in Sanden, Kieseln und Gesteinen enthalten. In der älteren Glasliteratur wird für geeignete silicathaltige Rohstoffe häufig der inzwischen veraltete Begriff *Kieselerde* verwendet.¹²¹ Quarz in seiner reinsten Form ist Bergkristall, dessen Transparenz und Farblosigkeit zum Vorbild für die Herstellung von Glas wurde.¹²² Um Glas künstlich herzustellen, mussten quarzhaltige Rohstoffe oft erst mühsam mechanisch zerkleinert werden.

Für Geologen ist *Sand* lediglich eine andere Formulierung für den Parameter der Korngröße bzw. Korngrößenverteilung, die nicht vom Quarzgehalt alleine abhängig ist, sondern ebenso Carbonate und Tonminerale umfasst.¹²³ Im Kontext der Glasherstellung sind jedoch nur quarzhaltige Sande relevant. Ursprünglich aus der Verwitterung von Gesteinen wie z. B. silicatischem Sandstein, Kalksandstein oder Tongesteinen entstanden, enthalten die Sande fast immer Eisen- und Manganverbindungen, Tonerde¹²⁴ oder Kalk und Dolomit.¹²⁵

111 WEDEPOHL 2003b, 144–147.

112 MAUS 1999; KRIMM 1988.

113 DIENEMANN 1926.

114 MÜLLER 2006; WEDEPOHL 2003b; MAUS 1999; LANG 1991; BEZBORODOV 1975.

115 MÜLLER 2006, 123; LANG 1991, 34.

116 WEDEPOHL / SIMON 2010, 90; WEDEPOHL 2003b, 180–220.

117 BEZBORODOV 1975, 225–327.

118 LOIBL 1996b, 17.

119 FALBE / REGITZ 1997, 1540.

120 WEDEPOHL / SIMON 2010, 93; LANG 1991, 34 f.

121 TABOR 1818, VOPELIUS 1895, XI.

122 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 192 in Knoll 1979, 266 berichtet, dass in Indien besonderes Glas aus zerkleinertem Bergkristall hergestellt wurde: „[...] und deswegen sei keines dem indischen vergleichbar“.

123 HERDER VERLAG 1990, 177 f.

124 SCHAEFFER 1999, 35: Tonerde = Al_2O_3 , Oberbegriff für Feldspat, Pegmatit, Kaolin, Basalt, Trachyt u. a.

125 TABOR 1818, 535, LENG 1854, 92, VOPELIUS 1895, XI.

Für ein effizientes und homogenes Erschmelzen des Glasgemenges ist eine feinkörnige Konsistenz des Quarzes die beste Voraussetzung.¹²⁶ Flusssand war wegen der strömungsinduzierten Separierung der Korngrößen eine begehrte Rohstoffquelle.¹²⁷ Dazu eigneten sich im Mittelalter und in der frühen Neuzeit vor allem Flüsse in waldreichen Gegenden silicatischer Gebirgsformationen, in denen gleichzeitig auch der hohe Holzbedarf zur Feuerung der Öfen abgedeckt werden konnte. Theophilus vermerkt in seiner *Schedula*, man nehme „sorgsam von Erde und Steinen gereinigten Sand“, der „vom Wasser geholt“ wurde.¹²⁸ Agricola empfiehlt, „Griß oder Sand an Flußmündungen“¹²⁹ zu suchen, da es dem Glasmacher „die Arbeit des Brennens und Zerkleinerns“¹³⁰ erspare. Heute wird das Fehlen von Quarz im Geröll der Bäche im Bayerischen Wald bisweilen als indirekter Beweis für die frühere Existenz von Glashütten herangezogen.¹³¹ Hansjosef Maus sieht die Nutzung von Flusskiesel jedoch kritisch und hält dagegen, dass die Ausbeute in den Bachläufen nicht ausreichend gewesen sei.¹³²

Verunreinigungen wie tonige Beimischungen, organische Fremdstoffe und leicht lösliche Salze wurden herausgewaschen, bis nahezu reine Quarzkörner übrigblieben. „Es soll [...] vorher dieser Sand wohl gewaschen / von allem Unflat gereinigt / und klein durchgesiebet seyn / denn also wird das Glas schön und weiß“, rät Neri.¹³³ Das Trocknen des nassen Sandes konnte anschließend in einem Ofen erfolgen.¹³⁴

Wo kein Fluss- oder Gebirgssand (mehr) vorhanden war, wurden Quarzfindlinge gesammelt oder quarzhaltiges Gestein bergmännisch abgebaut wie im Zwieseler Winkel im Bayerischen Wald¹³⁵ oder im Schwarzwald¹³⁶. Die größeren Brocken und Kiesel wurden in Brennöfen bei 800-1000 °C geglüht und anschließend in kaltem Wasser abgeschreckt.¹³⁷ Diese Vorbehandlung erleichterte das anschließende Zerkleinern bis zur gewünschten Feinkörnigkeit, das in wasserbetriebenen Stampfmöhlen, auch Pocher genannt, stattfand.¹³⁸ Johann Mathesius bestätigt diese Vorgehensweise für Deutschland: „Nun komen wir zu der Deutschen Glashütten / Etliche haben jren eignen sandt / die andern pochen ir weiß quertz vnd kißling [...]“¹³⁹ In der Gegend um den Schwarzwald und am Bodensee ist das Sammeln und Zerkleinern von Kiesel auch archivalisch nachgewiesen.¹⁴⁰

Quarzlagerstätte

Solange die Nähe zu brauchbaren Quarzvorkommen ein wichtiges Kriterium für die Wahl des Hüttenstandortes darstellt, ist eine direkte Zuordnung möglich. Grabungen im Solling im Weserbergland ergaben,

dass Glashütten bereits im 11. Jahrhundert „umfangreiche hochwertige Lagerstätten von feinem hellem tertiärem Glassand und Brauneisenstein“¹⁴¹ nutzten. Die dort im Verhältnis zu bunten Scherben geringe Anzahl¹⁴² an farblosem Glas lässt jedoch vermuten, dass hier in erster Linie der Bedarf für gotische Buntverglasungen im sakralen Bereich abgedeckt wurde und nicht für einfaches Fensterglas im profanen Wohnungsbau.

Noch für die frühe Neuzeit sind schriftliche Nachweise zu genutzten Sandvorkommen rar. Die Gründung der Glashütte Frankenreuth in der Oberpfalz 1487 spricht für die Verwendung lokaler Quarzbestände.¹⁴³ Im Schwarzwald wird vermutet, dass Lesesteine im Umfeld von bekannten Quarzgängen wie am Grünberg im Harmersbachtal verwendet wurden.¹⁴⁴ Für die Ende des 16. Jahrhunderts gegründete Weißglashütte in Altmünden im Weserbergland war der besonders reine und eisenarme Sand aus der Silbersandgrube des nahe gelegenen Gahrenbergs ausschlaggebend.¹⁴⁵ Das Quarzvorkommen bestimmte hier den Standort, so dass die Glashütte sesshaft wurde.

Im 17. Jahrhundert listet Kunckel allgemein bekannte Sandvorkommen im deutschsprachigen Raum auf, die sich für die Herstellung von „Crystall ähnlichem Glas“¹⁴⁶

126 GERNER 1897, 30; SPOERER et al. 1988, 18; SCHULZ 1928, 94 f.

127 Freundlicher Hinweis von Prof. Dr. Rainer Drewello.

128 Theophilus in BREPOHL 2013, 147 f.

129 AGRICOLA 1556, 501.

130 Ebd.

131 SEYFERT 1981, 42 f.

132 MAUS 1999, 330.

133 Neri in KUNCKEL 1679, 20. „Weiß“ kann hier für farblos oder durchsichtig stehen. Siehe weiter unten Kapitel Farblosigkeit und Transparenz.

134 Vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 9; TABOR 1818, 116.

135 SPERLING 1993, 30.

136 MAUS 1999, 330 nennt Quarzgänge wie am Grünberg in der Umgebung des Harmersbachtals.

137 KUNCKEL 1679, 48 und siehe KURZMANN 2004, 139.

138 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 194 in Knoll 1979, 266 erwähnt, dass in Italien, Gallien und Spanien weißer Sand in Mörsern und Mühlen gemahlen wurde.

139 MATHESIUS 1562, 276; KUNCKEL 1679, 48; Johann Mathesius (1504-1565) war ein deutscher Pfarrer und Gelehrter, der in der böhmischen Silberbergstadt St. Joachimstal wirkte. Dort befreundete er sich mit Georgius Agricola an. Berühmt ist Mathesius' Bergpredigt „Sarepta Oder Bergpostill“, in der er das menschliche Leben mit der Zerbrechlichkeit des Glases vergleicht. In diesem Zusammenhang erwähnt er einige Aspekte zur Herstellung von Glas.

140 LANG 1991, 36.

141 STEPHAN 2019, 68.

142 Ebd., 74 f.

143 SPOERER et al. 1988, 18.

144 MAUS 1999, 330.

145 ALMELING 2006, 34.

146 KUNCKEL 1679, 47.

eigneten, da er aufzeigen wollte, dass auch Deutschland über geeignete Rohstoffe für die Herstellung von feinem Glas verfügte. Kunckel nennt Flusskieselsteine aus der Elbe und Steine aus Steinbrüchen in der Gegend um Meissen¹⁴⁷ und erwähnt Vorkommen unweit von Kiel mit besonders großen weißen Kieseln.¹⁴⁸ Ideal waren seiner Meinung nach jedoch Quarzlagerstätten an „bequemen Orten“. Offenbar wusste er um die Mühen beim Abbau und Transport.

*„Nun ist allen Glasmachern bekannt / daß sie nur den gemeinen Sand / der fein weiß / und im Graben keine leimigte noch gelbe Eisenhaffte Adern mit sich führt / am beqvemen Orten und Bergen hierzu suchen müssen. Nun wird zwar in diesem Buch nicht von gemeinen / sondern von einem feinem dem Crystall ähnlichen Glas gehandelt / worzu wir denn auch in Teuschland genugsame ja überflüssige Mittel haben / und dürffen es gar nicht aus anderen Orten [Ländern, Anm. d. Verf.] herholen.“*¹⁴⁹

Auch wenn hier eisenarmer Sand hauptsächlich im Zusammenhang mit der Herstellung von feinem Hohlglas erwähnt wird, eignete er sich auch für besonders qualitätsvolles Fensterglas. Es ist davon auszugehen, dass die „gemeine“ Glasqualität aus eisenhaltigem Sand für einfache, „gemeine“ Fensterscheiben mit einem Farbstich reichte¹⁵⁰ und verbreiteter war.

Glashütten im sogenannten Zwieseler Winkel nutzten im 18. Jahrhundert die Steinbrüche am Pfahl und am Hühnerkobel, einer 150 km langen herausgewitterten Quarzader mit mehreren Abbaustellen.¹⁵¹ Dort ist der Quarzabbau am Pfahl und am Hühnerkobel (Rabensteiner Quarzbruch) im 18. Jahrhundert belegt.¹⁵² Am Rabensteiner Quarzbruch wurden außerdem Vorkommen von Pegmatit entdeckt, einem granitischen Gestein aus Quarz, Feldspäten und Glimmer, das zunächst im Tagebau und ab 1831 dann bergmännisch im Untertagebau gewonnen wurde.¹⁵³ Es soll „ein vorzügliches Material für die feinsten Glassorten“ geliefert haben.¹⁵⁴ Der Rabensteiner Quarzbruch diente im 18. Jahrhundert bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts hinein den lokalen Glashütten Buchenau, Glaserhäuser und Regenhütte im Zwieseler Winkel, die nachweislich auch Fensterglas herstellten.¹⁵⁵

Den ausführlichen Monographien zu den Glashütten im Spessart ist zu entnehmen, dass auch die flachglasproduzierenden Glashütten in Weibersbrunn und Einsiedel vorwiegend regionale Quarzvorkommen verwendeten und nur für außergewöhnliche Glasqualitäten entferntere Steinbrüche aufsuchten.¹⁵⁶ Für die Herstellung von Mondglas, auf das beide Hütten spezialisiert waren, reichte hingegen die lokal verfügbare Qualität.

Auch die Glashütte in (Fabrik-)Schleichach¹⁵⁷ im Steigerwald bezog ihren Sand aus dem nahegelegenen Oberhaid.¹⁵⁸ Grundsätzlich wurden Transportkosten für den schweren und oft unhandlichen Quarzrohstoff vermieden. Reichte die Qualität nicht ganz aus, konnte Abhilfe durch die Verwendung von sogenannten Entfärbungsmitteln geschaffen werden, wie weiter unten ausgeführt wird.

Mit dem vereinfachten Transport per Eisenbahn ab der Mitte des 19. Jahrhunderts standen auch entlegene Sandlagerstätten zur Verfügung. Wegen ihrer Reinheit wurden vor allem die Vorkommen in „Rivelstein“¹⁵⁹ bei Aachen, „Lemgo“¹⁶⁰ bei Detmold und „Hohenbocka“¹⁶¹ geschätzt. Robert Dralle zählt 1911 in seinem Werk zur Glasherstellung eine Reihe von Quarzlagerstätten auf, die sich trotz eines geringen Eisengehalts immer noch gut für die Herstellung von Fensterglas eigneten. Er nennt als Lagerstätten Bernsdorf in Sachsen, Büdingen und Frechen bei Köln, Oder- und Elbsand sowie den Sand von der Nordseeinsel Norderney, ohne jedoch zu erwähnen, welche Glashütten sie nutzten.¹⁶² Die Glashütten konnten die Sandqualität entsprechend ihrer Produktpalette auswählen.

Einen umfassenden Überblick der Anfang des 20. Jahrhunderts zur Verfügung stehenden Rohstoffvorkommen vermittelt eine 1926 von der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft veröffentlichte Karte mit Schwerpunkt auf „Vorkommen edlerer Glassande“¹⁶³ in

147 KUNCKEL 1679, 47.

148 Ebd., 48.

149 Ebd., 47.

150 Im frühen 16. Jahrhundert taucht der Begriff „Waltscheiben“ auf, vgl. SPOERER et al. 1988, 19, 23. Später wird der Begriff „gemeine Scheiben“ möglicherweise in Abgrenzung zu Teller-scheiben verwendet. Siehe unten im Kapitel Butzenscheiben unter Glasqualität.

151 SPERLING 1993, 30; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 9.

152 SPERLING 1993, 29 f. Der mit braunen Eisenhydroxid verunreinigte Quarz hatte allerdings nicht die Qualität für farbloses Glas, allenfalls für das sogenannte Waldglas.

153 Der Quarzabbau fiel bis Mitte des 19. Jahrhunderts nicht unter das Bergrecht. Siehe dazu SPERLING 1993, 29, 115 und SEYFERT 1981, 42–47.

154 Zitiert nach SPERLING 1993, 30; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 9.

155 SPERLING 1993, 32.

156 LOIBL 1995b, 42.

157 Ortsteil von Rauhenbrach, zunächst unter Schleichach bekannt, im 19. Jahrhundert als Fabrik-schleichach in Abgrenzung zu anderen Orten mit demselben Namen. Zur Ortsnamensänderung siehe ders. 2006b, 1.

158 Ebd., 696.

159 GERNER 1897, 29 f.

160 Ebd.

161 Ebd.

162 DRALLE 1911, 143.

163 DIENEMANN 1926, 29.

Deutschland (Abb. 1). In einem Begleitheft werden zudem Beschaffenheit und Qualität der einzelnen Vorkommen ausführlich vorgestellt und erläutert¹⁶⁴ mit dem Ziel, die einheimische Tafelglasindustrie gegenüber dem Ausland zu stärken.

Werbeanzeigen am Ende der Broschüre belegen ferner, dass nun nicht mehr die Glashütten selber, sondern eigenständige Betriebe die Aufbereitung der Sande vornahmen. Ein Beispiel ist das Quarzmahlwerk Frechen, das „Kristall-Quarzsand“ mit einer Konzentration von 99,9 % SiO₂ und 0,018 % Fe₂O₃ liefern konnte.¹⁶⁵ Eisenoxide galten noch im frühen 20. Jahrhundert als Störfaktor. Ihr Gehalt im Sand durfte für Fensterglas 0,5 % nicht überschreiten.¹⁶⁶ Es ist auch heute noch üblich, Silicium unter Angabe des prozentualen Reinheitsgrads bei Großhändlern zu bestellen.¹⁶⁷

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch neue Bezugsquellen ab Mitte des 19. Jahrhunderts eine Qualitätssteigerung des Glases ermöglicht wurde. Anders als für die Waldglashütten stellte die beschwerliche Beschaffung des gewichtsmäßig schwersten Rohstoffs für die Herstellung von klarem Fensterglas keine große Herausforderung mehr dar.

3.2 Übersicht über die verschiedenen Flussmittel

Das Wissen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Glashütten basierte in erster Linie auf langjähriger empirischer Erfahrung, die sie im Umgang mit den Rohstoffen erworben hatten, und nicht auf chemischen Erkenntnissen. Die eigentlichen Agenzien und die als Flussmittel identifizierten Alkalimetalle wurden erst 1807 durch den britischen Chemiker Humphry Davy bestimmt und ihre chemische Wirkungsweise interpretiert.¹⁶⁸

Natriumoxid und Kaliumoxid sind durch Glasanalysen später nachweisbar, werden aber nicht als reine chemische Substanzen dem Gemenge zugefügt. Vielmehr sind sie in den Flussmitteln in Form von Natriumcarbonat oder Kaliumcarbonat gebunden. Ihre Wirkstoffkonzentration im Flussmittel bestimmt die Qualität und Beständigkeit des Glases.

Bevor es gelang, Natriumcarbonat mit dem Leblanc- und später mit dem Solvay-Verfahren synthetisch herzustellen, bildeten allein natürliche Rohstoffe die Grundlage der Flussmittel. Damit verbunden waren Schwankungen in Bezug auf die chemische Zusammensetzung des Rohstoffs und seine Verunreinigungen. Umso wertvoller war das Wissen um die richtigen Rohstoffquellen, die Aufarbeitung und Reinigung der

Rohstoffe und die Temperaturführung beim Schmelzen – ein Konvolut an empirisch erworbenem Know-how, das die Glasmacher wohlweislich als Geheimnis hüteten.

3.2.1 Natriumbasierte Flussmittel

Auf Natriumcarbonat basierende Flussmittel werden gerne unter dem Begriff *Soda*¹⁶⁹ zusammengefasst, obwohl sie sich nach Herkunft und Konzentrationsgehalt deutlich unterscheiden. Unter *Soda* versteht man nicht nur ein Mineral natürlichen Ursprungs, das an Salzseen vorkommt und aufgesammelt wird, sondern auch die Asche aus Salzpflanzen, sogenannte Halophytenasche.¹⁷⁰ Seit der Möglichkeit einer industriellen Herstellung steht *Soda* außerdem für reines Natriumcarbonat (Na₂CO₃, kurz Natron).¹⁷¹ Um herauszufinden, welche *Soda* zur Herstellung von farblosem Fensterglas in Deutschland verwendet wurde oder zur Verfügung stand, ist es sinnvoll, die Herkunft und die Herstellungsweise des Rohstoffs genauer zu beleuchten und zu benennen.¹⁷²

In historischen Quellen taucht der Begriff *Soda* vor allem im Zusammenhang mit der Herstellung von klarem Glas auf, womit in der Regel Hohlglas gemeint war. Die Herstellung von Fensterglas war jedoch grundsätzlich ebenso gut möglich. Heute ist in den schriftlichen Quellen oft nicht herauszulesen, welche *Soda*sorte gemeint ist. Georgius Agricola gibt zum Beispiel keine Auskunft, woher die *Soda* stammt, die er für klares Glas so geeignet hält.¹⁷³ Antonio Neri hingegen wird genauer, indem er mit der Bezeichnung *Soda Hispanica*¹⁷⁴ auf einen spanischen Ursprung hinweist. Er spezifiziert weiter, dass dieses ähnlich wie die

164 Ebd.

165 Ebd., IV, VI. Eine Aufreinigung von Silicium zu 100 % ist heutzutage möglich, aber in vielen Fällen nicht wirtschaftlich. Bei Nippon Sheet Glass Co. (NSG) in Weiherhammer werden zwei Sorten Floatglas hergestellt: eines, das noch Eisenbestandteile enthält – grün im Querbruch –, und ein komplett farbloses Glas. (Firmenbesuch am 10.10.2019).

166 KEPPELER 1911, 140.

167 Freundlicher Hinweis der Firma Lamberts, Waldsassen.

168 Vgl. KURZMANN 2004, 40; LENG 1854, 123.

169 Eine Zusammenfassung zu den wesentlichen Merkmalen von *Soda* in der Glasherstellung und zur Etymologie des Begriffs *Soda* siehe LOIBL 1996d, 159.

170 Halophytenasche zählt ebenso wie Holz- und Pottasche zum Oberbegriff Pflanzenasche.

171 FALBE / REGITZ 1998b, 2823 f.; LOIBL 1996d, 159.

172 Vgl. KURZMANN 2004, 38 und LOIBL 1996d, 159.

173 AGRICOLA 1556, 501.

174 Neri in KUNCKEL 1679, 10, 19.

Tabelle A Historische Definitionen von Soda (Zusammenstellung A. Schmölder, 2023)

Literatur	Bezeichnung	Produktname	Handelsform	Herkunft
Agricola 1556	Soda	-	„Salz“	-
Neri 1612 (1679)	<i>Soda hispanica</i>	-	-	Spanien
	-	<i>Rocchetta</i>	-	-
Kunckel 1679	<i>Soda hispanica</i>	-	„harte Ballen“	Spanien
	syrische und levantinische Aschen = Halophytenasche	-	-	Syrien, Levante
	-	<i>Pulvisculo</i>	Pulver	Syrien, Levante
Zedler 1731-1754	Soda = spanische Halophytenasche	-	-	Spanien
	-	<i>Roschette</i>	Pulver	Levante
Tabor 1818	Soda/Sode/Sude = alkalische Soda	-	-	-
	spanische Sode = <i>Halophytenasche</i>	<i>Barille/Barilla</i>	feste Stücke	Spanien (Alicante, Cartagena)
	syrische Sode = mineralisch-alkalisches Produkt/Naturprodukt	„ <i>Natron der Alten</i> “	Salz	Syrien (Tripoli), Ägypten (Alexandria)
	syrische Sode = Halophytenasche	<i>Rochette</i>	Pulver u. feste Stücke	Syrien, Ägypten
Leng 1854	Natürliche Soda = natürliches Natron	-	Kristalle	Ungarn

Flussmittel aus dem „Orient von Syrien und Levante“¹⁷⁵ aus der „Asche eines gewissen Krautes“¹⁷⁶ hergestellt wurde. Johann Kunckel, der Neris Texte übersetzte und kommentierte, übernimmt diese Bedeutungsverknüpfung.¹⁷⁷ In seinen Texten steht Soda stets für die spanische Variante, selbst wenn der Zusatz „*hispanica*“ fehlt.¹⁷⁸ Produkte aus Syrien oder aus der Levante hingegen bezeichnet er als „*Aschen*“¹⁷⁹, zusätzlich nennt er noch „*Pulvisculo*“¹⁸⁰, womit er wohl eine pulvrige Sodasorte meinte.¹⁸¹

Die Bedeutung von *Soda*¹⁸² als ein Produkt spanischer Herkunft wiederholt sich in Zedlers Universallexikon,¹⁸³ in dem ein eigener Eintrag zu Soda fehlt. Soda stellte damals offenbar kein universelles, sondern ein ganz bestimmtes Produkt dar. Im Lemma *Salz aus der Roschette und Soda zu zühen* werden zwei Sodasorten nebeneinander aufgeführt und im Text der Levante und Spanien zugeschrieben.¹⁸⁴

Die Verknüpfung von *Soda* mit einer Herkunft aus Spanien verliert sich im 19. Jahrhundert. Aber noch 1818 kennt Carl Wigand Tabor die „*spanische Sode*“ als „*Sode, oder auch spanische Barille*“.¹⁸⁵ Ansonsten zählt er Soda bzw. „*Sode*“ und „*Sude*“ allgemein zu den „*mineralisch-alkalischen Flüssen*“, die aus Salzpflanzen gewonnenen werden.¹⁸⁶

Seit Soda mit dem von Leblanc entwickelten Verfahren künstlich hergestellt werden konnte und der Wirkstoffs Natrium 1807 isoliert wurde, rückte allmählich die chemische Bezeichnung *kohlensaures Natron*¹⁸⁷ in den Vordergrund. Die klassischen Sodaprodukte aus

Halophytenasche verloren an Bedeutung und wurden Mitte des 19. Jahrhunderts zunehmend verdrängt.¹⁸⁸ Anfang des 20. Jahrhunderts bedeutete der Begriff Soda reines Natriumcarbonat,¹⁸⁹ sofern er nicht im historischen Kontext gebraucht wurde (Tabelle A).

175 Neri in KUNCKEL 1679, 10, 19.

176 Neri in ebd.

177 Ebd., 44.

178 KUNCKEL 1679, 348 wie in der Überschrift zu seinem Kommentar zu Merrett: „Eine Manier / die besten Saltze anstatt der Soda etc. zu bereiten“.

179 KUNCKEL 1679, 347.

180 Ebd. Obwohl Syrien als Teil der Levante betrachtet werden kann, unterscheidet Kunckel zwischen syrischer und levantinischer Halophytenasche. In anderen Worten: Unter der Bezeichnung levantische Asche ist die syrische nicht zwangsläufig miteingeschlossen.

181 Siehe Kapitel Halophytenasche

182 LOIBL 1996d, 159 weist darauf hin, dass die Brüder Grimm das Wort Soda für ein spanisches Lehnwort hielten.

183 ZEDLER 1731-1754, Bd. 33, 1589–1591. Er übernimmt fast wörtlich Neris Textstelle aus KUNCKEL 1679, 10–13.

184 ZEDLER 1731-1754, Bd. 33, 1589–1590. Bei „Roschette“ handelt es sich um eine besonders qualitätvolle Sorte aus Syrien, auf die im Kapitel Halophytenasche näher eingegangen wird.

185 TABOR 1818, 28.

186 Ebd., 26, 127.

187 KURZMANN 2004, 40; LENG 1854, 123.

188 Ebd., 126.

189 MEYERS KONVERSATIONSLIXIKON 1909.

Vorteile des Natriums

Auch wenn die Glasmacher die chemischen Zusammensetzungen ihrer Flussmittel nicht kannten, waren sie mit ihren Eigenschaften vertraut. Lange Zeit war man der Meinung, nur mit Soda bzw. Halophytenasche ein „vollkommenes *Crystall*“¹⁹⁰ herstellen zu können.¹⁹¹ Eine mit Soda hergestellte Glasmasse bot zudem einen längeren Verarbeitungsspielraum¹⁹² und ließ sich dadurch leichter formen als eine mit Kalium angereicherte Glasmasse. Noch heute ist in Glaserfachbüchern zu lesen, dass Soda die Einschmelzbarkeit verbessere, die Schmelzdauer verkürze und das Läutern des Glases erleichtere.¹⁹³ Diese Vorteile machen den in der älteren Literatur aufgeführten Nachteil wett, wonach Soda das Auftreten von Glasgalle während des Schmelzvorgangs begünstige.¹⁹⁴ Heute werden sämtliche Fensterscheiben auf Basis eines chemisch hergestellten Natriumcarbonats produziert.

3.2.1.1 Soda natürlichen mineralischen Ursprungs

Soda natürlichen Ursprungs entsteht durch Verdunstung und Ablagerung an Salzseen, wenn deren Wasserpegel im Sommer sinkt. Zurück bleiben weiße Kristalle, die von Hand aufgelesen werden. Diese Art von Flussmitteln ist in der Glasliteratur vor allem als *Trona* bekannt, das in römischer Zeit zur Herstellung von luxuriösen, farblosen Glasgefäßen diente. Bereits Plinius Secundus d. Ä. bringt es in Verbindung mit der Herstellung von klarem Glas. Er nennt die natürliche Soda *nitrium*.¹⁹⁵ Krünitz spricht von *Mineralalkali*.¹⁹⁶ In der Glasliteratur des 19. Jahrhunderts wird *Trona* auch als „natürliches *Natron*“¹⁹⁷ bezeichnet oder als *Natrum der Alten*.¹⁹⁸ Wedepohl führt in Abgrenzung zur Soda, die aus Asche gewonnen wird, noch die Bezeichnung „mineralische Soda“¹⁹⁹ ein.

Die Kristalle dieses natürlichen Salzes sind bis etwa 2 cm groß und unterscheiden sich in ihrer Form von denen der sich ebenfalls am Rande der Seen ablagernden *Steinsalze*²⁰⁰ und des grauen *Thenardits*.²⁰¹ Beim Einsammeln der Kristalle konnte eine gewisse Vorauslese vorgenommen werden, dennoch ist das natürliche Produkt meistens mit „wechselnden Mengen an *Steinsalz* [Natriumchlorid, Anm. d. Verf.], *Natriumsulfat*, *Gips* [Calciumsulfat Dihydrat, Anm. d. Verf.] und *Calcium-Magnesium-Carbonaten* [Calcit und Dolomitphasen, Anm. d. Verf.] *verunreinigt*“.²⁰² Chemisch gesehen handelt es sich bei *Trona* um ein Doppelsalz, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, das beim Erhitzen leicht in Natriumcarbonat übergeht.²⁰³ Im Gegensatz zur Halophytenasche wird dem Glasgemenge bei der

Verwendung von natürlicher Soda zusätzlich immer noch Kalk als Netzwerkstabilisator hinzugefügt.²⁰⁴

Das älteste und bekannteste Vorkommen natürlicher – mineralischer – Soda befindet sich an den Salzseen im ägyptischen *Wadi el-natrūn*,²⁰⁵ einem langgestreckten, ungefähr 100 km nordwestlich von Kairo gelegenen Wüstental, das namensgebend für das dortige Sodaprodukt *Trona*²⁰⁶ wurde und sich auch in der deutschen Bezeichnung *Natron* wiederfindet. Im Römischen Reich florierte der Handel mit *Trona* bis nach Europa, wurde jedoch durch den Zerfall des Reiches unterbrochen.²⁰⁷ Die Nachfrage nördlich der Alpen führte zu einer Verknappung und damit auch zu einer Verteuerung des Produkts und ab etwa 800 n. Chr. schließlich zu einer Umstellung auf alternative Flussmittel.²⁰⁸

Auch wenn der Handel mit *Trona* nicht mehr bis nach Europa reichte, so scheint das Aufsammeln der Salzkristalle weiterhin fortbestanden zu haben. Ein französischer Augenzeuge berichtet Anfang des 19. Jahrhunderts von einer täglichen Ausbeute von 20 Tonnen, die eine Karawane von 150 Kamelen und 600 Eseln aus dem *Wadi el-natrūn* abtransportierte.²⁰⁹ Mitte des 19. Jahrhunderts war Soda natürlichen Ursprungs aus unterschiedlichen Ländern in

190 ZEDLER 1731-1754, 1590.

191 Vgl. LOIBL 1996b, 160.

192 KURZMANN 2004, 190.

193 STACHERL 2010, 18.

194 TABOR 1802, 223 sieht in der vermehrten Gallenbildung eher einen Vorteil, da mehr unreines Material abgeschöpft werden kann und die Glasmasse dadurch reiner wird. Vgl. KURZMANN 2004, 195, der darauf hinweist, dass sich bei der Verwendung von Holzasche kaum Glasgalle bildet.

195 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 192-194 in Knoll 1979, 266, 267, 268.

196 KRÜNITZ 1810, 380.

197 LENG 1854, 132.

198 TABOR 1818, 26.

199 WEDEPOHL 2003b, 11-14, 52.

200 Steinsalz ist gleich Natriumchlorid.

201 Thenardit ist gleich Natriumsulfat. KURZMANN 2004, 34 und WEDEPOHL 2003b, 12.

202 KURZMANN 2004, 34. Diese Analyse bezieht sich auf *Trona*.

203 Ebd., 31 Fußnote 8.

204 WEDEPOHL 2003a, 92.

205 KURZMANN 2004, 34, führt an, dass es ähnliche Vorkommen an ungarischen Steppenseen, in Thrakien und in Mazedonien gibt. Siehe dazu auch WEDEPOHL 2003b, 11 und LENG 1854, 132.

206 Auch die deutsche Bezeichnung *Natron* für Natriumhydrogencarbonat lässt sich etymologisch aus dem Arabischen herleiten und gelangte über das Lateinische in unseren Sprachgebrauch. DWDS 2021.

207 WEDEPOHL 2003a, 94.

208 Ders. 2003b, 141 siehe auch KURZMANN 2004, 180; STEPPUHN 2016, 90.

209 Siehe WEDEPOHL 2003b, 12, der näher auf Andréossy eingeht.

deutschen Glasfachkreisen durchaus bekannt, aber nur ägyptische und ungarische Produkte kamen auf den deutschen Markt.²¹⁰ 1889 berichtet der Glashütten-techniker Wilhelm Mertens noch von einer aus Mexiko nach Deutschland importierten Ware namens *Urao*.²¹¹ Bislang ist nicht erforscht, ob und in welchem Umfang der Rohstoff aus Mittelamerika neben der Vielzahl an anderen damals verfügbaren Flussmitteln in der deutschen Glasherstellung überhaupt zum Einsatz kam. In den von Tabor und Leng im 19. Jahrhundert veröffentlichten Rezepturen zur Herstellung von klarem Fensterglas findet Soda natürlichen mineralischen Ursprungs zumindest keine Erwähnung.

3.2.1.2 Halophytenasche

Die Verwendung von Asche aus Salzpflanzen als Flussmittel reicht bis in assyrische Zeiten zurück.²¹² Die Asche war zunächst ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Seife und Waschmittel, wurde aber auch zum Schmelzen von Glasuren und zur Herstellung von opakem Glas verwendet. Im 6. Jahrhundert v. Chr. verdrängte Trona die Halophytenasche,²¹³ die als Flussmittel erst wieder an Bedeutung gewann, als der Handel mit Trona durch den Verfall des Römischen Reiches zusammengebrochen war. Grabungen belegen eine Art *Rückbesinnung* auf Halophytenasche im Vorderen Orient im 8. bis 9. Jahrhundert n. Chr.²¹⁴

In chemischen Analysen antiker Natriumsilicatgläser spricht der Nachweis geringer Magnesium- und Kaliumgehalte für die Verwendung eines Flussmittels natürlichen Ursprungs, für das bevorzugt Pflanzenasche in Frage kommt, die, abhängig vom Standort, durchweg aus einer Mischung von Alkali- und Erdalkalisalzen bestehen kann.²¹⁵

Diese Veränderung trat in etwa im selben Zeitraum auf wie der Wechsel zur Holzasche nördlich der Alpen.²¹⁶ Durch enge Handelsverbindungen zwischen Venedig und dem Vorderen Orient gelangte syrische Halophytenasche nach Italien, wo sie sowohl zur Seifenproduktion diente als auch in der Glasindustrie zum Einsatz kam. Venedig erkannte das wirtschaftliche Potenzial der levantinischen Handelsware, deren Import sie bereits im 13. Jahrhundert kontrollierte.²¹⁷ Der venezianische Einfluss verfestigte sich ab 1366 weiter durch die Etablierung einer regelmäßigen Schiffroute für den Baumwollhandel mit Syrien, den venezianische Kaufleute nutzen, um das Rohprodukt aus der Asche als kostengünstigen und ballastreichen Beipack zu nutzen.²¹⁸ Bis Mitte des 15. Jahrhunderts besaßen sie ein Monopol auf das syrische Flussmittel, womit die venezianischen Glashütten die Vorherrschaft auf

dem Gebiet der Glasherstellung erlangten und das maßgeblich zur Entwicklung der besonders klaren und durchsichtigen Glassorte *crystallino* beitrug.²¹⁹ In Kombination mit sehr reinem Kiesel aus dem Flussbett des Ticino²²⁰ gelang es, außergewöhnliche Glasgefäße zu schaffen, die in ihrer Brillanz und Reinheit an Bergkristall heranreichten. Das war ein Meilenstein für die Herstellung von farblosem kristallklarem Glas, der neue Bedürfnisse weckte und sich auch auf die Herstellung von Fensterglas übertrug.

Der Ruhm Venedigs drang bis nach Deutschland, wo die Entwicklung nicht nur wahrgenommen wurde, sondern auch als nachahmenswert galt. Dies spiegelt sich wider in den Bezeichnungen „*venedischen gleser*“²²¹ und „*à la façon de Venise*“ für kristallklares Hohlglas,²²² die als Hinweis auf den Herstellungsort Venedig oder auf eine adaptierte Herstellungsweise verstanden werden. Hinsichtlich Fensterglasscheiben ist bekannt, dass Butzenscheiben einerseits aus Venedig importiert, andererseits im deutschsprachigen Raum produziert wurden.²²³

Zusammensetzung

Salzliebende Pflanzen besitzen die Eigenschaft, Natriumchlorid aus salzigen Böden aufzunehmen und in ihrem Kohlenstoffgerüst einzulagern. Ihre Asche besteht deshalb an erster Stelle aus Natriumcarbonat (Na_2CO_3) und den Carbonaten essentieller Spurenelemente des Organismus, also Calcium (CaCO_3), Magnesium (MgCO_3) und Kalium (K_2CO_3).²²⁴ Der Anteil an Calcium als Netzwerkstabilisator ist oft hoch genug, so dass auf den Zusatz von mineralischem Calcit in Form von Kalk für die Glasherstellung verzichtet werden kann.²²⁵

210 LENG 1854, 132.

211 MERTENS 1889, 22; MEYERS KONVERSATIONSLERIKON 1885-1892, 1047.

212 KURZMANN 2004, 38 und WEDEPOHL 2003b, 7–11.

213 KURZMANN 2004, 40.

214 Ebd., 40 f.; WEDEPOHL 2003a, 94. Wedepohl hat die Veränderung mit dem Vordringen des Islams in Verbindung gebracht.

215 Ders. 2003b, 9.

216 WEDEPOHL 2003a, 94.

217 Ders. 2003b, 11 und sehr ausführlich JACOBY 1993, 68, 69-70.

218 Ebd., 69 f. In chemischen Analysen venezianischer Gläser des 14. Jahrhunderts kann die Verwendung der syrischen Halophytenasche nachgewiesen werden. Siehe WEDEPOHL 2003b, 9.

219 JACOBY 1993, 69.

220 Ebd., 75.

221 MATHESIUS 1562, 277r.

222 GAI 2017, 513.

223 EIKENBERG 1976, 131 f.; LANG 1991.

224 WEDEPOHL 2003b, 7; KURZMANN 2004, 34.

225 CALVI 1968, 33; WEDEPOHL 2003a, 92.

Um die Asche zu gewinnen, werden Salzpflanzen gesammelt, getrocknet und anschließend verbrannt.²²⁶ Die Pflanzen aus der Gattung der Queller bzw. *Salicornia*, zu der verschiedene Arten zählen,²²⁷ wachsen vor allem in Meeresnähe oder in Salzwüsten. Vannoccio Biringuccio nennt in seinem Lehrbuch *De la Pirotechnia* einige der salzliebenden Pflanzen, darunter „Gala“ und eine namens „Soda“, die auch unter den Namen „Dusnea“ oder „Difelti“ bekannt sei.²²⁸ Agricola erwähnt die Pflanze „Anthyllium“.²²⁹

Abgesehen von der Levante, wo begehrte Halophytenaschen wie *Rocchetta* herkamen, boten die Südküsten Spaniens und Frankreichs beste klimatische Voraussetzung und Bodenverhältnisse für das Wachstum der salzliebenden Pflanzen. Es wurden nicht nur wildwachsende Pflanzen gesammelt, sondern sie wurden in Plantagen angebaut.²³⁰ Einige für die Herstellung von Halophytenasche in Spanien verwendeten Pflanzen werden bei Tabor aufgeführt²³¹ und dürften sich über die Jahrhunderte kaum verändert haben.²³² Die Auswahl der Pflanzen und die unterschiedliche Sorgfalt bei der Herstellung führten naturgemäß zu Produkten mit einem schwankenden Wirkungsgrad, was zu sehr unterschiedlichen Bezeichnungen führte, wie weiter unten näher ausgeführt wird.²³³

Die an den deutschen Nord- und Ostseeküsten im Brackwasser wachsenden Salzpflanzen waren ungeeignet, weil ihre Asche nicht genügend Natriumcarbonat aufwies. Bessere Resultate erzielte die englische Variante *Kelp*, die aus Salzpflanzen von den Küsten Großbritanniens hergestellt wurde.²³⁴

Brocken und Ballen

Der Begriff *Asche* darf nicht zu der Annahme verleiten, es handele sich zwangsläufig um eine lose oder pulvrige Substanz. Venezianer kauften Halophytenaschen bevorzugt in Form von steinartigen Stücken oder Brocken.²³⁵ Die italienische Bezeichnung *Rocchetta*²³⁶, die auch mit *kleinem Felsen* oder *kleine Steine* übersetzt werden kann, kann ein Sinnbild für die Handelsform sein.²³⁷ *Rocchetta* bezog sich zunächst exklusiv auf eine syrische Halophytenasche. Dem Augenzeugenbericht des reisefreudigen bayerischen Arztes und Hobbybotanikers Leonhart Rauwolf ist es zu verdanken, dass wir Kenntnis von der Entstehung der harten Handelsware im 16. Jahrhundert erhalten.²³⁸

„Dise bayde Kreüter / werden nit weit von dannen gefunden / ond auff den hohen bergen herumb zü äschen gebrandt / in welcher sich zü onderst am boden ein ölige faißte²³⁹ findet / mit dero sich die äschen vermischet / ond wanns erkaltet / so hart wirt / das es gar

*nahe einem stain zuuergleichen: oben gleichwohl bleibt ein thail der äschen onuermischet / welche ruriger / ond deßhalben nit so güt wie die ander.*²⁴⁰

Beim Verbrennen verflüssigt sich die Asche im unteren Teil zu einer buttrigen Substanz, die beim Erkalten zu Stein erstarrt. Der Grund für die physikalische Veränderung liegt in der Verwendung von Salzpflanzen und wird durch Carl Wigand Tabor viele Jahrhunderte später bestätigt:

„Der gewöhnlich sehr starke Gehalt an Alkali und salzigen Stoffen ist Ursache, daß die Asche etwas in Fluß kommt, zusammen sintert, und nach dem Erkalten zu einer sehr festen steinartigen Masse wird, wie man an der im Handel vorkommenden Sode bemerkt.“²⁴¹

Rauwolf hielt gerade den steinigen Anteil der Asche für besonders qualitativ. Diese Annahme deckt sich mit Hinweisen aus weiteren schriftlichen Quellen wie bei Merrett in Kunckels Veröffentlichung.

226 TABOR 1818, 26; KURZMANN 2004, 38–41.

227 Ebd., 34. Schon Assyrer nutzten *Salicornia*, wie auf einer Tontafel aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. zu entnehmen ist. CHOPINET 2019, 4.

228 BIRINGUCCIO 1540, 131.

229 AGRICOLA 1556, 501 Fußnote 35. Es ist unklar, welche Pflanze mit „Anthyllium“ gemeint ist, wahrscheinlich handelt es sich um eine Halophytenpflanze.

230 TABOR 1818, 26.

231 Ebd., 26–28 und LENG 1854, 123–125. Siehe auch KURZMANN 2004, 34.

232 LOIBL 1996d, 169.

233 Vgl. TABOR 1818, 26.

234 Ebd., 30.

235 JACOBY 1993, 69 f. Auch ZEDLER 1731-1754 erwähnt Steine unter dem Lemma Alkali, Bd.1. Spalte 1226. Plinius spricht von Natursodaklumpen, siehe oben und Knoll 1979, 266, 267, 268. Bislang geht man davon aus, dass hier Trona aus Ägypten gemeint ist.

236 NERI 1612, 1,9,13. Auf Seite 27 Rochetta ausnahmsweise mit einem „c“. KUNCKEL 1679, 19, 245 übernimmt die latinisierte Orthographie. Bei ZEDLER 1731-1754, Lemma: Salz aus der Roschette ist eine eingedeutschte Version zu finden. Bei KRÜNITZ 1819: Rochette und Ruchetta; TABOR 1818, 27 hält sich mit *Rocchetta* an die ursprüngliche Schreibweise mit zwei „c“. LENG 1854, 124 benutzt die französisch anmutende Bezeichnung Rochette. Im Englischen wird heute wie bei MERRETT 1668, 1 Rochetta verwendet, siehe dazu auch CHOPINET 2019, 7.

237 Bei KURZMANN 2004, 34 findet sich der Hinweis auf die lateinische Bezeichnung Roquette, *Eruca sativa* Lam. für den Gemeinen Senfkohl, der als Halophytenpflanze in der Levante wuchs. Demnach wäre der Name Rochette abgeleitet von einer Pflanze und nicht von der steinigen Handelsform.

238 RAUWOLF 1583, 37 f.; siehe auch ASHTOR / CEVIDALLI 1983, 476–478.

239 DWDS 2021. Hier wird faißte als fest, fettig, speckig, fruchtbar definiert.

240 RAUWOLF 1583, 38.

241 TABOR 1818, 27. Der Vorgang der Einäscherung, so Tabor weiter, dauere um die 10 Tage und ergäbe 90 bis 100 Zentner Flussmittel. Siehe auch LOIBL 1996d, 169.

„Es ist auch bey denen Glasmachern aus gewisser Erfahrung bekannt / daß aus denen grössern und härtern Stücken veil ein weissers und schärffers Saltz / als aus dem Pulver und kleinern Stücklein kommet / und bereitet wird.“²⁴²

Hier klingt außerdem an, dass aus der steinigten Asche ein Salz extrahiert wurde. Alternativ konnten die Sodabrocken vor der Weiterverwendung im Glasgemenge zu Pulver zerkleinert werden, was für die meisten Glashüttenbetriebe grundsätzlich kein großes Problem dargestellt haben dürfte, da sie durch die Zerkleinerung von Kiesel mit dem Mahlen von hartem Material vertraut waren. Von venezianischen Glashütten ist belegt, dass sie im 15. Jahrhundert das Zerkleinern der Sodabrocken selbst übernahmen.²⁴³ Auf diese Weise behielten sie die Kontrolle über die Qualität des Flussmittels und konnten sichergehen, dass dem Pulver keine fremden Komponenten untergemischt worden waren.

Noch um 1800 wurde spanische Soda in „Klumpen“ nach Deutschland geliefert, die dann, wie Tabor zu berichten weiß, in den Glashütten in mehlfeines Pulver verwandelt wurden.²⁴⁴ Die harte Masse wurde in Trögen oder in einer Stampfmühle zerstoßen und anschließend durch „feine Messingdraht-Siebe“²⁴⁵ gepresst. Ausdrücklich weist Tabor darauf hin, dass diesem Vorgang keine weitere Verarbeitung folgte und das Pulver dieser Soda direkt ins Gemenge eingebracht wurde.²⁴⁶ Hier widerspricht er der Vorgabe von Zedler, wonach die spanische Soda durch einen Extraktionsprozess noch „auszuziehen“²⁴⁷ sei, worauf weiter unten noch näher eingegangen wird.

Lose Halophytenasche und Pulver

Die Verwendung von loser Halophytenasche als Flussmittel lässt sich aufgrund von Rauwolfs Bericht bereits für das 16. Jahrhundert annehmen. Nähere Angaben, auf welche Weise der „unvermischte“ obere Aschenteil verarbeitet oder verwendet wurde, gibt Rauwolf jedoch nicht. Es kann nur gemutmaßt werden, dass die Asche vor Ort gesiebt und gemahlen wurde, da auch pulvrige Halophytenasche gehandelt wurde. Ebenso unklar ist, wie sie für den Transport verpackt oder gegen Feuchtigkeit geschützt wurde. Eine Aufbereitung zu kompakten Formen, wie sie von Ziegeln bekannt ist, scheint unüblich gewesen zu sein.²⁴⁸

1612 berichtet Antonio Neri explizit von einem „Levantischen Pülverlein Rocchetta“,²⁴⁹ womit er zu Pulver gemahlene *Rocchetta*, also ein qualitativvolles Produkt gemeint haben könnte. Den Engländern hingegen war laut Merrett der Handelsname *Rocchetta*

unbekannt, dafür sollen sie alle aus dem Orient importierten Halophytenaschen als „Pülverlein“ bezeichnet haben.²⁵⁰ Merrett riet von diesen Flussmitteln ab, da sie leicht verunreinigt oder verfälscht werden konnten.²⁵¹

Auch künstlich hergestellte Soda, sogenannte „Rohsoda“²⁵², wurde fein gemahlen. Sie musste danach sogleich ausgelaugt werden, weil sie als Pulver aufbewahrt „zu viel Kohlensäure aus der Luft“ anzöge.²⁵³

Extrahierte Halophytenasche als Salz

Die Halophytenasche war nicht nur in Form loser Asche, als Aschebrocken oder als Pulver bekannt, sondern fand auch noch in Form von Salz Verwendung. Seit der Veröffentlichung von Vannoccio Biringuccios Lehrbuch *De la Pirotechnia*²⁵⁴ häufen sich die Hinweise auf eine Aufbereitungspraxis, bei der die Sodaprodukte durch Auslaugen, Erhitzen und Kristallisieren in ein Salz verwandelt wurden.

Bei Agricola, dem Biringuccios *Pirotechnia* bekannt war, klingt das Auslaugen von Halophytenaschen ebenfalls an. Er spricht von einem Salz, „das aus Lauge dargestellt wird, die man aus der Asche von Anthyllium oder anderen Salzkräutern gewinnt.“²⁵⁵ Auch Neri rät, die Flussmittel vor der Zugabe zum Gemenge einem zusätzlichen *Auszugsprozess* zu unterziehen. Er schlägt in eigenen Kapiteln gleich mehrere Verfahren vor, von denen bereits die Überschriften aufschlussreich sind:

„Das Erste Capitel. Wie das Saltz aus dem Pülverlein / Rocchetta / und aus der Soda Hispanica auszuziehen / vermittelt welches die Fritta Crystalli / von den Italienern Bollito genannt / zubereitet wird / als darinnen das fundament der gantzen Glasmascher=Kunst bestehet / mit einer gantz neuen und geheimen Manier.“²⁵⁶

242 Merret in KUNCKEL 1679, 245.

243 JACOBY 1993, 68.

244 TABOR 1818, 127.

245 Ebd.

246 DERS. 1818, 127.

247 ZEDLER 1731-1754, 1589–1590.

248 Sie wird nur im Zusammenhang mit natürlicher Soda erwähnt. Vgl. LOIBL 1996d, 192 Fußnote 55.

249 Neri in KUNCKEL 1679, 10, 19.

250 Merrett in ebd., 245.

251 Merret in ebd., 245 f.

252 LENG 1854, 128.

253 Ebd., 129.

254 BIRINGUCCIO 1540, 131.

255 AGRICOLA 1556, 501.

256 Neri in KUNCKEL 1679, 10.

„Das 3. Capitel. Eine andere ganz neue und von mir erfundene Art / aus dem Levantischen Pulver / das Saltz zu extrahiren / womit eben ein so schöner und durchscheinender Crystall / gleich dem Berg=Crystall / bereitet wird“.²⁵⁷

Neris Verfahren zur Herstellung eines Salzes aus Halophytenasche wird Mitte des 18. Jahrhunderts, also rund 150 Jahre später, von Johann Zedler in seinem deutschsprachigen *Universal-Lexicon* fast wortwörtlich übernommen.²⁵⁸ Das entstandene Produkt wurde wegen seiner kristallinen Konsistenz und seiner geschmacklichen Eigenschaft als Salz bezeichnet. Für den Transport war es jedoch weniger gut geeignet, da es leicht zerfloss. Außerdem war eine Qualitätskontrolle schwierig, da sie allein auf einer Geschmacksprobe beruhte.²⁵⁹

Im Gegensatz zu Tabor, der das Ausziehen von Soda für unnötig hält, führt Leng in seiner Veröffentlichung Mitte des 19. Jahrhunderts an, dass sogar „rohe Soda“ durch „Aufweichen in Wasser, Auslaufen, Abdampfen und Krystallisiren gereinigt“ wurde, um die Glasqualität zu verbessern, der sonst „immer eine mehr oder weniger starke Färbung ertheilt“²⁶⁰ wird.

Verfügbarkeit

Im 17. Jahrhundert nennt Merrett in Kunckels Werk die drei Sodasorten „*Rocchetta*“, „*Soda Hispanica*“ und „*Levantisches Pülverlein*“, die somit auch in deutschsprachigen Fachkreisen bekannt gewesen sein dürften.²⁶¹ In welchem Maße sie den Glashütten im deutschsprachigen Raum zur Verfügung standen, kann daraus nicht abgeleitet werden, zumal Kunckel statt der Verwendung des „*Levantischen Pulvers*“ alternative Herstellungsweisen aus heimischen Pflanzen vorschlägt.²⁶²

In Bezug auf *Rocchetta* sind Hinweise auf einen Import nach Deutschland selten. Es war deutschen Händlern ab 1469 verboten, levantinische Aschen in Venedig zu kaufen.²⁶³ Es bleibt unklar, ob und in welchem Umfang diese als begehrenswert bezeichnete Sodasorte zur Zeit Kunckels eine Rolle in den deutschen Glashütten spielte, selbst wenn Neri sie der spanischen Soda vorzog.²⁶⁴ Im 19. Jahrhundert ist der Handelsname *Rocchetta* in deutschen Fachkreisen immer noch geläufig, das Produkt jedoch nicht handelsüblich.²⁶⁵ Selbst Tabor musste es eigens in Venedig besorgen, um sich von seinen Vorzügen zu überzeugen, und merkte an, dass *Rocchetta* „in Europa nicht mehr in häufigen Gebrauche“ sei.²⁶⁶ Auch Loibls umfangreiche Recherchen ergaben, dass Soda aus dem Vorderen Orient in den kurmainzischen Glashütten nicht zum Einsatz kam.²⁶⁷

Der Handel mit spanischen Sodasorten im Zusammenhang mit Fensterglas ist hingegen seit dem 16. Jahrhundert nachgewiesen. Von der herzoglichen Glashütte in München an der Graggenau, die von dem Italiener Johann Scarpoggiato geführt wurde, ist nicht nur verbrieft, dass um 1585 „*Spänische Aschen*“ bezogen wurden, sondern auch, dass sie für die Herstellung von „*Scheibenglas*“ verwendet wurden.²⁶⁸ Vermutlich kam die Importware über Hall, einen wichtigen Umschlagplatz in Tirol, zu dem die Glashütte Verbindung hatte. Es ist belegt, dass die Transporte von der spanischen Küste entweder über Genua nach Hall und Innsbruck führten oder über Mailand nach München.²⁶⁹ Eine weitere Route brachte spanische Soda per Schiff nach Holland und dann den Rhein und den Main hinauf.²⁷⁰ Kunckel konnte diese Soda erwerben und hat „*derer viel Centner verbraucht*“.²⁷¹ Tabor bestätigt ein Jahrhundert später die leichte Verfügbarkeit der spanischen Soda: „*Die Sode beziehet man in den mittlern und südlichen Gegenden Deutschlands, am besten aus Holland, in den nördlichen Gegenden aber aus den Hansestädten.*“²⁷²

Im 19. Jahrhundert waren in Deutschland die spanischen Sodasorten in unterschiedlichen Handelsformen erhältlich. Die qualitativste Sorte hieß *Barille*²⁷³ oder *Barilla*²⁷⁴. Daneben gab es Produkte minderer Qualität, die je nach Anbaugebiet als *alicantische* und *carthagensische Sode* gehandelt wurden.²⁷⁵ Tabor berichtet außerdem noch sehr ausführlich über sämtliche andere ihm bekannten Flussmittel. So hielt er die sizilianische oder „*sicilische Sode*“²⁷⁶ für mindestens ebenso qualitativ wie die spanische Soda. Ob sie gehandelt wurde, lässt

257 Neri in ebd., 15. Zwei Seiten weiter wiederholt Neri ausdrücklich, dass die dargestellte Methode seine Erfindung sei.

258 ZEDLER 1731-1754, Bd. 33, 1589.

259 LOIBL 1996d, 172.

260 LENG 1854, 125 f

261 Merret in KUNCKEL 1679, 245.

262 KUNCKEL 1679, 50.

263 ASHTOR / CEVIDALLI 1983, 514.

264 Neri in KUNCKEL 1679, 10.

265 Siehe TABOR 1818, 27 und LENG 1854, 124.

266 TABOR 1818, 27.

267 LOIBL 1996d, 165.

268 VOPELIUS 1895, 27.

269 LOIBL 1996d, 163-164, 171. Loibl weist darauf hin, dass ab dem 17. Jahrhundert auch Venedig Barilla aus Spanien bezog, als der Handel mit der Levante politisch schwierig wurde.

270 Ebd., 171.

271 KUNCKEL 1679, 44; LOIBL 1996b, 159.

272 TABOR 1818, 472 und auch 28.

273 Ebd.

274 LENG 1854, 124.

275 TABOR 1818, 28, 127.

276 Ebd., 28.

er aber offen. Von den in Frankreich produzierten Sodasorten kam seiner Meinung nach nur die „*Salicor-Sode*“²⁷⁷ aus der Gegend von Narbonne an die Qualität der spanischen heran. Sie soll jedoch kaum exportiert worden sein, weil zuerst der französische Markt abgedeckt wurde. Die anderen französischen Sorten unter den Namen „*Bourde*“ bzw. „*Soude*“, „*Sode aus der salsola soda*“, „*Clavels Sode*“, „*Blanquette Sode*“ und „*Doucette Sode*“ waren angeblich „zur Glasmacherey nicht brauchbar“,²⁷⁸ ebenso wenig die „*Varech Sode*“²⁷⁹, die an den nördlichen Küsten Frankreichs hergestellt wurde oder die Asche aus der Pflanze „*Tamarix gallica*“²⁸⁰. Auch die englische Variante mit Namen „*Kelp*“²⁸¹ sei selten auf dem deutschen Markt.

Leng erweitert die Liste an Sodasorten in seiner Veröffentlichung von 1854 um ein paar Namen, erwähnt dabei jedoch nicht, ob sie auch für den deutschen Markt relevant waren.²⁸² Allerdings vermerkt er den Handel mit „*Sodasalz und kohlen-saurem Natron*“²⁸³.

Spanische Soda kann für die Herstellung von Mondglas nachgewiesen werden,²⁸⁴ blieb aber eher die Ausnahme. Tabor schreibt es der „*Unkunde vieler Glasmacher*“²⁸⁵ zu, dass Soda nicht häufiger zum Einsatz komme und stattdessen Pottasche verwendet werde.²⁸⁶ In den kurmainzischen Spiegelmanufakturen ist seit 1698 ein kontinuierlicher Einsatz von Soda belegt, der vorwiegend mit der Herstellung von Spiegelglas in Verbindung gebracht wird und eher zufällig für das dort ebenfalls hergestellte Mondglas verwendet worden sein dürfte.²⁸⁷ Letztendlich scheuten die fensterglasproduzierenden Hütten die hohen Kosten für Soda. Loibl zitiert aus Tabors Gutachten, welche Schwierigkeiten mit der Verwendung von Soda auftreten konnten, und vermerkt, dass den deutschen Glasmachern die Erfahrung mit der teuren Soda fehlte.²⁸⁸

3.2.1.3 Glaubersalz

Zusammensetzung

Chemisch betrachtet ist Glaubersalz ein Natriumsulfat (Na_2SO_4). In der Natur kommt es in verschiedenen Mineralwässern, in einigen Mineralen wie Thenardit und Mirabilit oder in Form von Doppelsalzen²⁸⁹ vor. Bereits 1625 entdeckte der Apotheker und Chemiker Johann Rudolph Glauber²⁹⁰ das später nach ihm benannte Salz als Bestandteil im Mineralwasser.

Das durch Eindampfen des Wassers gewonnene Extrakt bezeichnete er als *Sal mirabile*.²⁹¹ 1658²⁹² gelang ihm die synthetische Herstellung aus Natriumchlorid und Schwefelsäure, in Fachkreisen auch als „*schwefelsaures Natrum*“²⁹³ oder „*schwefelsaures Natron*“²⁹⁴

bekannt, das zunächst für medizinische Zwecke eingesetzt wurde. Auch wenn der experimentierfreudige Chemiker, ein gebürtiger Unterfranke aus Karlstadt, die Wirksamkeit des Glaubersalzes als Flussmittel für die Glasherstellung getestet hatte, war die Anwendung von Glaubersalz damals noch nicht gebräuchlich.²⁹⁵ Die Vorteile von Glaubersalz wurden zwar erkannt, die nötigen Mengen standen aber erst etwa 100 Jahre später zur Verfügung, als Glaubersalz fabrikmäßig hergestellt wurde.²⁹⁶

Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts veränderte sich die Lage, als man gezielt nach Alternativen für die zu teurer gewordene Pottasche und die importierte Soda suchte. Inzwischen konnte Glaubersalz in größeren Mengen industriell aus Kochsalz hergestellt werden oder fiel als Nebenprodukt u. a. aus Salinen an.²⁹⁷ „*Nur in der jetzigen Lage der Dinge, wo Potasche und Sode zu einem ungeheuern Preise gestiegen sind, ist es vielleicht möglich, das Glaubersalz zum Glasmachen mit Nutzen zuzubereiten*“.²⁹⁸

Diese Situation führte in der Glasindustrie zu beachtenswerten Versuchen mit Glaubersalz²⁹⁹, so dass Leng es Mitte des 19. Jahrhunderts immer noch für angebracht hielt, die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit 50 Experimenten zu dokumentieren.³⁰⁰ Sie waren

277 TABOR 1818, 29.

278 Ebd.

279 Ebd., 30, 127.

280 Ebd., 30.

281 Ebd., 30, 127.

282 LENG 1854, 125 f.

283 Ebd., 126.

284 TABOR 1802, 222.

285 DERS. 1818, 28.

286 Ebd.

287 LOIBL 1996d, 157-158, 161.

288 Ebd., 160 f.

289 FALBE / REGITZ 1998a, 2840. Als Doppelsalz werden beispielsweise Glauberit, Astrakanit, Glaserit und Löweit aufgeführt. Siehe auch KEPPELER 1911, 152; GERNER 1897, 38–40.

290 Der im fränkischen Karlstadt geborene Johann Rudolph Glauber (1604-1670) experimentierte mit Heilwässern und entwickelte neue Destillierungsmethoden. Er verbrachte viele Jahre in Amsterdam, wo er ein Labor betrieb und in einer Glashütte Produktionsversuche mit Glas durchführte LOIBL 2007, 83–85.

291 FALBE / REGITZ 1998b, 2840. SCHMÖLDER et al. 2019b, 18.

292 GERNER 1897, 39.

293 TABOR 1818, 32.

294 LENG 1854, 127; GERNER 1897, 38.

295 DERS. 1897, 39.

296 Ebd.

297 LENG 1854, 134 f.

298 TABOR 1818, 34.

299 Vgl. KARMARSCH 1872, 523 f.

um 1800 in Österreich auf Veranlassung der kaiserlichen Spiegelfabrik zu Neuhaus durchgeführt worden. Dabei ging man in erster Linie der Frage nach, ob es für die Spiegelglas- und Hohlglasherstellung gelingen könne, eine in Bezug auf die Farblosigkeit brauchbare Qualität zu erreichen. Die Ergebnisse sind aufschlussreich, denn sie geben einen Einblick in die Komplexität der Glasherstellung, bei der immer mehrere Faktoren berücksichtigt werden mussten.

„1) Die Zerlegung des Glaubersalzes geschieht am einfachsten und sehr leicht in dem Glashafen bei der gewöhnlichen Schmelzhitze durch Zusatz von 1/13 des Gewichts des Glaubersalzes an Kohle, wodurch das Glas noch nicht gefärbt wird.

2) Man kann auch ohne Zusatz von Kohle mit einem größeren Verhältnis von Glaubersalz und Kalk Glas schmelzen, indem ein Theil der Schwefelsäure des Glaubersalzes verflüchtigt, ein anderer an den Kalk gebunden wird und als Gyps in der Verglasung mit eingeht, aber die Schmelzzeit wird ohne allen günstigen Einfluß auf die Güte des Glases mehr als um das Doppelte verlängert, die Waare also durch Verschwendung an Holz, Zeit und Arbeitslohn vertheuert.

3) Durch Weglassen des Kalkes wird die Schmelzzeit verlängert, aber das Glas gewinnt etwas an Farblosigkeit.

4) Das Fritten erwies sich nicht vorthelhaft.

5) Weder die Häfen noch der Ofen wurden durch diese Versuche angegriffen.

6) Es lässt sich nicht bezweifeln, daß man mittelst Glaubersalz mit nicht mehr Umständen als mit Pottasche ein, wenn auch nicht ganz farbloses, doch sehr brauchbares und schönes Glas erzeugen kann, welches im Handel jederzeit für ordinäres weißes Glas gelten wird.“³⁰¹

Für die Herstellung von „ordinärem“ weißem Glas³⁰², zu dem Fensterscheiben zählten, war der Einsatz von Glaubersalz allemal geeignet. Diese Experimente bestätigten die Nützlichkeit von Glaubersalz als Ersatzflussmittel. Außerdem argumentierte man zusätzlich mit hohem Glanz, größerer Härte und Festigkeit sowie mit geringerer Sprödigkeit des so produzierten Glases.³⁰³ Ein leicht bläulicher Farbstich, der nicht ganz aufgehoben werden konnte, wurde dafür in Kauf genommen.³⁰⁴

Die Verwendung von Glaubersalz erforderte in der Regel eine Zugabe von Kohlenstoff, meistens in Form von Kohle, was sich in den Rezepten niederschlägt.³⁰⁵ Der Kohlenstoff fungiert dabei als Reduktionsmittel.

Verfügbarkeit

Einige Herstellungsorte für Glaubersalz sind belegt. Dazu gehört die erste deutsche chemische Fabrik in Schönebeck bei Magdeburg, die 1793 als *Königlich Preußische Chemische Fabrik* gegründet worden war und später auch Soda nach dem Leblanc-Verfahren herstellte.³⁰⁶ Sie konnte Mitte des 19. Jahrhunderts jährlich 9.000 Zentner Glaubersalz aus Salinenabfällen der Salzsiedereien produzieren.³⁰⁷ In Sachsen stand der Friedrichshütte zu Senftenberg als Nebenprodukt das etwas verunreinigte Glaubersalz aus dem Amalgamwerk Halsbrücke zur Verfügung.³⁰⁸ Auch in Freiberg wurde unreines Glaubersalz an Glashütten verkauft.³⁰⁹ Als großer Nachteil erwiesen sich dort „lästige Dämpfe“, so „daß die Arbeiter lieber die Hütte verlassen, als fortarbeiten wollten.“³¹⁰

Von den Zwieseler Hütten im Bayerischen Wald ist im Jahr 1835 für die Herstellung von Glastafeln der parallele Einsatz von Pottasche und Glaubersalz belegt.³¹¹ Im Unterdonaukreis hielt man Glaubersalz als Ersatz für Pottasche offenbar nur für die Herstellung von *Tafelglas* geeignet, nicht aber für die von Hohlglas.³¹²

3.2.1.4 Synthetisch hergestellte Soda

3.2.1.4.1 Leblanc-Verfahren

Zusammensetzung

1791³¹³ gelang Nicolas Leblanc in Frankreich die Herstellung von Soda (Na_2CO_3) aus Kochsalz (NaCl) und Kalk (CaCO_3). Das Verfahren wurde zur Zeit der Französischen Revolution entwickelt, als die Einfuhr ausländischer Soda verboten war.³¹⁴ Da Soda nicht nur in der Glasindustrie gefragt war, sondern auch

300 LENG 1854, 302 f. Auch TABOR 1818, 39–42 nimmt Bezug auf die Experimente.

301 LENG 1854, 302 f.

302 Ebd., 303.

303 TABOR 1818, 41 f.

304 Ebd.

305 LENG 1854, 312–327.

306 WIKIPEDIA 2022a.

307 LENG 1854, 135.

308 Ebd., 301.

309 Ebd., 136.

310 Ders. 1854, 301.

311 SPERLING 1993, 39; vgl. Schmölder et al 2019b, 16.

312 Vgl. RUDHART 1835, 43 f.

313 LAUT KARMARSCH 1872, 807 erhielt Leblanc 1791 das Patent. FALBE / REGITZ 1998a, 2823 nennt das Jahr 1790.

314 LENG 1854, 126.

zum Seifensieden, zur Färberei und zur Kattundruckerei (Baumwolldruckerei für Stoffe) gebraucht wurde,³¹⁵ war das Anwendungsgebiet groß und die Suche nach Alternativen entsprechend dringend. Leblanc gewann den Wettlauf, indem er zunächst aus Kochsalz und Schwefelsäure Natriumsulfat herstellte und dann zusammen mit Kalk und Kohle erhitzte und auslaugte.³¹⁶ Laut Leng wurde es als „*rohe Soda*“ verkauft,³¹⁷ die noch aufbereitet werden musste, da es nur mit einer „*gehörig gereinigten calcinierten Soda*“ möglich sei, ein „*sehr schönes farbloses Glas*“ zu erreichen.³¹⁸ Obwohl Natriumcarbonat auf diese Weise in größeren Mengen industriell produziert werden konnte, blieb es teuer. Die hohen Energiekosten hatten sich als nachteilig erwiesen, ebenso die ungünstigen Abfallprodukte wie stechend riechendes und umweltschädliches Wasserstoffchlorid sowie Calciumsulfid.³¹⁹

Verfügbarkeit

In Deutschland nahm 1802 die in *Hermania* umbenannte Königlich Preußische Chemische Fabrik in Schönebeck die Produktion von industriellem Natron nach dem Leblanc-Verfahren auf.³²⁰ In Villingen bestand von 1826 bis 1850 die Sodafabrik Kölreuther & Co. AG.³²¹ Für den Spessart ist belegt, dass die Glashütten in der Zeit von 1842 bis 1855 Soda aus der chemischen Fabrik Neuschloß bei Worms oder vom Verein chemischer Fabriken in Mannheim und aus Köln bezogen.³²² Während in deutschen Glashütten weiterhin die traditionellen Flussmittel eingesetzt wurden, verdrängte das in den 1820er Jahren in England eingeführte Leblanc-Verfahren innerhalb kürzester Zeit die Verwendung pflanzenbasierter Flussmittel, insbesondere Kelp.³²³

3.2.1.4.2 Solvay-Verfahren

Zusammensetzung

Aufgrund der Nachteile des Leblanc-Verfahrens beschäftigten sich im 19. Jahrhundert einige Wissenschaftler damit, die Sodaherstellung entscheidend zu verbessern. Dem Belgier Ernest Solvay gelang es, in einem komplexen chemischen Kreislaufprozess durch Herstellung und Rückgewinnung aus gebranntem Kalk, Ammoniak und Kohlendioxid künstliches Natriumcarbonat (Na_2CO_3) zu gewinnen, ein Verfahren, das noch heute üblich ist.³²⁴

Verfügbarkeit

Mit diesem Verfahren stand Soda auch den Glashütten günstig zur Verfügung. Die synthetisch hergestellte Soda verdrängte zunehmend alle traditionellen Flussmittel, sowohl die auf Natrium basierenden Halophytenaschen als auch die kaliumreiche Pottasche.³²⁵ Heute ist synthetisch hergestelltes Natriumcarbonat (Na_2CO_3) das meistverwendete Flussmittel in der Glasindustrie.

Das erste Werk zur Soda-Herstellung wurde 1863 im belgischen Charleroi in der Nähe von Brüssel gegründet. In Deutschland entstand 1880 eine Fabrik in Wyhlen, Baden-Württemberg – und 1883 eine in Bernburg a. d. Saale, Sachsen-Anhalt,³²⁶ wo noch heute Soda produziert wird.

3.2.2 Kaliumbasierte Flussmittel

Zur Gruppe kaliumhaltiger Flussmittel zählen neben Holzasche auch Pottasche und Weinstein. Oft werden die Begriffe Holzasche und Pottasche in der Glasliteratur missverständlich als Synonyme verwendet.³²⁷ Dabei wird übersehen, dass Pottasche aus einem Verfeinerungsprozess der Asche entsteht, der mit einer veränderten Zusammensetzung der Wirkstoffe und einer erheblichen Volumenreduktion einhergeht. Im 17. Jahrhundert taucht in Franken als neuer Berufszweig der Aschenbrenner auf, der mit einer erhöhten Pottaschenproduktion in Verbindung gebracht wird.³²⁸ Bei der Verwendung von Kalium als Flussmittel sprechen die Glasmacher von „*kurzem*“ Glas, da der Verarbeitungsbereich nur zwischen 750 und 1050 °C ist.³²⁹

315 LENG 1854, 126.

316 FALBE / REGITZ 1998a, 2823 f.

317 LENG 1854, 127–130.

318 Ebd., 128–130.

319 FALBE / REGITZ 1998a, 2823.

320 WIKIPEDIA 2022a.

321 MAUS 1999, 372.

322 LOIBL 1995c, 56.

323 DUNGWORTH 2012, 15.

324 WIKIPEDIA 2021b; FALBE / REGITZ 1998a, 2824.

325 FLEISCHMANN 2008, 21; SCHAEFFER / LANGFELD 2014, 132.

326 FALBE / REGITZ 1998a, 2824.

327 Siehe dazu LOIBL 1996b, 17 und MAUS 1999, 369. Ein Beispiel für den missverständlichen Gebrauch findet sich bei RIEPEN 1929, 17.

328 Siehe LOIBL 1996b, 17 zur Rolle der Aschenbrenner.

329 MAUS 1999, 392.

3.2.2.1 Holzasche

Unter dem Begriff Holzasche werden die kaliumreichen Aschen von Bäumen und holzigen Sträuchern zusammengefasst.³³⁰ Die Einführung von Holzasche als Flussmittel, einem heimisch verfügbaren Produkt, verhalf den Glashütten im 9. Jahrhundert zur Unabhängigkeit vom Fernhandel. Wedepohl spricht sogar von einer Innovation.³³¹

Zusammensetzung

Holzasche ist ein pulvriger bis fester, fast weißer Rückstand aus der Verbrennung von Gehölzen und Bäumen. Restliche Holzkohlestückchen können die Asche jedoch grau verfärben.³³² Die organischen Bestandteile verbrennen, während die anorganischen Komponenten übrigbleiben. Die Holzasche ist wegen ihres natürlichen Ursprungs kein homogenes Produkt, enthält aber reichlich Kaliumcarbonat. Weitere Bestandteile sind Natrium-, Magnesium- und Phosphorverbindungen,³³³ die mengenmäßig zwar eine untergeordnete Rolle spielen, dennoch die Eigenschaften des Glases beeinflussen. In manchen Fällen wird ein hoher Gehalt an Calcium- und Magnesiumverbindungen nachgewiesen, der es erlaubt, auf den Zusatz von Kalk oder dolomitführendem Kalk zu verzichten.³³⁴ So enthält die Asche von Buchenstämmen beispielsweise über 56 % Calciumoxid und knapp 11 % Magnesiumoxid.³³⁵

Der Gehalt an Kaliumcarbonat in der Asche ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, darunter Holzart, Zustand des Holzes, verwendete Pflanzenteile sowie Standortbedingungen und Bodenbeschaffenheit. Selbst die Zusammensetzung der Asche aus einer einzelnen Holzart kann erhebliche Schwankungen aufweisen.³³⁶ Eine zeitliche und geographische Zuordnung durch chemische Analysen wird dadurch erschwert.

Welche Holzasche sich am besten für die Herstellung von Glas eignet, wird in den überlieferten schriftlichen Quellen unterschiedlich bewertet. Für Theophilus ist es die Asche aus Buchen.³³⁷ Diese war in den damals buchenreichen deutschen Mittelgebirgen leicht zu gewinnen und wird durch die Analyseergebnisse von Grabungen im Solling bestätigt.³³⁸ Agricola empfiehlt die „Asche von Eichen, Steineichen, Zerreichen oder, wenn solche nicht zur Verfügung steht, von Buche oder Fichte“³³⁹. Eine genaue Mengenangabe fehlt. Wie schon Theophilus gibt auch er nur ein Verhältnis an: ein Teil Sand zu zwei Teilen Asche, ohne Angabe, ob es sich dabei um Gewicht oder Volumen handelt. Um genügend alkalischen Wirkstoff für die Herstellung von Glas zu erhalten, wurde volumenmäßig allerdings

eine große Menge Asche benötigt. Ein Kilogramm Asche entspricht ungefähr dem Volumen von sechs Litern.³⁴⁰ Es wird angenommen, dass die Glashütten den hohen Bedarf an Asche nicht allein aus den eigenen Ascherückständen decken konnten, die beim Befeuern der Öfen mit Holz anfielen,³⁴¹ und daher auf zusätzlich gewonnene Asche zurückgreifen mussten. Laut Wedepohl wurden dafür neben dem Holz für die Befeuerung der Öfen jährlich weitere 2.000-4.000 Tonnen Holz benötigt.³⁴²

Eine besondere Form der Aschengewinnung, die in den Wäldern in der Nähe der Glashütten stattfinden konnte, beschreibt Agricola. Der Stamm alter Bäume werde in einer Höhe von etwa sechs Fuß ausgehöhlt, um darin ein Feuer zu entfachen und den Baum vollständig zu verbrennen. Als beste Jahreszeit eigne sich der Winter, „wenn lange Zeit Schnee liegt“ und auch der Sommer, „wenn es nicht regnet“.³⁴³ So lasse sich eine Verunreinigung mit Erde vermeiden, die bei Regenfällen drohe. Alternativ schlägt Agricola die Verbrennung kleingeschnittener Bäume „unter Dach“ vor.³⁴⁴

Die am besten geeigneten Bäume waren nicht nur alt, sondern auch morsch und innen meist hohl.³⁴⁵ Die Anwendung dieser Methode ist noch im 16. Jahrhundert im Bayerischen Wald nachgewiesen, wo solche Bäume als „Glutbäume“ oder „Aschenbäume“ bezeichnet wurden.³⁴⁶ Oft wurde das Holz auch in Gruben verbrannt, damit die Asche bei Wind nicht weggeweht wurde. Sie waren mit Steinen ausgelegt, um die

330 MÜLLER 2006, 97 nennt noch Farne.

331 WEDEPOHL 2003a, 95.

332 KURZMANN 2004, 38.

333 Tabelle bei WEDEPOHL 2003b, 184 sowie bei LOIBL 1996a, 28. Einige Analyseergebnisse von Bezborodov werden bei KURZMANN 2004, 37 zusammengefasst. Siehe auch MÜLLER 2006, 98.

334 KURZMANN 2004, 37.

335 Ebd. Tabelle 2.

336 WEDEPOHL 2003a, 95, ebenso bei MÜLLER 2006, 98.

337 Theophilus in BREPOHL 2013, 147 f.; KURZMANN 2004, 178; LOIBL 1996a, 27; WEDEPOHL 2003b, 3.

338 STEPHAN 2019, 135. Analysen weisen konkret auf Rotbuchen hin.

339 AGRICOLA 1556, 501. Die Wahl der Eichenasche ist aus heutiger Sicht überraschend, da sie einen wesentlich geringeren Kaliumanteil enthält als Buchenasche. Siehe dazu Analysen bei WEDEPOHL 2003b, 184. Außerdem war Eichenholz ein begehrtes Bauholz.

340 SIEBE 2019, 186.

341 Ebd. 2019, 186.

342 WEDEPOHL 1998, 56, vgl. auch MÜLLER 2006, 98.

343 AGRICOLA 1556, 501.

344 Ebd., 501 f.; MATHESIUS 1562, 276.

345 Vgl. AGRICOLA 1556, 501. Vgl. ZEDLER 1731-1754, 687.

346 LOIBL 1996b, 34.

Verschmutzung mit Erde zu verringern.³⁴⁷ Außerdem gab es die einfache Methode des Zusammenlegens von Holz zu einem hohen Haufen.³⁴⁸ Das bot sich auf feuchtem Boden an oder nach einem Regen, um die Ausbreitung des Brandes zu verhindern.

Wie damals die lose Asche ins Glasgemenge eingebracht wurde, ist nicht belegt. Agricola erwähnt es nicht.³⁴⁹ Vermutlich wurde die Asche vor dem Einsatz gesiebt, um sie von Kohlerückständen und nicht verbrannten Pflanzenteilen zu trennen.³⁵⁰ Das Auslaugen zu Pottasche hingegen war eine aufwendige Variante, die nicht zwingend erfolgte.

Verfügbarkeit

Seit dem 8. Jahrhundert wurden verschiedene Holzaschen in Deutschland anhand von materialanalytischen Untersuchungen an Glasfunden nachgewiesen.³⁵¹ Gerade Waldglashütten werden in Verbindung mit der Verwendung von Holzasche gebracht, wie zahlreiche Analysen bestätigen.³⁵² Untersucht wurden jedoch in erster Linie Gefäße oder Buntglas aus dem sakralen Bereich. Farbloses Glas stand nicht im Fokus der Analysen. Holzasche gilt bis ins 17. Jahrhunderts als traditionelles Flussmittel für die Herstellung von Flachglas, bis eine Aufbereitung zu Pottasche generell üblich wurde.³⁵³ Für eher minderwertiges Glas, wenn Farblosigkeit unwichtig war, behielt Holzasche sogar bis ins 19. Jahrhundert hinein Bedeutung als billiges und leicht verfügbares Flussmittel.³⁵⁴

3.2.2.2 Pottasche

Zusammensetzung

Nach heutigem Verständnis ist Pottasche³⁵⁵ reines Kaliumcarbonat (K_2CO_3), das industriell hergestellt wird. Historisch betrachtet wird unter Pottasche hingegen meist eine gereinigte Holzasche verstanden.

Je nach Grad der Aufbereitung wird zwischen einer kristallisierten Pottasche, einer ausgelaugten Rohasche und kalzinierter Pottasche, einem durch Extraktion und Eindampfen der Lauge entstandenen Salz, unterschieden.³⁵⁶ Das angewendete Verfahren entspricht im Prinzip einem typischen Extraktionsprozess mit Auslaugen, Einsieden und Kalzinieren. Beim Auslaugen werden färbende Eisen- und Manganverbindungen abgetrennt, da sie wasserunlöslich sind und sich am Boden absetzen.³⁵⁷ Auch das Calciumcarbonat wird durch den Extraktionsprozess entfernt.³⁵⁸ Das Volumen der Asche verringert sich dabei um die Hälfte, während

sich der Gehalt an alkalischen Salzen verdoppelt.³⁵⁹ Erst entsteht die sogenannte Rohpottasche, bzw. „ein kristallwasserhaltiges, durch Kohlenstofflitter mehr oder minder grau gefärbtes Produkt.“³⁶⁰ Wird Rohpottasche in einem weiteren Prozess gegläht, entsteht kalzinierte Pottasche, eine „wasserfreie, farblose, mikrokristalline Masse“³⁶¹. Der chemische Wirkstoff ist wie bei der Rohpottasche Kaliumcarbonat (K_2CO_3), jedoch zeichnet sich kalzinierte Pottasche durch eine noch höhere Konzentration aus, da weniger Wasser enthalten ist.³⁶² Krünitz beschreibt Pottasche als ein „gemeiniglich bläuliches, calcinirtes alkalisches Salz“.³⁶³

Durch die Herstellung von kalzinierter Pottasche konnte die Farblosigkeit des Glases erheblich verbessert werden. Ein Nachteil bestand jedoch darin, dass Calciumcarbonat, ein wichtiger Netzwerkstabilisator, nun im Flussmittel fehlte. Es musste daher in anderer Form, z. B. als Kalkkreide, hinzugefügt werden. Auffällig ist, dass um 1680, der Zeit des vermehrten Einsatzes von Pottasche, das sogenannte böhmische Kreideglas entstand,³⁶⁴ eine Glassorte, die sich auf die Herstellung von hochwertigem Hohlglas bezog und sich durch seine Farblosigkeit auszeichnete. In Breitenborn wird durch den Einsatz von Pottasche 1688 die neue Gläserart „weiße Heilbronner“ eingeführt.³⁶⁵ Die dort verwendete Glaszusammensetzung diente auch zur Herstellung hochwertiger runder Fensterscheiben.³⁶⁶

Chemische Analysen von Glasfunden können bedingt Aufschluss darüber geben, ob Asche oder Pottasche verwendet wurde. Hierzu bestimmt man das Verhältnis von Kalium zu Phosphor und das von Calcium

347 LOIBL 1996b, 34.

348 Ebd.

349 Siehe hierzu BEZBORODOV 1975, 54.

350 Vgl. LOIBL 1996a, 38.

351 WEDEPOHL 2003b, 17.

352 Ebd. Tabelle 8A im Anhang ab S. 185.

353 LOIBL 1996b, 14–15, 23; MAUS 1999, 332. Vgl. auch MÜLLER 2006, 99.

354 TABOR 1818, 205; LOIBL 1996a, 23; LENG 1854, 117.

355 Eine erste Übersicht gibt KURZMANN 2004, 38; vgl. auch LOIBL 1996c; KEPPELER 1911, 163–167.

356 Ebd., 163.

357 KURZMANN 2004, 38. Laut MÜLLER 2006, 99 werden Fe-, Al-, P-, Ca- und Mg-Verbindungen abgetrennt.

358 Ebd.

359 LOIBL 1996a, 38.

360 KURZMANN 2004, 38.

361 Ebd.

362 Ebd.

363 KRÜNITZ 1810.

364 KOBLE 2003, 583.

365 LOIBL 1996c, 91 f.

366 Siehe Kapitel Tellerscheibenherstellung.

zu Kalium. Auch das Fehlen von Eisen, Mangan und Magnesium, die während der Rohstoffaufbereitung entfernt werden, kann ein Indikator für die Verwendung von Pottasche sein.³⁶⁷

Die Herkunft des Namens *Pottasche* wird mit der Art der Transportverpackung in Fässern und der Herstellungsweise durch Einkochen in Töpfen bzw. Pöten erklärt.³⁶⁸ Einer weiteren Erklärung nach soll sich die Bezeichnung *Pottasche* ursprünglich auf den Verbrennungsrückstand der Holzfässer selbst bezogen haben, in denen zuvor Waidasche aus Osteuropa transportiert worden war.³⁶⁹ Im 17. Jahrhundert wird der Begriff Pottasche allgemein auf extrahierte Substanzen übertragen, die in Pöten hergestellt wurden,³⁷⁰ obwohl das Produkt eher einem Salz als einer losen Asche glich.

Im Prinzip konnte jegliche Asche aus der Verbrennung von organischem Material zur Gewinnung von Pottasche verwendet werden.³⁷¹ Schon Biringuccio weist darauf hin, dass sich auch ein Farnkraut zur Herstellung eines Flussmittels eigne.³⁷² Neri wiederholt diese Erkenntnis. Die Überschrift seines fünften Kapitels lautet: „*Eine Art / das Saltz aus dem Fahren=Kraut zu extrahiren / von welchen gleichfalls / der Crystall ziemlich schön wird.*“³⁷³ Noch bei Krünitz ist nachzulesen, dass *Fahrenkraut* ein schwer auszurottendes Kraut sei, dessen Asche aber in den Glashütten Verwendung finde.³⁷⁴ Wie wir heute wissen, ist diese Pflanze besonders kaliumreich. Ihre Asche wurde vor allem in waldarmen Regionen verwendet.³⁷⁵

Je nach lokaler Verfügbarkeit konnte als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Rohpottasche die Asche aus Bäumen, aus anderen Pflanzen, aus Wurzelstöcken³⁷⁶ sowie Hausasche verwendet werden. In Weinanbauregionen kam vereinzelt hochwertige Weinhefeasche, sogenannte Drusenäsche³⁷⁷, zum Einsatz. Kunckel gibt Anweisungen zur Herstellung der „*besten Salze*“³⁷⁸, die unabhängig vom Ort und überall in Deutschland möglich sei. Es taue die Asche „*von Eichen / Büchen / Erlen / Bürken / Fichten / oder Küfern*“³⁷⁹, aber auch von Sträuchern und Kräutern oder Pflanzen, die auf den Feldern wachsen und sich zum Brennen eignen. Ferner könne man die Asche von „*Bürgern oder von Bauren / wie sie selbige in ihren Kachel-Oefen / Feuerheerden / oder unter der Braupfannen brennen*“³⁸⁰, verwenden. Mit diesem Flussmittel sei die Herstellung von „*feinstem Gutt*“ möglich.³⁸¹ Die Extraktion aus heimischer Pflanzenasche bot laut Kunckel ein alternatives Flussmittel zu den „*weithergebrachten Materialien / als Soda Hispanica, Pulvisculo, Syriscche oder Levantische Asche*“³⁸².

Pottasche hat gegenüber Soda den Nachteil, dass es an der Luft schnell Feuchtigkeit aufnimmt und zerrinnt. „*Wenn man aber Mineralalkali [Soda, Anm. d.*

Verf.] an die Luft legt, zerfließet es nicht, es zerfällt nur zu einem trockenen Pulver.“³⁸³ Aus diesem Umstand leitet Tabor sogar ab, dass sich ein Pottaschenglas weniger als Fensterglas eigne und bereits nach 15-20 Jahren erblinden könne.³⁸⁴

Ein erheblicher Nachteil der Pottaschenherstellung war der hohe Energieverbrauch, der in Deutschland üblicherweise durch Holz gedeckt wurde. Ende des 18. Jahrhunderts trug dies zu Holzknappheit und einer starken Verteuerung der Pottasche bei.³⁸⁵

Verfügbarkeit

Unklar ist, ab wann in Deutschland mit der Aufbereitung von Holzäsche für die Herstellung von Glas begonnen wurde. In deutschsprachigen Gegenden war Pottasche nicht notwendigerweise Bestandteil des Glasgemenges.³⁸⁶ Selbst in Russland, das gerne als Beispiel für die Herstellung von Pottasche im 11. Jahrhundert genannt wird, ist der gleichzeitige Einsatz von einfacher Holzäsche belegt.³⁸⁷

Lose Holzäsche wurde im 13. Jahrhundert von der Ostsee in die Niederlande gebracht, wo die Abnehmer hauptsächlich Färber und Bleicher waren.³⁸⁸ Der seit dem 14. Jahrhundert bekannte Handel mit Pottasche aus Osteuropa scheint ebenfalls vor allem

367 MAUS 1999, 370.

368 MÜLLER 2006, 99; LIPPMANN 1913, der detailliert auf die etymologische Herkunft des Begriffs eingeht. Siehe auch LOIBL 1996b, 17.

369 Ders. 1996b, 17. Vgl. LIPPMANN 1913, 328, 353, der es für unwahrscheinlich hält, dass bedeutende Mengen Pottasche aus leeren Waidaschenfässern gewonnen wurden.

370 LOIBL 1996b, 17.

371 Ebd.

372 BIRINGUCCIO 1540, 151.

373 Neri in KUNCKEL 1679, 17.

374 Laut KRÜNITZ 1777, 21786, Bd.12, 200-212.

375 WEDEPOHL 2003a, 92.

376 TABOR 1818, 25, LENG 1854, 107.

377 Ebd., 116.

378 KUNCKEL 1679, 347.

379 Ebd.

380 Ebd.

381 Ebd.

382 Ebd.

383 TABOR 1802, 222.

384 Ebd.

385 TABOR 1818, 34; LOIBL 1996c, 135.

386 SIEBE 2019, 188 vermutet eine Aufreinigung der Holzäsche zur Qualitätsverbesserung.

387 BEZBORODOV 1975, 54 siehe Tabellen im Anhang.

388 LIPPMANN 1913, 332, 352, 353.

für die Niederlande bestimmt gewesen zu sein. Im 14. Jahrhundert hatte sich in Danzig ein eigener Industriezweig etabliert, der auf eine „Rohstoffumarbeitung“³⁸⁹ spezialisiert war, darunter auch Asche.³⁹⁰ Wie bedeutend der Handel mit diesen Produkten für die heimische Fensterglasherstellung war, ist bislang nicht beleuchtet worden.

Selbst ein Nachweis für die Verwendung von Pottasche zur Herstellung von Weißglas, wie in Altmünden an der Weser Ende des 16. Jahrhunderts belegt,³⁹¹ besagt nicht unbedingt, dass dieses Flussmittel für Fensterglas eingesetzt wurde.

In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhundert wurden verbesserte Methoden zur Herstellung von Pottasche eingeführt.³⁹² Johann Rudolph Glauber wird die Rolle zugewiesen, in den 1650er Jahren das für Soda bereits übliche Extraktionsverfahren für die Herstellung von Pottasche weiterentwickelt zu haben.³⁹³ Während seines langen Aufenthaltes in Amsterdam hatte er dazu neue Kenntnisse erworben. Als Kunckel 1679 die Wirksamkeit von Pottasche in seinem Werk besonders herausstellte, lag er daher ganz im Zeitgeist. Zudem sahen einige deutsche Landesfürsten in der Pottaschenherstellung eine neue Einkommensquelle, da sie das Produkt als Dünger in der Landwirtschaft einsetzen konnten.

Untermauert wird die These eines regelrechten Pottasche-Schubs im 17. Jahrhundert dadurch, dass sich in den Jahren nach 1675 vermehrt Gründungen von Pottaschenhütten verzeichnen lassen.³⁹⁴ Zunächst entwickelten sich eigenständige Unternehmen, die später auch von den Glashütten selbst betrieben wurden, um die Qualität den eigenen Anforderungen anzupassen und sie zu kontrollieren. Ein Beispiel ist die oben erwähnte Glashütte in Breitenborn im Büdinger Wald.³⁹⁵ Eine weitere Pottaschenhütte, die in Verbindung mit einer lokalen Glashütte stand und Fensterglas produzierte, ist ab 1727 in der Nähe von (Fabrik-)Schleichach nachgewiesen.³⁹⁶ Den Aufzeichnungen von Tabor nach gehörte ein „Potaschsiedhaus“³⁹⁷ zu den „Gebäudlichkeiten“³⁹⁸ einer typischen Mondglashütte. Tabor bevorzugte zwar Soda, gibt aber an, dass „auch aus Potasche allein ein Mondglas gemacht werden [kann], das in Farbe dem Sodaglas ganz ähnlich ist.“³⁹⁹ Es sei jedoch weniger beständig.⁴⁰⁰ Sogar für die Herstellung von hochwertigem Spiegelglas ist verbrieft, dass Tafelglashütten, die nach dem Zylinderblasverfahren fertigten, eine eigene „Potaschsiederey und Rafinir-Anstalt“⁴⁰¹ besaßen.

Neben der Eigenproduktion bot der Markt eine Reihe unterschiedlicher Pottaschesorten an, deren Qualität aufgrund der schwankenden Konzentration an Kalium mit Vorbehalten betrachtet wurde.⁴⁰² Für

die industrielle Herstellung von Pottasche standen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die in Dralles *Glasfabrikation*⁴⁰³ kurz umrissen werden. Mit der Einführung industriell hergestellter Soda hatte Pottasche jedoch für die Herstellung von Fensterglas an Bedeutung verloren. Außerdem konnte Pottasche durch eine geringere Menge an Soda ersetzt werden.⁴⁰⁴ Selbst bei der Herstellung von Ersatzglas im historisierenden Stil spielt Pottasche heute keine Rolle mehr.⁴⁰⁵

3.2.2.3 Weinstein

Zusammensetzung

Weinstein ($\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) besteht im Wesentlichen aus Kaliumhydrogentartrat ($\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$) und Calciumtartrat ($\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$).⁴⁰⁶ Es sammelt sich in harten Krusten in Fässern an, in denen Rot- oder Weißwein gelagert wurde. Durch Auslösen in Wasser, Filtrieren und Erhitzen kann aus Weinstein ein sehr reines Kaliumcarbonat (K_2CO_3) gewonnen werden, dessen Nutzbarkeit für die Glasherstellung bereits von Johann Rudolph Glauber im 17. Jahrhundert entdeckt wurde und dessen Wirksamkeit Tabor höher einstufte als die von Pottasche.⁴⁰⁷

Glauber beschrieb den Nutzen von Weinstein in einer 1654 in Kitzingen verfassten Schrift, die er dem Kurfürsten Johann Philipp von Schönborn widmete.⁴⁰⁸

389 LIPPMANN 1913, 332, 352, 353.

390 Ebd., 332, 335.

391 ALMELING 2006, 32–36.

392 LOIBL 1996b, 17, 79. KRIMM 1982, 152 setzt die Pottascheneinführung erst um Ende des 17. Jahrhunderts an.

393 LOIBL 1996c, 83 f. Loibl erwähnt, dass auch Johann Joachim Becher (1635-1682) Kenntnis von einer Pottaschenherstellung hatte und diese wahrscheinlich in Mainz entwickelt worden war.

394 LOIBL 1996b, 86.

395 Ebd., 91–93.

396 Loibl 2006, 681.

397 TABOR 1818, 114.

398 Ebd.

399 Ebd., 126.

400 Ebd.

401 Ebd., 158.

402 LENG 1854, 115 führt eine Liste mit unterschiedlichen Pottaschesorten und ihren Wirkstoffen auf. Gegenüber ausländischer Pottasche äußerte Tabor Vorbehalte TABOR 1818, 25.

403 Keppeler in DRALLE 1911.

404 KEPPELER 1911, 163.

405 Vgl. STACHERL 2010, 23, wo Pottasche noch zum Einsatz kommt.

406 WIKIPEDIA 2022b.

407 LOIBL 2007.

408 GLAUBER 1654.

Glauber war jedoch nicht der erste, der die Vorteile dieser Substanz erkannt hatte, denn schon 1562, also mehr als 100 Jahre früher, hatte Johann Mathesius Kenntnis davon, dass Weinstein „*zugeschlagen*“ wird.⁴⁰⁹ Auch in den Beobachtungen von Neri, die allerdings zur Zeit von Glaubers Veröffentlichung noch nicht übersetzt waren, wird zur Verwendung von „*rothem und bis zur Schwärze gebrandtem Weinstein*“⁴¹⁰ geraten. Es diene nicht nur einer besseren Glasqualität, sondern erhöhe beim Eindampfen des Flussmittels die Ausbeute an Salz, wie er anhand eines Beispiels anschaulich vorrechnet. Er fügt hinzu, dass die „*Manier*“⁴¹¹, den Weinstein zuzusetzen, geheim sei. Im elften Kapitel beschäftigt er sich intensiv mit der Art und Weise, Weinstein-Salz zu reinigen.⁴¹²

Weinstein brachte nicht nur beim Extraktionsverfahren der Flussmittel Vorteile, sondern wurde im 18. Jahrhundert auch als Flussmittel zur Herstellung der Fritte eingesetzt. Weinstein wurde bei „*feinsten Glasarten und als Verbesserungsmittel und Zusatz gebraucht, wenn man Material von schlechter Beschaffenheit hat.*“⁴¹³ Die Konzentration des Wirkstoffs wurde erkannt und geschätzt, wobei der aus Rotweinfässern hergestellte Weinstein sich eher für farbiges Glas eignete.⁴¹⁴

Verfügbarkeit

Lediglich seine geringe Verfügbarkeit und sein hoher Preis scheinen dem Gebrauch von Weinstein entgegenstanden zu haben. In Weinanbaugebieten jedoch war Weinstein leichter erhältlich und half den Glashütten, kalzinierte Pottasche zumindest teilweise zu ersetzen, wie es 1735 in (Fabrik-)Scheichach zur Herstellung von Mondscheiben dokumentiert ist.⁴¹⁵

3.2.3 Flussmittel mit gemischten Wirkstoffen und Flussmittelzusätze

Chemische Analysen zeigen, dass in manchen Glassorten beide alkalischen Wirkstoffe, Natrium- und Kaliumoxid, in etwa gleicher Menge enthalten sind. Kurzmann bezeichnet diese Gläser als „*Natrium-Kalium-Kalzium-Gläser*“⁴¹⁶, bei Schalm werden sie als „*mixed alkali glass*“ aufgeführt.⁴¹⁷ Wie bereits oben angemerkt, kann eine Mischung der alkalischen Wirkstoffe den eutektischen Schmelzpunkt auf etwa 700 °C senken.⁴¹⁸ Inwieweit diese Erkenntnis in den Glashütten bekannt war, ist schriftlich nicht belegt. Die Glashütten könnten allerdings die Erfahrung gemacht haben, dass die Kombination verschiedener Flussmittel das Schmelzen erleichtert.⁴¹⁹ In einigen Hütten war die Beimengung

von Kochsalz üblich, mit der sie den Wirkungsgrad von Holzasche erhöhten. Eine weitere Variante ist der Einsatz einer Asche, die aus kalium- und natriumreichen Pflanzen hergestellt wurde, wie das *Sal alkali*.

3.2.3.1 Kochsalz

Kochsalz (NaCl) war in unterschiedlichen Formen verfügbar, einmal als reines Salz und zum anderen in Meerwasser oder als Steinsalz⁴²⁰. Darüber hinaus war Natriumchlorid Bestandteil der Salzasche, die bei der Herstellung von Kochsalz in Salinen anfiel.

Es wird angenommen, dass die Glashütten am Dübelsnacken im Kreis Paderborn bereits im 12. Jahrhundert ein Defizit an Kalium mit dem Zusetzen von 5-8 % Kochsalz kompensiert haben,⁴²¹ das sie aus den nahegelegenen Salinen bei Salzkotten bezogen haben könnten. Eine planmäßige Zugabe von Kochsalz wurde in den von Sören Siebe untersuchten Gläsern festgestellt, bei denen es sich allerdings nicht vorwiegend um klares Fensterglas handelt. Unklar bleibt auch, ob die Zugabe in reiner Form oder durch Salzasche erfolgte.⁴²²

Bereits Agricola empfiehlt bei der Glaszubereitung mit Holzasche den Zusatz von etwas Salz aus „*Sole oder Meerwasser*“.⁴²³ Er war der Meinung, dass der Zusatz von Kochsalz die Wirkung von Holzasche verbessern könne, wenn anstelle von Buchenstämmen wertlosere Zweige verbrannt würden.⁴²⁴ Agricolas Freund Mathesius erwähnt neben Kochsalz auch das Steinsalz: „*Man setzt auch oners saltz dem sande onnd asche zu / doch sol Polnisch steinsalz nützlicher sein.*“⁴²⁵ Heute wird die Zweckmäßigkeit von Kochsalz- oder Steinsalzzusätzen wegen des erheblichen Chloridgehaltes als problematisch angesehen.⁴²⁶

409 MATHESIUS 1562, 276.

410 Neri in KUNCKEL 1679, 11.

411 Neri in ebd.

412 Neri in ebd., 24.

413 TABOR 1818, 31.

414 Ebd., 31, 214.

415 LOIBL 2006b, 707.

416 KURZMANN 2004, 181.

417 SCHALM et al. 2003, 353.

418 KURZMANN 2004, 181.

419 Ebd., 181.

420 Auch Halitit genannt.

421 BERGMANN et al. 2008, 89.

422 SIEBE 2019, 185.

423 AGRICOLA 1556, 501.

424 Ebd.

425 MATHESIUS 1562, 276.

426 KURZMANN 2004, 34 f.

Auch in einigen hessischen Gegenden, wie im Odenwald, aber auch in Niedersachsen und im Spessart ist belegt, dass Glashütten die Asche aus Salinen nutzten. Das Salz reicherte sich in der Asche an, wenn die Sudpfannen überkochten. Das Abfallprodukt aus den Salzsiedereien brachte „aufgrund des hohen Natriumanteils mehr Quarzsand zum Schmelzen [...], als jede andere Aschensorte.“⁴²⁷ In einer schriftlichen Quelle aus dem Jahr 1651 beklagen sich Glasmacher aus dem Spessart über die sinkende Qualität der „aschen von den salzsödern zu Orb“, die nun „allein zu breiten fensterglas tauglich“⁴²⁸ sei. Dieser Hinweis belegt indirekt, dass für die Herstellung von Fensterscheiben ein weniger qualitatives Flussmittel ausreichen würde.

Zwar ist nicht definiert, was unter *breitem Fensterglas* zu verstehen ist, naheliegend ist aber ein rechteckiges Format und somit ein Glas, das nach dem Zylinderblasverfahren hergestellt wurde. Loibl geht sogar davon aus, dass die Verwendung von Asche aus Salinen gerade bei der Tafelglasproduktion allgemein üblich gewesen sei.⁴²⁹ Dies bestätigt sich in der schwäbischen Hüttenordnung von 1661, in der Salzasche für die Herstellung von Glastafeln gefordert wurde. Auch die Glashütte Schönau im südlichen Odenwald nutzte wahrscheinlich die Salzreste aus der seit 1595 in Betrieb genommenen Saline in Dürkheim. Sie wurde mit einem eigenen Flussmittel vermischt und als „*fenster Glas asche*“ bezeichnet.⁴³⁰

3.2.3.2 Sal alkali

Für Italien, im 16. Jahrhundert nördlich der Alpen Vorbild für die Herstellung von klaren Glasprodukten, ist die Herstellung eines Flussmittels schriftlich dokumentiert, das aus der Verbrennung natriumhaltiger Salzpflanzen und kaliumreichem Holz gewonnen wurde, somit eines Flussmittels aus einer Kombination der beiden alkalischen Wirkstoffe. Überliefert wird dieses Verfahren durch den schwedischen Mönch Peder Månsson,⁴³¹ der sich zwischen 1506 und 1524 in Italien aufgehalten hatte. Er beschreibt, wie dem Feuer in einem längeren Verbrennungsvorgang abwechselnd Salzpflanzen und Holz zugefügt wurden. Das daraus entstandene Ascheprodukt soll dem Aussehen nach „*einem grauen Stein*“ geglichen haben und wurde laut Månsson im Italienischen als *sal alkali* bezeichnet. Es war ganz im ursprünglichen Sinn ein *alkalisches Salz*, also ein Salz mit verschiedenen alkalischen Wirkstoffen. Månsson erwähnt außerdem die weitere Aufbereitung durch ein Extraktionsverfahren, das in Zusammenhang mit Flussmitteln zunehmend an Bedeutung gewinnen sollte. Die Anwendung brachte

ein besonders reines „*Salz*“ hervor, das auch medizinischen Zwecken diente.⁴³²

Eine ähnliche Zusammensetzung an pflanzlichen Rohstoffen und eine vergleichbare Methode des Extrahierens zur Gewinnung eines für die Glasindustrie wirksamen Flussmittels findet sich im Werk des Italieners Vanoccio Biringuccio⁴³³, das wenige Jahrzehnte nach Månssons Aufzeichnung publiziert wurde. Biringuccio spricht von einem „*sal vetro ouero sal alkali*“, einem Glas- oder Alkalisalz.⁴³⁴ Welche Pflanzen der Asche zugrunde lagen, hielt Biringuccio dabei für „*belanglos*“.⁴³⁵ Es musste seiner Meinung nach nicht zwangsläufig die Asche aus der „*Kalipflanze*“⁴³⁶ sein, „*die aus Syrien kommt und sich auch in Frankreich in der Rhonegegend findet*“, sondern sie könne auch „*aus Farn und [...] aus Flechte*“⁴³⁷ gewonnen werden. Durch die Pflanzenauswahl und ihre Verarbeitung entsprach Biringuccios Alkalisalz in etwa der Herstellung von Pottasche, wie sie im 17. Jahrhundert nördlich der Alpen verbreitet war.

3.3 Kalk

Zusammensetzung

Kalk ist ein unentbehrlicher Bestandteil des Glasgemenges im Fensterglas. Dies spiegelt sich in der heutigen Bezeichnung *Kalk-Natronsilicatglas* nach der DIN-Norm EN 572 wider. Früher zählte Kalk bzw. Calciumcarbonat (CaCO_3 , auch kohlensaurer Kalk) zu den Flussmitteln,⁴³⁸ heute jedoch wird er als *Netzwerkstabilisator* eingestuft, der die chemische Beständigkeit

427 LOIBL 1996a, 61; ders. 2013, 332.

428 Zitiert nach KRIMM 1982, 77.

429 LOIBL 2013, 332.

430 Ebd.

431 Siehe KURZMANN 2004, 38 f.; CHARLESTON 1978, 37 sowie JOHANNSEN 1932.

432 KURZMANN 2004, 34, 39.

433 BIRINGUCCIO 1540.

434 Ebd., 151.

435 Ebd.

436 Die Bezeichnung „Kalipflanze“ kann irrtümlich als kaliumreiche Pflanze verstanden werden, dabei handelt es sich um eine alkalische Pflanze, die reich an Natrium ist. Siehe KURZMANN 2004, 39, 181. Kalipflanzen werden in einem der ältesten persischen Arzneibücher erwähnt. Die Methode, Pflanzen zu verbrennen und zu extrahieren, wurde um das Jahr 1000 angewendet, siehe LIPPMANN 1913, 329 f.

437 BIRINGUCCIO 1540, 151. Farnkrautasche wird laut STROBL 1990, 142, Fussnote 259, in Frankreich 1302 nachgewiesen und laut WEDEPOHL 2003a, 95. Farnaschen waren kaliumreicher, siehe dazu MÜLLER 2006, 98.

438 TABOR 1818, 53 zählt Kalk zu den „erdigen Flüssen“.

des Glases gegen Wasser und Säuren verbessert und die Zug- und Biegefestigkeit erhöht.⁴³⁹ Aus Sicht der Archäologen haben sich Holzaschegläser mit erhöhtem Kalkanteil besser erhalten können.⁴⁴⁰

In der Natur liefern Kreide, Kalkstein, Dolomit, Marmor und auch Muschelschalen Modifikationen von Calcium.⁴⁴¹ Da Calciumcarbonat bis zu 30 % in Sanden⁴⁴² enthalten sein kann und sich in erheblichen Mengen auch in unverarbeiteter Holzasche oder Farnasche befindet⁴⁴³, ist für die Herstellung von Glas nicht notwendigerweise ein gesonderter Kalkzusatz erforderlich. Die Asche von Eichen und Buchen enthält besonders viel Calcium.⁴⁴⁴ Auch in Halophytenasche ist, wie bereits oben angemerkt, Kalk enthalten.⁴⁴⁵ Kurzmann erwähnt als gelegentliche Calciumquelle die als Pfannenstein bekannten Rückstände, die sich beim Salzsieden in den Salzpfannen ansammeln, aber mit Natriumchlorid verunreinigt sind.⁴⁴⁶ All diese versteckten Calciumquellen können erklären, warum Kalk in einigen historischen Rezepten wie bei Biringuccio und Agricola nicht genannt wird.⁴⁴⁷ Als KUNCKEL 1679 zu einem Kalk- oder Kreidezusatz rät, war die Verwendung von Pottasche bereits üblich, der das Calcium durch den Extrahierungsprozess entzogen worden war.⁴⁴⁸

Wedepohl zeigt auf, dass das Verhältnis von Alkalicarbonat zu Kalk in gebräuchlichen Pflanzenaschen eine Größenordnung von 1:1 aufweist.⁴⁴⁹ Zum Einsatz kamen im 19. Jahrhundert üblicherweise gebrannter Kalk oder Kreide, selten der natürliche kohlen saure Kalk.⁴⁵⁰ „Der nöthige Kalk wird durch Brennen von sehr reinem, oft von ganz weißem, körnigem, kohlen saurem Kalk in einem Glühofen dargestellt“⁴⁵¹. Böhmisches Glashütten verwendeten einen Kalk, der bereits längere Zeit an der Luft hatte zerfallen können.⁴⁵² Frisch zerfallener Kalk hingegen konnte dem Glase eine grünliche Farbe geben.⁴⁵³

Die Eigenschaften von Kalk und seine chemische Bedeutung waren bei der Herstellung von Glas lange Zeit nicht im Einzelnen bekannt. Leng vermerkt, dass Kalk „erst in neuester Zeit [vor Mitte des 19. Jahrhunderts, Anm. d. Verf.] als ein wesentlicher Bestandtheil der meisten Glassorten erkannt worden“ sei.⁴⁵⁴ „Natronglas“ vertrage einen größeren Zusatz von Kalk als ein „Kaliglas“, doch zu viel Kalk führe zu vermehrter Bläschenbildung.⁴⁵⁵ Als Nachteil erweise sich das schnellere Erstarren eines kalkreichen Glases, während das kalkärmere schneller entglasen könne.⁴⁵⁶ Auch die Häfen konnten bei hohem Kalkeinsatz in Mitleiden schaft gezogen werden.⁴⁵⁷ Es war daher wichtig, bei der Glasschmelze für die richtige Dosierung zu sorgen.

Aus den von LENG 1854 veröffentlichten Rezepturen lässt sich ein Qualitätsunterschied herauslesen. Für

die Herstellung von „halbweißem“ Fensterglas, womit wahrscheinlich eine mindere Qualität bezeichnet wurde, ist kein Kalk enthalten. Im Gegensatz dazu führen die Rezepte für „weißes“ Glas Kreide oder „an der Luft zerfallenen Kalk“ auf.⁴⁵⁸

Verfügbarkeit

Von den Zwieseler Glashütten ist belegt, dass sie ihren Bedarf an Kalk vorwiegend aus regionalen Kalkbrüchen deckten. Bekannt ist der Abbau von kristallinem Kalk, einer Art Marmor, in Kalkofen bei Rimbach in der Oberpfalz.⁴⁵⁹ Ebenso wurden Kalkbrüche bei Regensburg und in der Gegend von Passau und Vils hofen genannt. Böhmisches Glashütten bezogen ihren besonders hochwertigen Kalk aus der Gegend zwischen Klattau und Schüttenhofen.⁴⁶⁰ Die Steigerwälder Glashütte in (Fabrik-)Schleichach bezog Kalk aus dem 10 km entfernten Oberschwappach.⁴⁶¹ Die wichtigsten Kalkvorkommen in Deutschland sind 1926 in den *Erläuterungen zur Karte der Rohstoffe und Standorte der Deutschen Glasindustrie der Deutschen Glasgesellschaft* aufgelistet (Abb. 3, 4).⁴⁶²

439 STACHERL 2010, 23; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 19.

440 STEPHAN 2019, 124.

441 SCHULZ 1928, 58.

442 KURZMANN 2004, 32, 33, 179; LOIBL 2006b, 677.

443 KURZMANN 2004, 37. In einer Mischasche, vorwiegend aus Buche und Fichte, wurde beispielsweise der Anteil von 39 Ma. % Calciumoxid nachgewiesen. Siehe auch BAYLEY et al. 2009, 23.

444 Ebd., 25.

445 Siehe Kapitel Halophytenasche.

446 KURZMANN 2004, 33.

447 AGRICOLA 1556, 501; siehe auch KURZMANN 2004, 32, 33, 178, 179.

448 Vgl. Kapitel Pottasche. LOIBL 2006b, 677.

449 WEDEPOHL 2003a, 92.

450 LENG 1854, 140.

451 Ebd., 29.

452 Ebd., 140.

453 Ebd.

454 Ebd., 139.

455 Ebd., 140.

456 Ebd.

457 Ebd., 139.

458 Ebd., 28, 271-273; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 20.

459 SPERLING 1993, 40 f.; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 20.

460 Ebd.

461 LOIBL 2006b, 677-679.

462 DIENEMANN 1926, 37 f.; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 19-23.

Für die Glasindustrie wichtige Kalkvorkommen.

(Nach Angaben des Vereins Deutscher Kalkwerke.)

Nr.	Vorkommen	Geologische Karte*)
1	Beuthen	Beuthen
2	Keltsch	—
3	Groß-Strehlitz	—
4	Schmischow	—
5	Groß-Stein	—
6	Tarnau	—
7	Johannesthal bei Groß-Stein	—
8	Gogolin	—
9	Krappitz	—
10	Oppeln	—
11	Gr.-Kunzendorf	—
12	Rosenthal bei Mittenwalde	—
13	Oberkauffung	Kauffung
14	Kunersdorf	Warmbrunn
15	Hirschberg	Hirschberg
16	Bunzlau	—
17	Rüdersdorf	Rüdersdorf
18	Zarnglaff	Moratz
19	Hermisdorf	Naussau (S.)
20	Hammerunterwiesenthal	Wiesenthal (S.)
21	Unterswiesenthal	Wiesenthal (S.)
22	Oberscheibe, Post Scheibenberg	Annaberg (S.)
23	Bulgstädt	Freyburg
24	Freyburg a. d. Unstrut	Freyburg
25	Gänsefurth bei Hecklingen	—
	(Anhalt)	Staßfurt
26	Blankenburg	Blankenburg
27	Elbingerode	Elbingerode
28	Hemkerode, Post Veltheim a. d. Ohe	Jerxheim
29	Ocker	—
30	Wendessen	Woltenbüttel
31	Wolfenbüttel	Woltenbüttel
32	Netze	Gr.-Freden
33	Einbeck	Einbeck
34	Holzen	Alfeld
35	Freden	Gr.-Freden
36	Sehlen	Sibesse
37	Marienhagen	Gronau
38	Salzhemmendorf	Salzhemmendorf
39	Letter, Post Limmer	Gehrden
40	Bredenbeck	Springe
41	Flensburg	—
42	Rostock	—
43	Godelheim	Höxter
44	Trendelburg	—
45	Volkmarsen	—
46	Hesperinghausen	—
47	Westheim	—
48	Niedermarsberg	—
49	Marsberg	—
50	Erlinghausen	—
51	Kanstein	—
52	Leitmar	—
53	Berndorf	—
54	Corbach	—

*) Vgl. Anm. auf Seite 5. 37

3 Kalkvorkommen Teil 1

3.4 Entfärbungsmittel

3.4.1 Braunstein

Zusammensetzung

Bei der Herstellung von farblosem Glas spielten sogenannte Entfärbungsmittel vor allem dann eine wichtige Rolle, wenn der Reinheitsgrad der Rohstoffe nicht der erforderlichen Qualität entsprach, wie es in den Waldglashütten die Regel war. Eine Aufbereitung der Sande und Flussmittel gelang oft nicht in dem gewünschten Maße. Vor allem die Eisen- und Manganverbindungen machten den Glashütten zu schaffen, da sie eine grünliche oder gelbliche Färbung im Glas verursachten. Diesen Effekt versuchte man durch den Einsatz von Entfärbungsmitteln abzumildern.⁴⁶³ Als gebräuchlichste Entfärbungsmittel wurden Braunstein (Mangandioxid, auch bekannt als Glasmacherseife) und Arsenik eingesetzt.⁴⁶⁴

Nr.	Vorkommen	Geologische Karte*)
55	Messinghausen	—
56	Brlon	—
57	Hönnethal	Iserlohn
58	Hohenlimburg	Hohenlimburg
59	Dornap	Elberfeld
60	Ratingen	—
61	Aprath	Elberfeld
62	Wülfrath	Elberfeld
63	Schlupkothen	—
64	Walheim (Rhld.)	Stolberg
65	Cornelminster (Rhld.)	Stolberg
66	Eilendorf (Rhld.)	Aachen
67	Stolberg (Rhld.)	Stolberg
68	Nettersheim	—
69	Attendorn	Attendorn
70	Mecklinghausen	Attendorn
71	Grevenbrück	—
72	Hadamar	Hadamar
73	Dietz	Limburg
74	Steeden	Hadamar
75	Aumenau	Weilburg
76	Albshausen	Brauntfels
77	Butzbach	—
78	Maar	—
79	Homberg	Homberg
80	Heinebach	Seifertshausen
81	Treffurt	Treffurt
82	Oberrohn, Post Tiefenort	Salzungen
83	Eiterfeld	Eiterfeld
84	Wissels, Post Fulda	Fulda
85	Gundersheim	Donnersberg (Bay.)
86	Talheim bei Heilbronn	—
87	Poltringen, Post Herrenberg a. d. Ammer	—
88	Nagold	Horb (Wü.)
89	Istein (Baden)	—
90	Ehingen	—
91	Herrlingen	—
92	Ulm	—
93	Nevesheim	—
94	Harburg (Schwaben)	Nördlingen (Bay.)
95	Wemding am Ries	Nördlingen (Bay.)
96	Töging (Altmühl)	Neumarkt (Bay.)
97	Saal a. d. Donau	Regensburg (Bay.)
98	Abbach	Regensburg (Bay.)
99	Walhallastraße bei Regensburg	Regensburg (Bay.)
100	Fürstzell	Passau (Bay.)
101	Amberg	Erbendorf (Bay.)
102	Hartmannshof	Erbendorf (Bay.)
103	Vilsack (Oberpfalz)	Erbendorf (Bay.)
104	Vorra a. d. Pegnitz	Bamberg (Bay.)
105	Rupprechtsegen (Mittelfranken)	Bamberg (Bay.)
106	Neusorg (Fichtelgeb.)	Erbendorf (Bay.)
107	Wunsiedel	Münchberg (Bay.)
108	Döbra-Poppenheim	Münchberg (Bay.)
109	Ergersheim (Ernetzhofen)	—
110	Marktbreit	—
111	Ochsenfurt a. M.	—
112	Kirchheim	—
113	Heidingsfeld	—
114	Hammelburg	—

*) Vgl. Anm. auf Seite 5. 38

4 Kalkvorkommen Teil 2

Braunstein war schon Plinius bekannt, von ihm jedoch irrtümlich als „*magnes lapis*“ bezeichnet, was in der Folge als Magnetstein (Magnetit) übersetzt wurde.⁴⁶⁵ Agricola, mit Plinius' Text vertraut, übernimmt diese Verwechslung, ist aber ausführlicher in seiner Beschreibung:

„Dazu [in das Gemenge, Anm. d. Verf.] bringt man kleine Stücke Magnetstein. Wie in früheren Zeiten glaubt man nämlich auch in unseren Tagen an die außerordentliche Fähigkeit des Magnetsteins, die flüssige Substanz des Glases an sich zu ziehen, wie er das Eisen anzieht. Und diese Substanz, die er anzieht, reinigt er auch und macht aus grünem und gelbem Glas weißes. Der Magnetstein selbst wird dann vom Feuer verzehrt.“⁴⁶⁶

463 KURZMANN 2004, 42; SEIZ 1994, 24. Vgl. JACKSON 2005, 767, der die verschiedenen Möglichkeiten zur Herstellung von klarem römischen Glas aufzeigt.

464 TABOR 1818, 169.

465 KURZMANN 2004, 42 weist auf Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 192 hin; Knoll 1979, 266.

466 AGRICOLA 1556, 501.

Kunckel kennt auch die Wirkung des Entfärbungsmittels „*was die Glasmacher Braunstein nennen*“⁴⁶⁷, auch wenn er fälschlich von Magnesia anstelle von Mangan ausgeht.

„*So man demnach ein Glas / das sich zur Grüne neiget / mit der Magnesia oder unserm Braunstein versetzt / so sticht solche Farbe / nach dem der Braunstein wieder vergangen / etlicher massen nach der Schwärze / erlangt also eine hellere Farbe und verliert die Grüne.*“⁴⁶⁸

Die chemische Erklärung für die Wirkung des Braunsteins ist komplex. Genau genommen findet keine Entfärbung statt, sondern eine Art optische Täuschung. Ausschlaggebend sind die Konzentrationen von Eisen und Mangan „*in den jeweils vorliegenden Oxidationsstufen [...], beim und nach dem Niederschmelzen des Gemenges*“.⁴⁶⁹ Braunstein zerfällt in Mangan(III)-oxid und Sauerstoff. Der Sauerstoff wiederum verbindet sich mit dem vorhandenen Eisen(II) zu Eisen(III)-oxid. Dabei finden farbliche Überlagerungen statt. Die Gelbfärbung von Eisen(III) ergibt zusammen mit der Rotviolett-färbung von Mangan(III) einen Grauton, der farblos erscheint, da er für das Auge kaum wahrnehmbar ist.⁴⁷⁰ Der als Chemiker ausgebildete Peter Kurzmann bezeichnet die Prozesse mit Braunstein prägnant als Kaschierung:

„*Dies ist das Geheimnis der Glasmacherseife: das unerwünschte Grün wird in Gelb umgewandelt und mit der Komplementärfarbe Rotviolett kaschiert, aber eben nur kaschiert, ein Grauton verbleibt.*“⁴⁷¹

Im Übrigen weist Kurzmann darauf hin, dass sich nur dreiwertiges Mangan, Mangan(III), zum Entfärben eignet. Um den Nachweis zu erbringen, dass Braunstein als Entfärbungsmittel eingesetzt wurde, reicht seiner Meinung nach ein Nachweis von Mangan in der Analyse daher allein nicht aus.⁴⁷²

Einige Fachbücher trennen zwischen einer chemischen und physikalischen Entfärbung.⁴⁷³ Als physikalische Entfärbung wird dann die „*Überfärbung*“⁴⁷⁴ mit einem komplementären Glasfärbemittel bezeichnet, wozu neben Mangan auch Selen, Nickeloxid und Schwefel gezählt werden. Heutzutage ist es möglich, die einzelnen Elemente dem Glasgemenge separat zuzufügen. Doch ist chemischer Sachverstand erforderlich, damit die Entfärbung gelingt.⁴⁷⁵

Auch die Dosierung von Braunstein war für Glasmacher eine Gratwanderung. War sie ungenau, hinterließ sie im Glas eine schwach violette, schwach gelbe oder schwach braune Färbung.⁴⁷⁶ Bei einer leichten Überdosierung trat in manchen Fällen ein Effekt auf, der als Solarisation genannt wird. Dieser Vorgang wird vor allem bei Fensterglas beobachtet, das über einen langen Zeitraum dem Sonnenlicht ausgesetzt war. Ein bekanntes Beispiel sind die Südfenster des Potsdamer

Schlusses Sanssouci.⁴⁷⁷ Der chemische Prozess kann durch vorhandene Schwermetalle im Glas begünstigt worden sein, die sich, bedingt durch die verwendeten Naturrohstoffe, im historischen Glas befanden.⁴⁷⁸

Verfügbarkeit

Auch wenn die von Neri empfohlene „*Piemontanischen Magnesiae*“⁴⁷⁹ aus Norditalien einen guten Ruf hatte, weist Kunckel ausdrücklich auf die deutschen Vorkommen in den Meißnischen Erzgebirgen hin, insbesondere bei Schneeberg.⁴⁸⁰ Braunstein aus Deutschland war sogar den Italienern bekannt, die es laut Biringuccio allerdings nicht nur zum Entfärben, sondern zum Färben von Glas nutzten: „*Die Glasermeister färben ihre Gläser damit wundervoll violett.*“⁴⁸¹

Im 17. Jahrhundert wurde eine sehr reine Qualität bei Ilmenau im Thüringer Wald bergmännisch abgebaut, die nachweislich von den Glashütten im Zwieseler Winkel bis ins 19. Jahrhundert hinein bezogen wurde.⁴⁸² Die östlichen Regionen Deutschlands werden im Standardwerk zur Glasfabrikation aus dem frühen 20. Jahrhundert als Bezugsadressen für Braunstein aufgeführt.⁴⁸³ Es ist daher anzunehmen, dass sie über die Jahrhunderte die wichtigsten Rohstoffquellen blieben.

467 KUNCKEL 1679, 55.

468 Ebd., 55 f.

469 KURZMANN 2004, 207.

470 Ebd.

471 Ebd.

472 Ebd., 208.

473 SEIZ 1994, 24; SPRINGER 1963, 64 f.

474 Ebd., 64.

475 SEIZ 1994, 26.

476 KURZMANN 2004, 208.

477 SCHAEFFER / LANGFELD 2014, 38.

478 KURZMANN 2004, 216. Siehe auch seine Tabelle mit Versuchsergebnissen zu Flachglas, das ein Jahr lang der Sonneneinstrahlung ausgesetzt war.

479 Neri in KUNCKEL 1679, 21.

480 Ebd., 55.

481 BIRINGUCCIO 1540, 133.

482 SPERLING 1993, 42.

483 DRALLE 1911. Bezugsquellen-Nachweis in Band II nach S. 1282, S. I-II.

3.4.2 Arsenik

Zusammensetzung

Arsenik (Arsen(III)-oxid, As_2O_3) wurde in erster Linie zum Läutern des Glasgemenges eingesetzt. Es nimmt Sauerstoff auf, der bei höheren Temperaturen in Form von Bläschen zerfällt, die das Gemenge durchmischen.⁴⁸⁴ Ähnlich wie Braunstein besitzt Arsenik gleichzeitig die Fähigkeit, eine Oxidation von Eisen(II) zu Eisen(III) zu bewirken, wodurch sich der durch Eisenoxide hervorgerufene grünliche Farbstich in einen gelblichen, weniger sichtbaren verwandelt.⁴⁸⁵ Allerdings warnt das *Betrugs-Lexicon* von Georg Hönn vor einem allzu großzügigen Gebrauch von Arsenik, da es das „Glas zwar sehr weiß, aber auch so unbeständig macht, daß es in kurzer Zeit ritzig, und durch solche Ritzlein, welche sich in grosser Menge darein setzen, ganz verderbet wird [...]“.⁴⁸⁶

Verfügbarkeit

Von den Zwieseler Hütten ist bekannt, dass sie ihren Bedarf an Arsenik aus Sachsen deckten. Vermutlich handelt es sich dabei um eine der bekannten Abbaugebiete in St. Andreasberg, Schneeberg, Marienberg oder Freiberg. Auch in Böhmen wurden bei Jachimov arsenhaltige Erze bergmännisch gewonnen.⁴⁸⁷ Arsenik war ein Nebenprodukt, „wo Zinnerze, die Arsenikkies enthalten, oder Kobalterze geröstet werden“⁴⁸⁸, oder es entstand als Hauptprodukt beim „Rösten des Arsenikkieses“.⁴⁸⁹

Bei Leng taucht der Zusatz von Arsenik in Rezepten für die Herstellung von „weißem Glas“ und „noch besserem Tafelglas [hier ist Fensterglas gemeint, Anm. d. Verf.]“ auf,⁴⁹⁰ war aber keine Voraussetzung für die Glasqualität, da gute Glasqualität auch ohne Arsenik gelang.⁴⁹¹ Es wurde in geringen Mengen, manchmal in Kombination mit Braunstein verwendet. Laut Dralle waren im frühen 20. Jahrhundert die im Handel befindlichen Sorten „ziemlich rein“⁴⁹² und sowohl als feines Pulver, sogenanntes *Arsenmehl*, als auch in Stücken erhältlich.⁴⁹³

3.5 Glasbruch

Die Wiederverwertung von Altglas ist keine Errungenschaft der heutigen Zeit. Glasbruch wurde bereits im Mittelalter gesammelt und war als Rohstoff ein begehrtes Handelsgut. Die Statuten der Stadt Bologna verlangten im 13. Jahrhundert einen Exportzoll auf Glasbruch, der halb so hoch war wie der für intaktes Glas.⁴⁹⁴

Durch Mathesius ist belegt, dass Mitte des 16. Jahrhunderts auch deutsche Waldglashütten an Altglas interessiert waren und die dafür nötige Infrastruktur bereits existierte: „Viel kauffen alte glasbrocken oder scherben auff / daraus man in diesen welden das schönste glas machet.“⁴⁹⁵ Von der Herzoglichen Glashütte in München ist belegt, dass sie im Jahr 1585 Glasscherben aus Hall und Venedig dem Glasgemenge hinzufügte, um an „Spänischer Aschen“ zu sparen.⁴⁹⁶

Ein Eintrag im Lexikon von Johann Georg Krünitz zwei Jahrhunderte später beschreibt das damals übliche Einsammeln von Altglas in der Stadt:

„An einigen Orten, wie z. E. in Berlin, fahren Leute mit Kasten auf Schubkarren herum, und hohlen aus den Häusern das zerbrochene Glas ab, um es auf die Glashütten zu liefern. Gewiß, eine Sache von nicht geringerem Nutzen, als das Sammeln der Lumpen zum Papiere!“⁴⁹⁷

Glasbruch galt also weiterhin als wichtiger Rohstoff zur Glasherstellung, das nach seiner Reinheit sortiert und eingeschmolzen wurde. Für Fensterglas waren die Qualitätsansprüche niedriger als für Hohlglas. „Zu feinem Glas ist es nöthig, nur Abfälle von der nämlichen [gleichen, Anm. d. Verf.] Art zuzusetzen. Bey geringen Glasarten, wie Fensterglas und dergleichen, ist dies nicht nöthig.“⁴⁹⁸

In Kurmainz sah eine Verordnung vor, dass zerbrochenes Glas in den umliegenden Städten und Dörfern der kurzmainzischen Glashütten von der Hofkammer gesammelt und an die Hütten weiterverkauft wurde.⁴⁹⁹ Ähnlich verfügte die *Würzburger Anordnung* von 1733, dass alle im Hochstift ansässigen Glaser ihre Scherben zurückgeben.⁵⁰⁰ Davon profitierte die Steigerwälder Glashütte in (Fabrik-)Schleichach.⁵⁰¹ Die Glasscherben wurden vor dem Einsatz sortiert und zerkleinert.

484 KURZMANN 2004, 215.

485 Ebd.

486 HÖNN 1724, 178.

487 SPERLING 1993, 43; vgl. Schmölder et al. 2019, 26.

488 LENG 1854, 150.

489 Ebd.

490 Ebd., 272–274.

491 Ebd., 272.

492 DRALLE 1911, 186 f.

493 Ebd.

494 KURZMANN 2004, 43; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 23–25.

495 MATHESIUS 1562, 276.

496 VOPELIUS 1895, 27.

497 KRÜNITZ 1779, 21788, 670 f.

498 TABOR 1802, 227.

499 LOIBL 2012b, 335.

500 LOIBL 2006b, 675.

501 Ebd.

Die Verwendung von Glasbruch bot mehrere Vorteile. Zunächst einmal erleichterte es das Niederschmelzen des Gemenges⁵⁰², und es konnte eine wichtige Energieeinsparung erzielt werden. Glasbruch wirkte hier im Sinne eines Flussmittels⁵⁰³ und war außerdem wesentlich billiger als Pottasche oder Soda.⁵⁰⁴ Ein zusätzlicher, nicht zu unterschätzender Faktor bestand in der Möglichkeit, durch wiederverwendetes Glas die Sandmenge zu reduzieren oder gering zu halten, sollte die Sandqualität einmal nicht ausreichen. Auf diese Weise gelang es in der kurmainzischen Glashütte Weibersbrunn im 18. Jahrhundert, die Glasqualität für Mondglas zu verbessern.⁵⁰⁵ Tabor weist darauf hin, dass Glas aus verschiedenen Hütten doch sehr unterschiedlich sei, und plädiert daher dafür, eine Vorsortierung nach dem Grad der Reinheit vorzunehmen.⁵⁰⁶ Allgemein wurde Glasbruch aus eigener Produktion bevorzugt, etwa durch fehlerhafte Produktion, unbrauchbare dicke Mittelteile der Mondscheiben sowie Verschnitt. Für die Mondglasproduktion konnte der Anteil der Glasscherben bis zu 80 % des Rohstoffeinsatzes ausmachen.⁵⁰⁷

Die Vorteile, die sich durch die Verwendung von Glasbruch ergaben, werden bei Krünitz anschaulich zusammengefasst.

„Ueberhaupt kommt der Glasarbeiter mit den Brocken oder Scherben allemahl besser zu recht. Denn: 1) die Glasbrocken geben, wenn sie gut sind, allemahl besser Glas. 2) Es kommt gerade wieder so viel neues Glas an Masse heraus, als Brocken da sind. 3) Der Arbeiter braucht viel weniger Zeit und Holz zum Schmelzen, und beynahe nur ein Drittel Feuerung. Denn, wenn die Glasbrocken den Abend zum Schmelzen eingeschüttet werden, so können die Leute den Morgen darauf schon wieder arbeiten; da hingegen, wenn lauter Materie geschmelzet wird, sie oft Tag und Nacht schmelzen müssen, ehe die Arbeit vorgenommen werden kann. Bey solcher Anstalt können 4) auch die Glas=Waaren viel wohlfeiler gegeben werden.“⁵⁰⁸

Während Krünitz die allgemeinen Vorteile bei der Glasherstellung hervorhebt, empfiehlt Tabor die Verwendung von Altglas explizit für die Herstellung einer guten Fensterglasqualität.

„Entsteht durch den Gebrauch des Schmelz- und alten Glases eine viel dauerhaftere, besonders gegen die Einwirkung der Luft viel unempfindlichere Waare; denn durch das doppelte Schmelzen und Ablöschen wird nicht nur die Glasgalle, sondern auch der überflüssige Theil der alkalischen Salze, welche beyde an dem sogenannten Absterben des Glases Schuld sind, vollkommener abgeschieden, und das Glas dem eigentlichen Sättigungspunct zwischen Fluß und Sand, näher gebracht. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren

vorzüglich bey der Bereitung aller Arten von Fensterglas sehr zu empfehlen, weil diese gerade der Luft und der Einwirkung ihrer Bestandtheile am meisten ausgesetzt sind; deswegen ist das bekannte grünliche Mondglas, wobey diese Verfahren von jeher angewendet wurde, so sehr allen Arten von Tafelglas in dieser Rücksicht überlegen.“⁵⁰⁹

Im frühen 20. Jahrhundert verwenden Glashütten für die modernen Ziehverfahren ausschließlich Glasbruch aus eigener Produktion, um das Risiko einer Verunreinigung durch den Eintrag fremder Glaszusammensetzungen zu vermeiden. Der Glasabfall stammte von den seitlichen Rändern des gezogenen Glasbandes, die abgeschnitten wurden.⁵¹⁰ Ähnlich dürfte es sich auch beim Libbey-Owens- und beim Pittsburgh-Verfahren verhalten haben.⁵¹¹ Auch heute noch wird bei der Floatglasproduktion nur das bei der eigenen Produktion anfallende Altglas eingeschmolzen.⁵¹²

3.6 Resümee Rohstoffe

Grundsätzlich konnten die Glashütten im deutschsprachigen Raum ihre Rohstoffe für die Herstellung von ungefärbtem Fensterglas im Mittelalter aus heimischen Quellen beziehen. Das änderte sich auch kaum, als im 19. Jahrhundert verbesserte Transportwege den Bezug quarzhaltiger Sande aus entlegeneren Gegenden ermöglichten. Lagen Quarzlagerstätte und Energiequelle lange Zeit möglichst nah beieinander wie in den deutschen Mittelgebirgen, erlaubte die Umstellung auf die 1856 entwickelten Gas-Regenerativöfen von Siemens eine Unabhängigkeit vom Energierohstoff Holz, da auch Steinkohle und Gas aus Koks eingesetzt werden konnten.⁵¹³ Neue Glashüttenstandorte rückten nun in der Nähe von Kohlerevieren und Bahnhöfen.

Entfärbungsmittel wie Braunstein und Arsenik, von denen die Glashütten mengenmäßig nur wenig benötigten, wurden aus Sachsen bezogen. Ähnlich verhielt es sich mit dem Bedarf an Kalk, der ebenfalls

502 KURZMANN 2004, 43.

503 Ebd.

504 TABOR 1818, 483.

505 LOIBL 1995b, 42.

506 Ebd.

507 Ders. 2012b, 333 f.

508 KRÜNITZ 1779, 21788, 670 f.

509 TABOR 1818, 483.

510 KÖNIG 1934, 14.

511 Hier gelang es nicht, Näheres herauszufinden.

512 Laut Werksbesichtigungen der Firma NSG in Weiherhammer am 10.10.2019 und 15.2.2023.

513 LAUFER 1994, 44.

von heimischen Lagerstätten gedeckt werden konnte. Bei Glasbruch ist die Verwendung als wertvolles Gut zwar schon früh belegt, seine Herkunft kann in der Regel aber nicht bestimmt werden, wenn es sich dabei nicht um den eigenen Glasabfall handelte. In den meisten Fällen bleibt ungewiss, woher die Glasscherben stammten. Der nachweisliche Import aus Italien über Hall im 16. Jahrhundert kann mit der Herstellung von feinem Hohlglas in Verbindung gebracht werden. Denkbar ist, dass er auch für hochwertige Butzenscheiben verwendet wurde. Später ist ein hoher Anteil an Glasbruch vor allem bei der Mondglasherstellung belegt. Generell ist das Recycling von eigenem Glasabfall bis zum heutigen Tag üblich.

Auch bei den Flussmitteln bevorzugten die Glashütten zur Herstellung von Fensterglas die ihnen zur Verfügung stehenden heimischen Flussmittel, die sie in vielen Fällen aus Gründen der Qualitätskontrolle sogar selbst produzierten. Eine verwirrende Vielzahl an Produkten und Bezeichnungen, die in schriftlichen Quellen und der Fachliteratur oft undifferenziert nebeneinander gebraucht werden, verleitete häufig zu der irrigen Annahme, dass die Zugabe von Soda eine Voraussetzung für ungefärbtes klares Glas sei.

War zunächst lose Holzasche ausreichend für eine mindere Fensterglasqualität wie Waldglas, so konnte ab dem späten 16. Jahrhundert mit Pottasche eine erhebliche Verbesserung erzielt werden, die in Altmünden zur Gründung einer Weißglashütte führte.⁵¹⁴ Mit dem 17. Jahrhundert häufen sich die Anzeichen für eine zunehmende Umstellung auf ausgelaugte Asche. Für die Erzeugung von Pottasche war man nicht länger auf die Verbrennung von Holz beschränkt, sondern konnte die Asche jeglichen organischen Materials nutzen, um sie in einem Extraktionsverfahren in Pottasche zu verwandeln. Allein dieser Sachverhalt räumt mit dem gängigen Missverständnis auf, es handle sich bei Holzasche und Pottasche um Synonyme. Im 17. Jahrhundert entstanden durch den Einsatz von Pottasche neue Glassorten wie das *böhmische Kreideglas* und die *weißen Heilbronner*, die für ihre besondere Reinheit und Klarheit berühmt waren. Letztere Glassorte wurde auch für qualitätvolle Fensterscheiben verwendet, die unter dem Namen *Spiegelscheiben* gehandelt wurden. Anders als noch Agricola glaubte, war es nun möglich, feines Glas auch ohne Soda herzustellen.

Dennoch wird in zeitgenössischen Quellen des 17. und 18. Jahrhunderts die Wirksamkeit von Soda für hochwertiges Glas herausgestellt. Gemeint war in der Regel eine aus Salzpflanzen hergestellte Asche, die sogenannte Halophytenasche. Die natürliche mineralische Sodavariante, bekannt unter dem Namen *Trona*, hat so gut wie keine Beachtung. Wie sich zeigte, waren

auch die in der Levante hergestellten Sodalorten, *Rochetta* oder *levantinisches Pulver*, zwar bekannt, ihr Einsatz für Fensterscheiben dürfte im deutschsprachigen Raum jedoch sehr begrenzt gewesen sein, da ein entsprechender Handel nicht eindeutig nachgewiesen ist.

Im Gegensatz zu den orientalischen Sodalorten ist der Import von *Soda* aus Spanien schon im 16. Jahrhundert belegt. Der Kontext, in dem der Begriff *Soda* in der deutschsprachigen Glasliteratur des 17. und 18. Jahrhunderts verwendet wird, legt sogar nahe, dass sich *Soda* in der Regel auf eine an der spanischen Südküste gewonnene Halophytenasche bezieht. Unter den spanischen Produkten war *Barilla* am bekanntesten.

Trotz des Handelsnachweises gelingt es nur in seltenen Fällen, einen Bezug zu bestimmten Glashütten und ihrer Herstellung von entfärbtem Fensterglas aufzuzeigen, um dort den Nachweis für den Einsatz von Soda zu erbringen. Ausnahmen bilden Ende des 16. Jahrhunderts die herzogliche Glashütte in München, die Fensterscheiben nach venezianischem Vorbild schufen, und die kurmainzischen Glashütten im 18. Jahrhunderts, die Soda für ihre Spiegelglasproduktion brauchten und es gelegentlich auch für Mondglas einsetzten. Der Glashüttengutachter Carl Wigand Tabor vermerkt, dass Glashütten zu wenig Kenntnisse im Umgang mit Soda hatten. Offenbar war der Gebrauch von Soda in Deutschland trotz der Vielzahl schriftlich dokumentierter spanischer, französischer und englischer Sorten im 18. und 19. Jahrhundert nicht allgemein üblich. Stattdessen setzte man weiterhin auf heimische oder selbst erzeugte Pottasche.

Erst ein akuter Holzangel, der durch die Herstellung von Pottasche mitverantwortet worden war, führte um 1800 zum vermehrten Einsatz von Glaubersalz im Glasgemenge.⁵¹⁵ Damit wurden die Pottasche oder Soda entweder gestreckt oder ersetzt. Dies galt insbesondere für die Herstellung von Fensterglas. Glaubersalz war jedoch nur relativ kurze Zeit von Bedeutung, da gleichzeitig die synthetische Sodaherstellung auf dem Vormarsch war. Als Soda ab 1865 dank des belgischen Solvay-Verfahrens in großen Mengen und preisgünstig zur Verfügung stand und ab 1880 auch in Deutschland produziert wurde, hatten Pottasche und Glaubersalz zur Herstellung von Fensterglas ausgedient. Die kaliumreichen Flussmittel wurden zugunsten des neuen, natriumreichen Flussmittels verdrängt.

514 Der seit dem 14. Jahrhundert bekannte Handel mit Pottasche aus Osteuropa scheint vor allem für die Niederlande bestimmt gewesen zu sein. Wie bedeutend er für die heimische Fensterglasproduktion war, ist bislang nicht beleuchtet worden.

515 LENG 1854, 298 f.

Die verschiedenen Handelsformen der Halophytenasche, die von steinigen Brocken über lose Asche bis hin zu Pulver reichten, haben in der Fachliteratur bislang kaum Beachtung gefunden. Auch wird der gewaltige Aufwand unterschätzt, der bei der Vorbereitung dieser Rohstoffe für das Erschmelzen der Glasmasse erforderlich war. Das betrifft den Quarzrohstoff, der oft nicht in der gewünschten Qualität oder Körnung zur Verfügung stand, ebenso wie die Aufarbeitung der Flussmittel. Letztere wurden ab dem ausgehenden 16. Jahrhundert durch zusätzliche Extraktionsverfahren gereinigt, um die Wirkstoffkonzentration zu erhöhen. Den zeitgenössischen Texten zufolge entwickelte sich diese Methode zu einem neuen Standard, der sowohl für die Herstellung von Pottasche angewandt wurde als auch zur Aufbereitung der importierten (spanischen) Soda.

Im deutschsprachigen Raum war es vor allem Kunkel, der sich für die Zweckmäßigkeit einer Aufbereitung der Flussmittel aussprach, insbesondere für die Herstellung von hochwertigem Glas. Verschiedene Varianten des Auslaugens bzw. *Ausziehens* waren zur Zeit Kunkels in Umlauf und wurden gängige Praxis. Sie trugen zur Entdeckung des Glaubersalzes bei, auch wenn dieses erst 100 Jahre später in der Glasherstellung als Flussmittel Einsatz fand.

Die chemischen Elemente der alkalischen Wirkstoffe wurden erst Anfang des 19. Jahrhunderts entdeckt, daher waren die Glashütten bis zu diesem Zeitpunkt allein auf ihre empirische Erfahrung angewiesen. Sie entschieden sich nicht bewusst für oder gegen Natriumcarbonat, sondern lediglich für oder gegen (spanische) Soda, die sie zum Teil mit anderen Komponenten streckten oder kombinierten.

Bis Natriumcarbonat synthetisch hergestellt wurde, schwankten die Wirkstoffe aufgrund ihres natürlichen Ursprungs besonders stark. Entsprechend variierte die Zusammensetzung des Glasgemenges, was sich in chemischen Analysen bestätigt. Merkmale in der Zusammensetzung des Quarzes oder des Flussmittels erlauben zwar Rückschlüsse auf die eingesetzten Rohstoffe, allerdings nur soweit Referenzdaten vorhanden sind. Abgesehen von einigen Analysen archäologischer Befunde, fehlen diese für klares Fensterglas.

Dass es kein Standardrezept für die Herstellung von farblosem Fensterglas gab, ist nicht überraschend.⁵¹⁶ Zum einen gab es lange Zeit keine Verschriftlichungen oder nur solche, die, wie von Theophilus und Agricola, sehr allgemein gehalten waren. Erst im 19. Jahrhundert wurden genaue Rezepte aufgeschrieben und sogar miteinander verglichen. Zum anderen waren die Variationsmöglichkeiten so vielfältig wie die Glashütten und ihr Produkte. Das Mischverhältnis für das

Glasgemenge wurde in erster Linie von den lokal verfügbaren Rohstoffen bestimmt und ihren Eigenschaften entsprechend angepasst. Das Verhältnis der einzelnen Substanzen zueinander lag ganz im Ermessen des verantwortlichen Hüttenmeisters, das mangels chemischer Kenntnisse allein durch empirische Erfahrung und überlieferte Hüttenpraxis herausgebildet wurde. Die Könnerschaft des Hüttenmeisters bestand in der Fähigkeit, den Grad der Verunreinigungen, die im Quarz und auch in den Flussmitteln vorhanden waren, durch geschickten Einsatz von Entfärbungsmitteln abzumildern, den Verarbeitungsspielraum zu verlängern und auch die Viskosität der Glasmasse durch die Wahl eines geeigneten Flussmittels zu beeinflussen.

Die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten der Rohstoffe für Fensterglas und Spiegelglas, wie sie Ende des 18. Jahrhunderts üblich waren, bringt Tabor auf den Punkt:

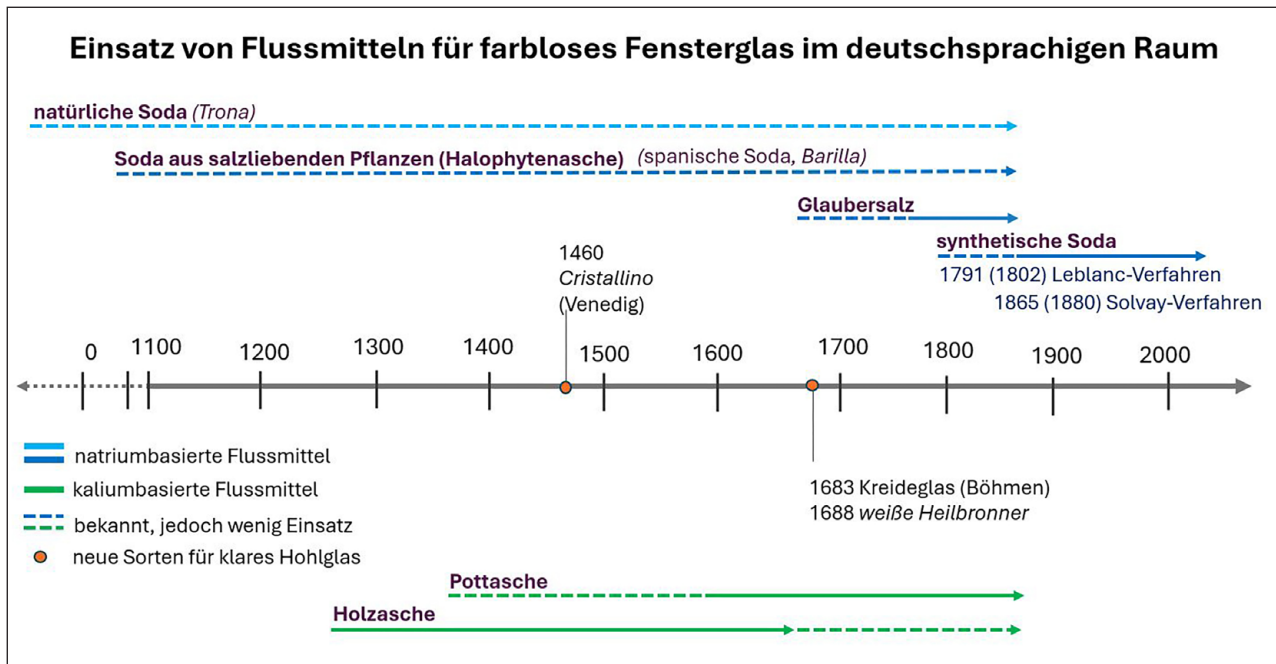
„Das Walzenglas dient gewöhnlich zu gemeinem Fensterglas, und man ist dabey in Ansehung der Farbe, die meistens stark in Grüne fällt, nicht sehr ekel [sic, wahrscheinlich edel, Anm. d. Verf.]. Bey dem Tafelglas [Spiegelglas, Anm. d. Verf.] fordert man vollkommere Reinheit, und eine Farbe, die der Wasserklarheit so nahe kommt als möglich. Man siehet also leicht ein, daß man zum Walzenglas weit gröbere Materien nehmen, und sie weniger sorgfältig vorbereiten darf, als zu dem Tafelglas. So geschiet es auch in der That. Zum Walzenglas nimmt man, zu jedem gewöhnlichen weißen, rothen, oder gelben Sand jeden alkalischen Fluß, sogar im natürlichen Zustand ohne weitere Vorbereitung, z. B. alle Arten von Sode, Potasche, frische und ausgelaugte Holzasche, Pfannenstein von Salzwerken u.s.w. Zur Verbesserung der Farbe bedient man sich des Braunsteins, des Arseniks, des Kobalts oder feines Glases (azur). Hingegen zum Tafelglas [Spiegelglas, Anm. d. Verf.] wird der weisseste und reinste Sand, der zu haben ist, die beste calcinierte Potasche, oder wohl raffinierte und calcinierte Sode, der reinste und weisseste Kalk nebst guten Braunstein, und Arsenik genommen.“⁵¹⁷

Mit dem Siegeszug der chemischen Produktion von Soda Mitte des 19. Jahrhunderts reduzierte sich die Vielzahl an Flussmittel. Gleichzeitig fand eine grundlegende Verschiebung statt, weg von einem kaliumreichen hin zu einem rein natriumbasierten Flussmittel. Böhmisches Fensterglas, das als Kalikalktafelglas bekannt war, war um 1880 aus dem Handel verschwunden.⁵¹⁸ Die industriell hergestellte Soda wurde zum neuen Standard für Flussmittel, der bis heute gilt.

516 WEDEPOHL / SIMON 2010, 93.

517 TABOR 1818, 168.

518 BENRATH 1880, 373.



A Im deutschsprachigen Raum eingesetzte Flussmittel für die Herstellung von farblosem Fensterglas (A. Schmölder)

Die bislang gewonnenen Erkenntnisse ergeben ein grobes Raster, das die Verfügbarkeit und den Einsatz von natrium- und kaliumbasierenden Flussmitteln in einen chronologischen Zusammenhang setzt und eine Interpretations- und Datierungshilfe bietet (Abb. A).

4 Herstellungsverfahren für Flachglas

4.1 Mundgeblasene Herstellungsverfahren

Die Entwicklung der Glasmacherpfeife im 1. Jahrhundert v. Chr. revolutionierte insbesondere die Herstellung von Glasgefäßen, die nun nicht mehr einzeln in Formen gegossen werden mussten, sondern geblasen werden konnten.⁵¹⁹ Durch die Vereinfachung des Herstellungsprozesses und eine Kosteneinsparung bei den Formen avancierten Glasprodukte des täglichen Lebens zur Massenware und in einer neuen Gestaltungsvielfalt. Da das Glas dünn geblasen wurde, verbesserte sich auch seine Durchsichtigkeit erheblich. Für die mundgeblasenen Herstellungsverfahren stellt die Einführung der Glasmacherpfeife daher einen *terminus post quem* dar. Die Möglichkeit, hohle Glaskörper zu blasen, eröffnete neue Techniken und erlaubte, flache runde Scheiben und Zylinder herzustellen.

Die Glasmacherpfeife besteht aus einem gut 1 m langen Metallrohr⁵²⁰ mit Mundstück. Die Rohrlänge gewährt einen gebührenden Abstand zum heißen Ofen.⁵²¹ Mit dem offenen Ende des Rohrs wird heißes Glas aufgenommen und anschließend mit viel Lungenkraft zu einem Ballon aufgeblasen. Dabei muss der Widerstand der zähflüssigen Glasmasse überwunden werden. So entsteht aus einer kompakten Glasmasse ein hohler Körper, der an Durchsichtigkeit gewinnt, je dünner seine Glaswand ausgebildet wird.

Charakteristisch für die mundgeblasenen Herstellungsverfahren ist das permanente Drehen der Glasmacherpfeife, um den Glasposten, der später zu einer Glaskugel oder einem Glaszylinder wird, an der Pfeife zu halten. Bei großen Glasmengen, wie sie zur Herstellung von Fenstern in der Regel erforderlich waren, setzt das Drehen der Glasmacherpfeife eine hohe Geschicklichkeit des Glasmachers voraus, der außerdem die Fähigkeit besitzen muss, gleichzeitig in die Glasmacherpfeife blasen zu können.

4.1.1 Zylinderblasverfahren

Das Zylinderblasverfahren eignet sich besonders zur Herstellung von flachen Glastafeln. Ausgangspunkt ist ein geblasener Zylinder, der längs aufgetrennt wird, um ihn danach zu einer flachen Tafel auseinanderzubügeln. Dieser auch Streckverfahren genannte Vorgang ist um 1100 von Theophilus in der *Schedula diversarum artium*⁵²² beschrieben worden. Seine Darstellung gilt als ältestes schriftliches Dokument zum Herstellungsverfahren von mundgeblasenem Flachglas.⁵²³ Erst im Zuge der Aufklärung kommt es zu weiteren nennenswerten

Beschreibungen. Johann Georg Krünitz widmet der Technik in seiner *Oekonomisch-technologischen Encyclopädie* 1779 einen etwas längeren Abschnitt.⁵²⁴ Seine Erläuterungen gehören zu den frühesten in deutscher Sprache, denn Theophilus' Text wurde erst 1874 aus dem Lateinischen übersetzt.⁵²⁵ Auch Johann Beckmann⁵²⁶ und Friedrich Junker⁵²⁷ gehen 1787 bzw. 1795 in ihren Veröffentlichungen zu Anleitungen in der Technologie und Allgemeinwissen kurz auf das Zylinderblasverfahren ein. 1805 wiederholt David Gilly in seinem Handbuch die Kenntnisse von Krünitz.⁵²⁸

Eine sehr ausführliche Beschreibung des Zylinderblasverfahrens findet sich bei Carl Wigand Tabor zu Beginn des 19. Jahrhunderts.⁵²⁹ Im Laufe des 19. Jahrhunderts befassen sich weitere Publikationen explizit mit dem Thema Glasherstellung und zeigen die verschiedenen Varianten des Zylinderblasverfahrens auf.⁵³⁰ Abgesehen von diesen schriftlichen Zeugnissen ist es in der Glashütte Lamberts in Waldsassen⁵³¹ auch heute noch möglich, den historischen Herstellungsprozess nachzuvollziehen.

4.1.1.1 Nach Theophilus um 1100

Theophilus beschränkt sich bei seiner Beschreibung auf die wesentlichen Schritte (Abb. 5a-5g).⁵³² Mit einer Glasmacherpfeife⁵³³ nimmt der Glasmacher einen sog. Glasposten aus dem Ofen. Dabei dreht er die Pfeife unentwegt, um die Glasmasse nicht zu verlieren, und

519 CHOPINET 2019, 1,5.

520 MATHESIUS 1562, 276v erwähnt Pfeifen aus Eisen und Messing.

521 WEDEPOHL 2003b, 51 f.; STROBL 1990, 55. Zu Pfeifen im 19. Jahrhundert siehe STEIN 1862, 122.

522 Theophilus in BREPOHL 2013, 145–165.

523 Ebd. Zur Zuschreibung siehe Einleitungskapitel weiter oben. Lange Zeit war die *Schedula* unbekannt, bis Gotthold Ephraim Lessing 1774 eine Abschrift in der Bibliothek zu Wolfenbüttel entdeckte und veröffentlichte. Vgl. DINES 2014. Ins Deutsche übersetzt wurde der Text erst hundert Jahre später von Albert Ilg, so dass Theophilus' Beschreibung des Zylinderblasverfahrens den deutschen Glasmachern vorher nicht bekannt gewesen sein dürfte, obwohl sie die Grundtechnik da bereits seit Jahrhunderten angewendet hatten.

524 KRÜNITZ 1779, 21788, 619 f. Die relevante Textstelle ist in voller Länge im Anhang abgedruckt.

525 DINES 2014.

526 BECKMANN 1787, 335, 336.

527 JUNKER 1795, 173.

528 GILLY 1818, 296–299.

529 TABOR 1818, 156–189.

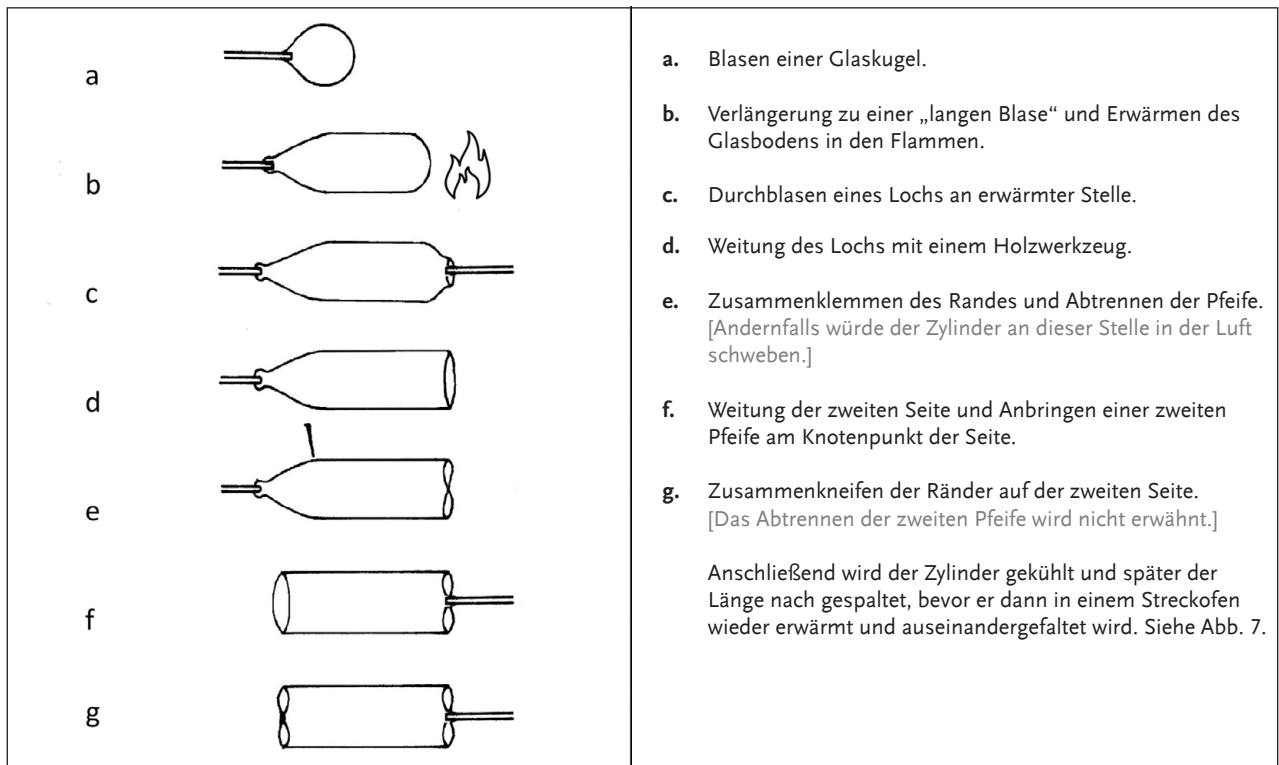
530 LENG 1854, 271–297; STEIN 1862, 148–193; BENRATH 1880, 372–409; GERNER 1897, 223–245.

531 Glashütte Lamberts.

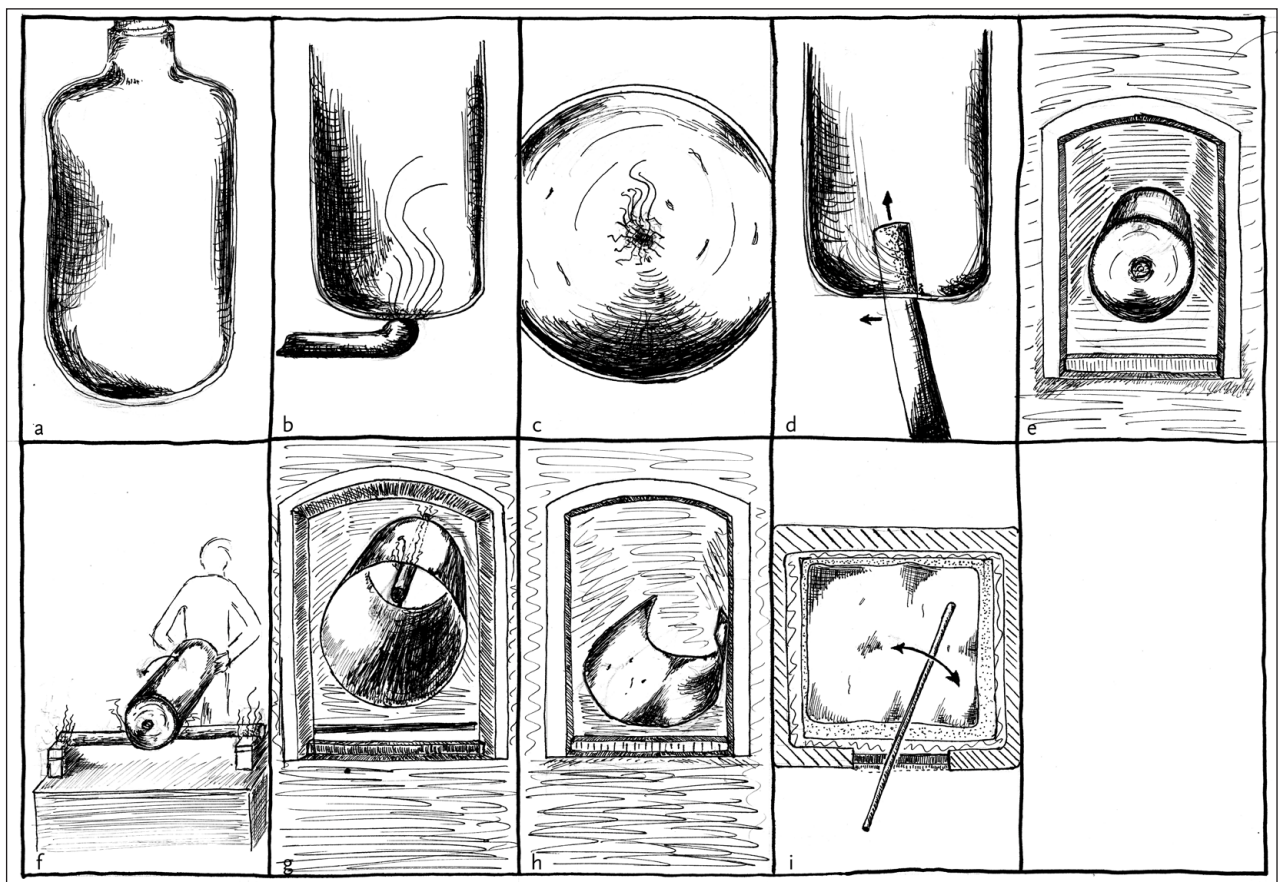
532 Theophilus in BREPOHL 2013, 148–150. Die relevanten Textstellen sind in voller Länge im Anhang abgedruckt.

533 Ebd., 148. Dies ist der erste schriftliche Hinweis auf den Gebrauch einer Glasmacherpfeife.

4 Herstellungsverfahren für Flachglas



5 Zylinderblasverfahren nach der Beschreibung von Theophilus. Unstimmigkeiten in Grau



- 6 Zylinderblasverfahren nach Krünitz, a) Aufblasen zu einem Zylinder, b) Schlagen auf den Zylinderboden mit einem eisernen Haken, c) Öffnung am Glasboden, d) Durchstoßen des Glasbodens mit einem „Bolzen“, e) Abkühlung des Zylinders im Kühllofen, f) Abtrennen des Halses, g) Erwärmung im Streckofen und Einritzen, um den Zylinder zu öffnen, h) Auseinanderfallen der Tafel durch das Eigengewicht, i) Auseinanderrollen mit einer Eisenstange

bläst dabei „mäßig“⁵³⁴ in das Rohr. Theophilus warnt davor, versehentlich heiße Luft einzuzatmen. Der Glasposten wird nun auf einem flachen Stein leicht aufgeschlagen, damit das Glas „allseitig gleichmäßig hängt“⁵³⁵. Nach weiterem Einblasen entsteht eine „lange Blase“⁵³⁶, deren Ende in die Flamme gehalten wird (Abb. 5b), um sie zu öffnen. Theophilus erklärt nicht den Grund, weshalb sich die heiße Luft im Ballon an der erwärmten Stelle einen Ausweg sucht. Das entstandene Loch wird dann, so Theophilus weiter, mit Hilfe eines Holzwerkzeugs geweitet, bis eine Art Zylinder mit einem offenen Ende entsteht (Abb. 5c, 5d). „Danach klemme den Rand zusammen, beispielsweise den oberen Bereich mit dem unteren, so daß neben der Verbindungsstelle je eine Öffnung erscheint“⁵³⁷ (Abb. 5f). Dieser Arbeitsschritt ist ungewöhnlich und wird daher in der Literatur erörtert.⁵³⁸ Der eigentliche Sinn des ZusammenknEIFens der Zylinderränder ist unklar. Auch der nächste Schritt hat zu einigen Diskussionen geführt,⁵³⁹ da Theophilus mit seiner Beschreibung direkt zum Abtrennen der Glasmacherpfeife übergeht, ohne eine Erklärung, wie der Glaskörper dabei gehalten wird. Am Knotenpunkt der zusammengedrückten Ränder wird nun eine weitere Pfeife⁵⁴⁰ befestigt (Abb. 5f), ein Schritt, der eigentlich vor dem Abtrennen der Glasmacherpfeife stattfinden sollte,⁵⁴¹ damit der Glasmacher den Glaskubus während des Abschlagens der Pfeife halten kann. Heute ist es nicht nachvollziehbar, wie Theophilus sich diesen Ablauf vorgestellt hat. Es wird vermutet, dass er keine eigene Erfahrung als Glasmacher hatte. Im weiteren Verlauf des Herstellungsprozesses werden auch die Ränder an der Seite der abgeschlagenen Pfeife geweitet und zusammengeknEIFen (Abb. 5g). Auch der Zweck dieses Vorgangs ist unklar. Verena Kaufmann nimmt an, dass „sich so der symmetrisch gefaltete Zylinder besser transportieren“⁵⁴² lässt. Die entstandenen Glaszylinder, an deren beiden Enden der Rand durch das Zusammendrücken die Form einer Acht angenommen hat, werden dann, so Theophilus, direkt in einen Kühllofen „mit mittlerer Hitze“⁵⁴³ gebracht, um herunterzukühlen.

An diesem Punkt endet Theophilus' vorläufige Beschreibung des Zylinderblasverfahrens mit den Worten: „Diese Glassorte ist rein und weiß. Auf gleiche Weise und nach gleicher Anleitung mache weitere Glaskörper, bis du die Häfen ausgeschöpft hast.“⁵⁴⁴ Es ist nicht eindeutig, welche Glasqualität sich Theophilus vorstellte. Im lateinischen Text heißt es „Hoc genus vitri purum est et album“⁵⁴⁵ Brepohl übersetzt *album* mit „weiß“,⁵⁴⁶ während es die englische Ausgabe mit „clear“, also klar, übersetzt.⁵⁴⁷

Nach diesen Schritten schiebt Theophilus zwei kleine Absätze in seinen Text ein, die mit dem Herstellungsvorgang direkt nichts zu tun haben, sondern sich

auf Maßnahmen beziehen, falls sich das Glas beim Erschmelzen safrangelb oder purpurfarben verändert haben sollte. Erst danach fährt Theophilus mit dem Arbeitsprozess zur Herstellung einer Glastafel fort und erklärt, dass die Glaskörper im Kühllofen abkühlen müssen, damit sie im erkalteten Zustand mit einem heißen Eisenwerkzeug längs gespalten werden können. Dabei wird der geöffnete Zylinder wieder erwärmt, jetzt in einem Strecklofen, und mit einer Eisenzange und einem sog. Glättholz flach auseinandergedrückt. Die entstandenen Tafeln kommen anschließend ein weiteres Mal in den Kühllofen, wo sie aufrechtstehend auf die Umgebungstemperatur herunterkühlen.

Zu Theophilus' Zeiten waren Tafeln bis zu einem Maß von 30 x 30 cm möglich.⁵⁴⁸ Die Ränder waren leicht verschmolzen und daher etwas dicker als der Rest der Glastafel.⁵⁴⁹ Üblicherweise wurden sie mit einem Kröseleisen⁵⁵⁰ in kleine Formen zerteilt und dann nach kunstvollen Vorlagen in einem Bleirutenetz zu großen Fensterflächen zusammengesetzt. Ob sie auch im Ganzen als Fensterscheibe eingesetzt wurden, noch dazu ungefärbt, ist ungewiss.

4.1.1.2 Nach Krünitz 1779

Die Beschreibung in der von Krünitz 1779 veröffentlichten *Oekonomisch-technologischen Encyclopädie*⁵⁵¹ stimmt in weiten Teilen mit der von Theophilus überein (Abb. 6a-6i).

Unter dem Lemma Glas wird die Herstellung von Tafelglas, „woraus ins besondere die Fensterscheiben verfertigt werden“,⁵⁵² näher erklärt und gleich

534 Theophilus in BREPOHL 2013, 148.

535 Ebd.

536 Ebd., 149.

537 Ebd.

538 Ebd., 197; KAUFMANN 2010, 129, 132-134; STROBL 1990, 56 f.

539 BREPOHL 2013, 197; KAUFMANN 2010, 129; 132-134; STROBL 1990, 56 f.

540 Theophilus erwähnt eine Pfeife, also ein Rohr, und keine Eisenstange bzw. Heftisen.

541 Ebd., 57.

542 KAUFMANN 2010, 132 f.

543 Theophilus in BREPOHL 2013, 149.

544 Theophilus in BREPOHL 2013, 149.

545 Ebd.

546 BREPOHL 2013, 189.

547 DODWELL 1986, 41. Dieses Thema wird noch einmal in Kapitel Farblosigkeit und Transparenz aufgegriffen.

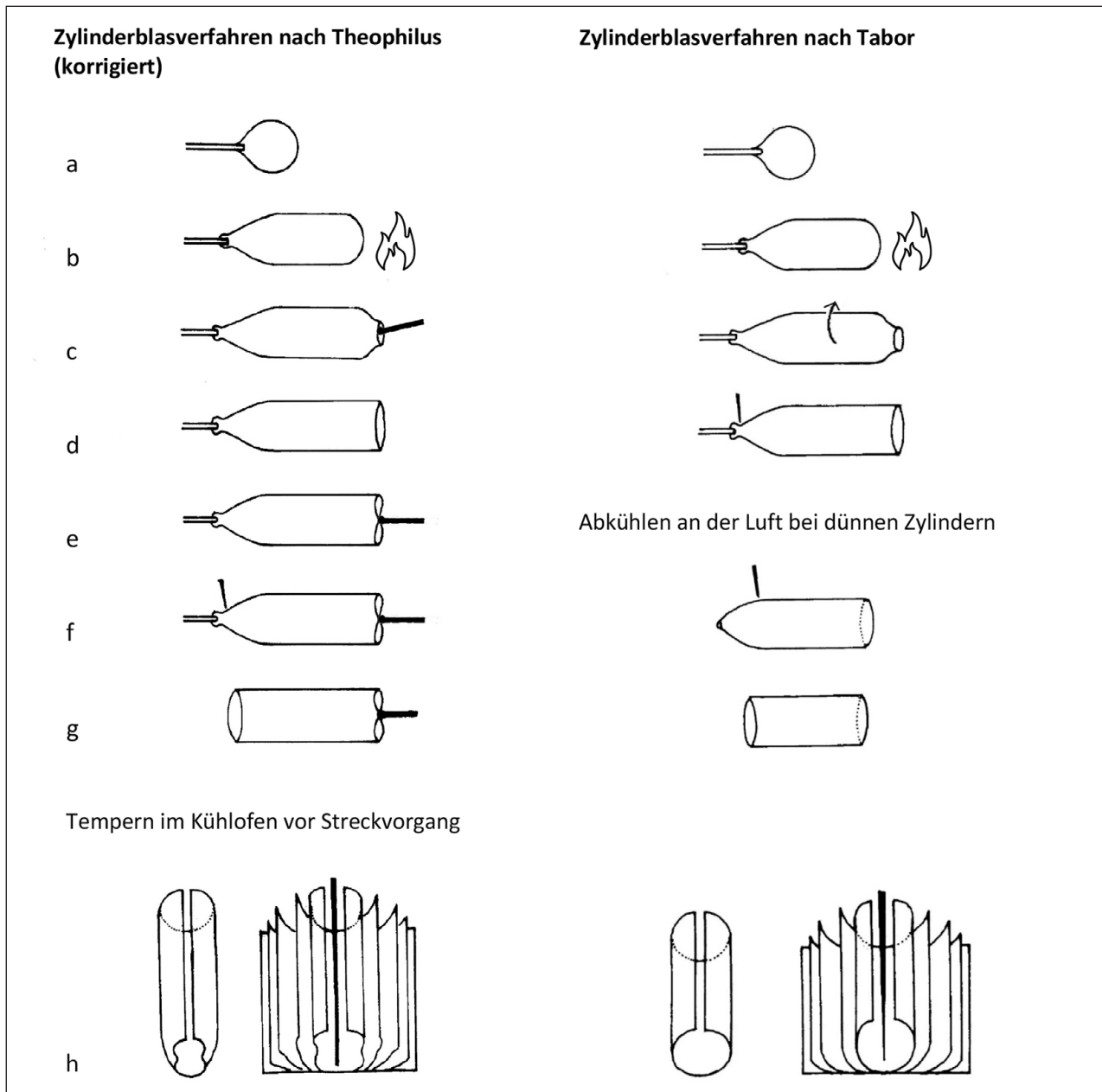
548 BREPOHL 2013, 196.

549 KAUFMANN 2010, 337.

550 Theophilus in BREPOHL 2013, 163.

551 KRÜNITZ 1779, 21788, 619 f.

552 Ebd., 619.



7 Schematischer Vergleich der Zylinderblasverfahren nach Theophilus, links wie es gedacht sein könnte (dabei mit geänderter Reihenfolge und ohne das Zusammendrücken der zweiten Seite), rechts nach Tabor

vorweggenommen, dass es auf den ersten Blick vielleicht erstaunlich anmuten könne, eine Tafel aus einem Zylinder herzustellen. Der als „Düte“⁵⁵³ bezeichnete Zylinder entstehe aus einer Glasblase durch Schwingen. Die Rundung am gegenüberliegenden Ende der Pfeife wird „Boden“⁵⁵⁴ genannt. Um diesen zu öffnen, wird ein etwas anderer Vorgang als bei Theophilus beschrieben (Abb. 6b-6c). Der Gehilfe des Glasmachers „steckt einen eisernen Haken in das Wasser, und berührt die Düte an demjenigen Orte, wo die Wölbung des Bodens anfängt, bloß in einem einzigen Punkte. Er schlägt gegen die Mitte des Bodens, und dieser rändelt sich an demjenigen Orte ab, wo der Handlanger die

*Düte in einem Punkte mit dem nassen Eisen berührt hat.*⁵⁵⁵

Eigentlich kann das Schlagen gegen die Bodenmitte mit einem nassen Eisen nur zum Erfolg führen, wenn die Stelle vorher erweicht wurde, was jedoch nicht ausdrücklich erwähnt wird. Vermutlich war daher kein regelrechtes Einschlagen, sondern vielmehr ein behutsames Nachhelfen gemeint. Oft reichte es, die

553 KRÜNITZ 11779, 21788, 619 f. Den Begriff übernimmt GILLY 1818, 296; BECKMANN 1787, 335 und JUNKER 1795, 173 als „Tüte“.

554 KRÜNITZ 11779, 21788, 619 f.

555 Ebd.

Glasmacherpfeife mit dem Daumen zu verschließen, damit sich die in der Glasblase befindliche heiße Luft ausdehnte und an der weichsten Stelle einen Weg nach außen bahnte. Dann konnte die Öffnung mit einem Stab gedehnt werden. Die andere Methode, den Boden mit etwas zusätzlichem heißen Glas zu erwärmen, war vor allem bei dickwandigen Zylindern üblich.⁵⁵⁶ Bei Krünitz fehlt es an dieser Stelle an Genauigkeit. Auch das Abtrennen der Pfeife wird nicht ausdrücklich erwähnt. Die noch nicht gesprengten Zylinder kommen dann, wie es auch Theophilus beschrieb, vor dem Auftrennen und Strecken in einen Kühllofen (Abb. 6e). Die nachfolgenden Schritte sind ungewöhnlich, denn die getemperten Zylinder werden auf einer Stange gewalzt, um den verbleibenden Hals an der Seite der abgetrennten Pfeife zu entfernen (Abb. 6f). Dass dies „wie bey dem Boden“⁵⁵⁷ erfolgen soll, ist unverständlich. Danach wird der Zylinder im Strecklofen etwas erwärmt und mit einem nassen Eisen eingeritzt, damit der Zylinder sich öffnet (Abb. 6g). Durch die eigene Schwere breitet sich nun der Zylinder zu einer flachen Tafel aus, die „mit einer dünnen eisernen Stange noch etwas gerade schlagen wird“⁵⁵⁸ (Abb. 6h, 6i).

4.1.1.3 Nach Tabor 1818

Die ausführlichste Beschreibung des Herstellungsprozesses erscheint 1818 in Carl Wigand Tabors⁵⁵⁹ umfangreichem zweibändigen Werk *Versuch einer ausführlichen Anleitung zur Glasmacherkunst für Glashüttenbesitzer und Cameralisten*⁵⁶⁰. Im zweiten Band geht er auf die verschiedenen Methoden zur Herstellung von Flachglas ein, wie er sie gegen Ende des 18. Jahrhunderts als Hüttenverwalter und späterer Gutachter der kurmainzischen Glashütten aus erster Hand kennengelernt hatte.⁵⁶¹ Als Augenzeugenberichte sind Tabors detaillierte Beschreibungen daher von unschätzbarem Wert. Allein sein Kapitel zur *Tafelglasmacherey* umfasst 35 Seiten.⁵⁶² Trotz einer Zeitspanne von 700 Jahren, die zwischen Tabor und Theophilus liegen, hat sich am Prinzip des Zylinderblasverfahrens nicht viel verändert, obwohl es im Detail durchaus Unterschiede gibt (Abb. 7 und Tabelle 2.1 im Anhang).

Wie bei Theophilus und Krünitz war keine besondere Arbeitsteilung bei der eigentlichen Herstellung der Zylinder erforderlich, lediglich die Unterstützung eines Gehilfen. Laut Tabor arbeitete „jeder Arbeiter für sich, also wird zur Fabrication der einzelnen Stücke auch nur ein Mann erfordert.“⁵⁶³ Allerdings war es nicht unüblich, dass in einer Glashütte mehrere Glasmacher gleichzeitig nebeneinander, jeder an einem eigenen Hafen, tätig waren.⁵⁶⁴ Außerdem halfen Schürer und

Strecker für einen reibungslosen Arbeitsablauf. Dies entspricht nicht ganz der Überlieferung aus der *Hittenordnung* von 1661⁵⁶⁵, in der als Personal Anfänger, Aufbläser, Fertigmacher und Strecker erwähnt werden.⁵⁶⁶

Aufnehmen der flüssigen Glasmasse

Tabor beginnt mit der allgemeinen Anmerkung, dass die Glasmacherpfeife zunächst erwärmt werden muss, bevor sie vorsichtig in die flüssige Glasmenge im sog. Hafen zur Aufnahme eines Glaspostens⁵⁶⁷ getaucht wird, da sonst kein Glas hängen bleibt. Diesen wichtigen Handgriff überspringt Theophilus. Beim Herausnehmen lässt der Glasmacher den Glasposten dann etwas abkühlen, bis das Glas nicht mehr herunterfließt. Dabei kann die Glasmacherpfeife zur Entlastung auf einem Pfeifenlager oder auf einer Gabel gedreht werden. Theophilus erwähnt keine solche Ablage, die bei einer geringen Glasmenge vielleicht entbehrlich war. Dafür fehlt bei Tabor das Verdichten des Kölbels auf einer Steinplatte, wie Theophilus es beschrieben hatte. Tabor kennt zwar eine solche flache Platte, auch Marbel genannt, als wichtiges Hilfsmittel des Glasmachers,⁵⁶⁸ nennt sie allerdings nur im Zusammenhang mit der Mondglasherstellung,⁵⁶⁹ nicht aber mit dem Zylinderblasverfahren.⁵⁷⁰ Möglicherweise war ihm dieser Arbeitsschritt zu selbstverständlich, um ihn zu erwähnen.

Zu diesem frühen Zeitpunkt ist die Glaskugel noch massiv. Ein Einblasen des Glasmachers hat daher lediglich die Funktion, die Glasmacherpfeife unten offenzuhalten.

556 TABOR 1818, 177, 179.

557 KRÜNITZ 11779, 21788, 619 f.

558 Ebd.

559 Das Werk wurde zunächst anonym veröffentlicht. Loibl hat die Autorenschaft zugeordnet. LOIBL 1996b, 16.

560 TABOR 1818, 173–189 beschreibt das Zylinderblasverfahren Jahrzehnte vor der deutschen Übersetzung der *Schedula* durch Albert Ilg im Jahr 1874.

561 LOIBL 2012a, 23 bezeichnet Tabor als „exzellenten“ Kenner.

562 TABOR 1818, 156–191.

563 Ebd., 167.

564 Ebd.

565 LOIBL 2013, 331.

566 Ebd. Die Arbeitsteilung findet sich auch bei der Mondglasherstellung, siehe Kapitel weiter unten.

567 FROMMER / KOTTMANN 2004, 81 nennen das wiederholte Aufnehmen der Glasmasse Nachfassen.

568 TABOR 1818, 79, 82. Die Platte kann aus Gusseisen, Kupfer oder Marmor bestehen. Vgl. LOIBL 2012b, 471.

569 TABOR 1818, 79.

570 Siehe dazu LOIBL 2012b, 505. Es ist auffallend, dass auch bei Leng und Stein beim Zylinderblasverfahren kein Anpressen beschrieben wird. BENRATH 1880, 377 setzt den Marbel mit einem Wallholz gleich.

„Während dessen wird auch ein wenig in das Rohr geblasen, damit eine kleine Hohlung [sic] entsteht, und das Ende des Rohrs sich nicht verstopft, dieses Blasen wird zu dem nämlichen Zweck bey den folgenden Glas-aufnahmen wiederholt.“⁵⁷¹

Theophilus erwähnt nicht, wie oft die Glaspfeife zur Aufnahme von neuem Glas in den Hafen gehalten wird. Bei Tabor erfolgt dies mindestens dreimal, kann aber auch bis zu sechsmal stattfinden, je nachdem wie groß der Zylinder ausfallen soll.⁵⁷² Bei jeder Aufnahme achtet der Glasmacher darauf, dass die Glasmasse am Pfeifenkopf gleichmäßig verteilt ist und rundet sie entsprechend mit einem „Platteisen“⁵⁷³ ab. Dabei handelt es sich um eine Eisenstange mit einem abgeflachten Ende, das alternativ auch ein nasses, flaches Stück Holz sein kann. Es wird an den Glasposten gehalten, während sich die Pfeife permanent dreht. Tabor empfiehlt, diesen Vorgang bei jeder weiteren Glasaufnahme zu wiederholen.⁵⁷⁴

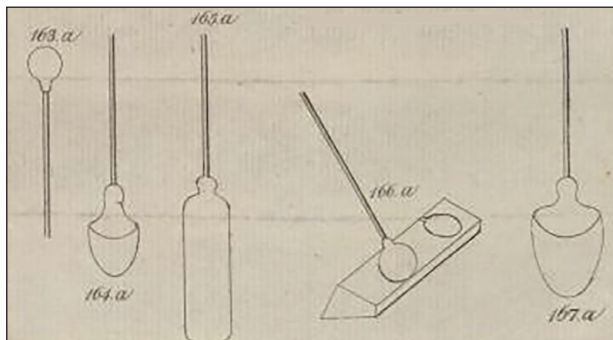
Schränkung

Am Pfeifenkopf sammelt sich vermehrt Glas an und bildet einen Hals, den der Glasmacher formt. Er „schiebt [...] das am Kopf zu dick sitzende Glas nach vorn und es entstehet eine kleine Vertiefung, welche den Ort bezeichnet, wo in der Folge das Glas von der Pfeife abgeschlagen werden soll“.⁵⁷⁵ Bei der letzten Glasaufnahme wird mit der Kante des Platteisens an dieser Stelle eine Einkerbung erzeugt. Der ganze Vorgang wird auch als „Schränkung“ oder aber als das „Glas schneiden“ oder „abteilen“ bezeichnet.⁵⁷⁶ Gleichzeitig entsteht durch Einblasen im Glas „eine Hohlung [sic]“⁵⁷⁷.

Abrundung mit dem Wallholz

Danach wird der Glasposten in die Vertiefung einer Holzplatte, ein mit Wasser gekühltes „Wallholz“⁵⁷⁸, geblasen, um seine Form zu kontrollieren. Während dieses Vorgangs kühlt der untere Teil in der Kuhle ab, der dadurch nicht mehr dehnbar ist (Abb. 8, Fig. 166a).

„Der Arbeiter befestiget es [das Wallholz, Anm. d. Verf.] in eine sichere Lage vor sich auf die Erde, giebt seiner Oberfläche eine etwas geneigte Lage, so daß die an den Rand der halbkugelförmigen Höhlung angebrachte kleine Vertiefung oben ist, und er an dieser Seite stehet. Der Gehülfe schüttet etwas Wasser in die Höhlung, und der Arbeiter legt die Glasmasse in die Höhlung, dreht die Pfeife die er beynahe senkrecht hält, beständig um, [...] wodurch sie gehörig rund wird.“⁵⁷⁹



8 Zylinderblasverfahren. Verschiedene Stadien nach TABOR 1818, Fig. 166a bildet ein Wallholz mit Höhlung zum Anpassen der Glaskugel ab; Fig. 164a zeigt das Stadium, in dem der Glasposten bereits die Form eines verkürzten Kegels angenommen hat

Durchbrechen der Glasmasse

Wenn der Arbeiter jetzt stark in die Glasmacherpfeife bläst, wird der Glasballon oberhalb des Wallholzes „durchbrochen“⁵⁸⁰ und es entsteht eine bauchige Hohlform in der Nähe des noch warmen Pfeifenkopfs. Das Glas wird auf die Weite des späteren Zylinders geblasen und nimmt die Form eines abgekürzten Kegels oder einer Flasche an (Abb. 8 Fig. 164a, Abb. 9 Fig. 53).

„Es entstehet daher dicht vor dem Pfeifenkopfe eine kugelförmige Höhlung die so weit geblasen werden muß, als der zu machende Cylinder weit werden soll, und deren oberer Theil die erforderliche Stärke in Glas hat, an deren unterem Theil aber die übrige Glasmasse hängt. Wenn nun der Arbeiter die Pfeife ein wenig nach sich in die Höhe zieht, so verlängert sich der obere Theil der Kugel in eine flaschenhalsförmige Gestalt, und der Hals des Cylinders bildet sich [...]“⁵⁸¹

571 TABOR 1818, 174.

572 Ebd.

573 Ebd.

574 Ebd.

575 Ebd., 174 f.

576 TABOR 1818, 174 f.

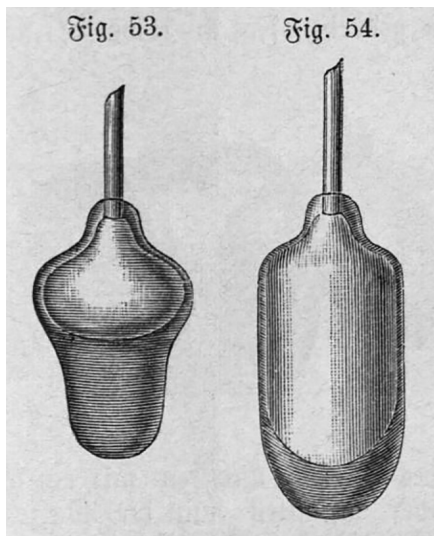
577 Ebd., 175.

578 Fachbegriff der Glasmacher für ein vierkantiges Buchenholz mit zwei unterschiedlich großen Vertiefungen zum Abrunden des Glaspostens, ebd., 82.

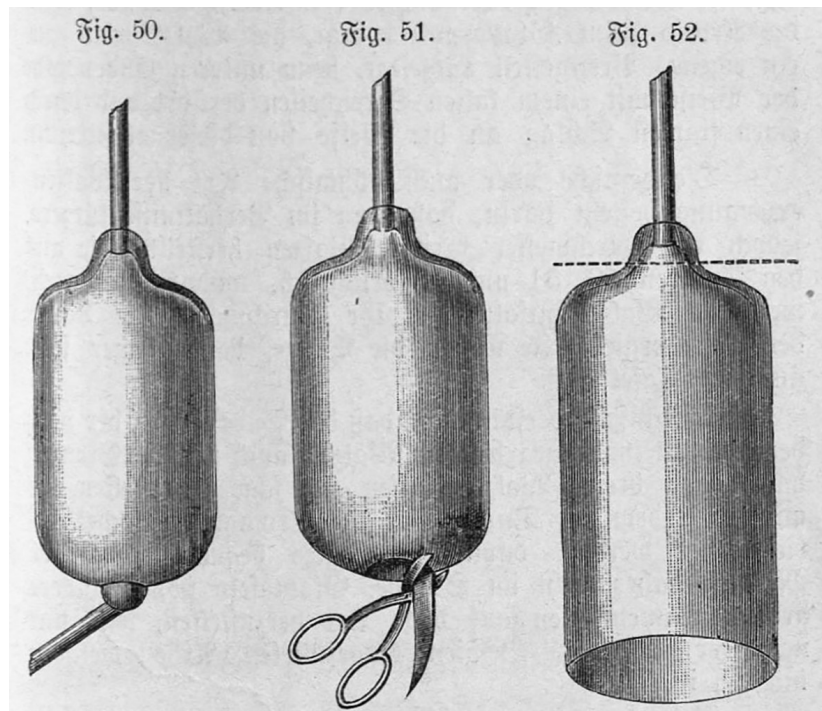
579 Ebd., 176.

580 Ebd.

581 Ebd.



9 Zylinderblasverfahren, Fig. 53: Durchbrechen des Glasballons in Form eines verkürzten Kegels, um auf die Weite des Zylinders zu kommen; Fig. 54: Verlängerung zu einem Zylinder



10 Zylinderblasverfahren, Fig. 50: Öffnen eines dickwandigen Zylinders durch Anbringen einer kleinen Menge Glas; Fig. 51: Begradigen des entstandenen Lochs mit einer Schere; Fig. 52: geweiteter Zylinder

Verlängerung der Glasblase

Nach einem weiteren Erwärmen im Ofen wird die Pfeife bei gleichzeitiger Rotation senkrecht in einer Art Grube⁵⁸² geschwenkt, wodurch sich der Glasposten „wegen des Schwingens blos nach der Länge, nicht aber nach den Seiten“⁵⁸³ streckt. Der Glasmacher kann dabei erhöht auf einem Podest, der sogenannte Kanzel, stehen. Am Ende entsteht ein Halbzylinder oder, in den Worten von Tabor, „ein hohler Zylinder, der oben einen Hals und unten aber eine Halbkugel hat.“⁵⁸⁴

Öffnen der Glasblase

Das Öffnen der Glasblase erfolgt bei Tabor, wie schon 700 Jahre zuvor bei Theophilus beschrieben, durch das Einblasen von Luft, die sich an der dünnsten bzw. weichsten Stelle in der Mitte der Halbkugel ein Loch bohren kann.

„Dieses geschieht folgendermaßen: Sobald der Cylinder seine gehörige Länge hat, und die Halbkugel in ihrer Mitte nur noch etwas weniger dicker in Glas ist als der Cylinder, so bläset der Arbeiter stark in das Rohr, verschließt das Mundstück [sic] der Pfeife anfänglich mit der Zunge, hernach aber mit dem Daumen, doch daß die eingeblasene Luft nicht herausfährt, bringt den vordern Theil des Cylinders oder seine Halbkugel in den Ofen, und läßt sie heiß werden, so dehnt sich die eingeschlossene Luft gewaltsam aus, das Glas

weicht nur da, wo es am flüssigsten ist, das ist in der Mitte der Halbkugel, die der Ofenhitze fast allein ausgesetzt war, und so entsteht ein Loch in dieser Gegend.“⁵⁸⁵

Hervorzuheben ist hier Tabors klare Unterscheidung zwischen der Herstellung dünnwandiger Zylinder für Fensterglas und dickwandiger Zylinder für Spiegel. Zum Öffnen einer dickwandigen Blase schafft es die heiße Luft nicht von selbst, die Glaswand zu durchbohren. Es ist daher nötig, in der Mitte der Halbkugel die Stelle mit einer zusätzlichen, heißen Glasmasse zu erweichen. Erst dann kann sich die eingeblasene heiße Luft einen Weg nach draußen bahnen. Durch das Aufbringen einer zusätzlichen Glasmasse entstehen am Rand der Öffnung jedoch Unebenheiten. „Das angesetzte Glas kann nicht so gleichförmig und gleich dick vertheilt werden, daß die entstandene Oeffnung schön rund, und der Rand ganz gleich werden könnte.“⁵⁸⁶ Daher werden hier Unebenheiten mit einer Schere weggeschnitten⁵⁸⁷ und ausgeglichen (Abb. 10 Fig. 51). Der Rand wird umgebogen

582 TABOR 1818, 176 beschreibt die Grube als „Raum, der sich zwischen zwey Ständen befindet“. LENG 1854, 271 erwähnt einen Kanzelsteiger, was auf eine erhöhte Plattform hinweist. Dort ist auf S. 286 die Rede von einer Tafelschwenkgrube.

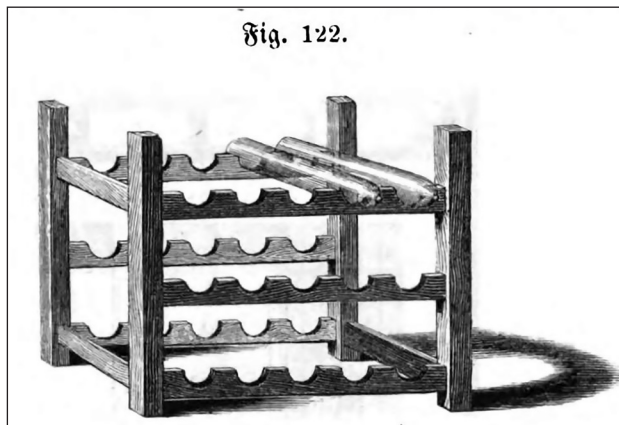
583 TABOR 1818, 176.

584 Ebd., 177.

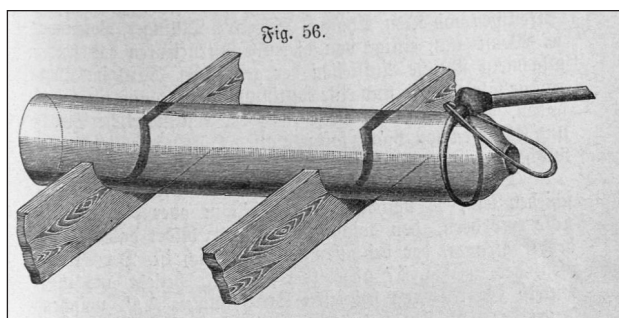
585 Ebd.

586 TABOR 1818, 179.

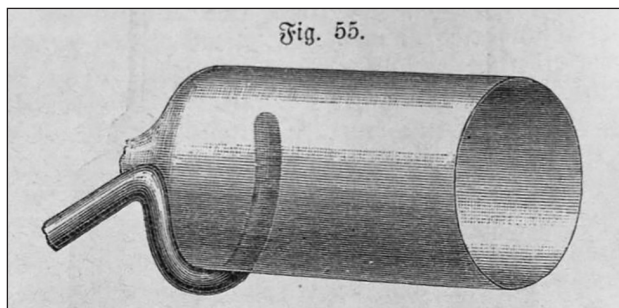
587 Erweichtes Glas kann mit einer kalten Schere geschnitten werden, da es nur an glühendem, nicht an kaltem Eisen haftet. Siehe KURZMANN 2004, 190.



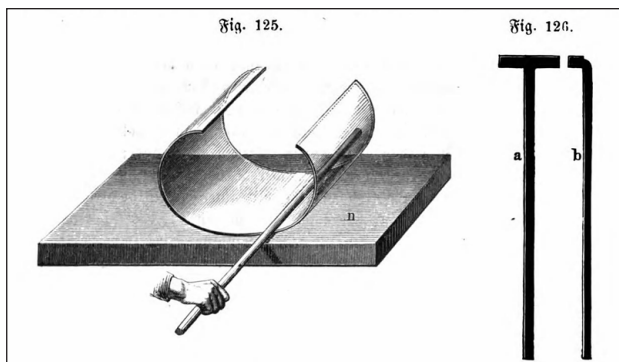
11 Gestell zum Abkühlen der Zylinder vor dem Streckverfahren, Schaff genannt



12 Rheinisches Zylinderblasverfahren, zum Abtrennen der Kappe genügt bei schmalen Zylindern ein Faden



13 Böhmisches Zylinderblasverfahren. Wegen des großen Zylinderumfangs, ist zum Abtrennen der Kappe (Pfeifenende) ein Rundstab erforderlich



14 Streckvorgang beim Zylinderblasverfahren. Zunächst Auseinanderfalten des gesprengten und erwärmten Zylinders mit einem Rundeisen (Fig. 125), danach Glattbügeln mit einem nassen Holzwerkzeug (Fig. 126)

und mithilfe der Schere oder eines Abschlageisens auseinandergedrückt, während sich die Pfeife schnell dreht.⁵⁸⁸ All diese Maßnahmen sind bei der Herstellung von dünnen Zylindern nicht erforderlich.

Aufweitung des Zylinders

Bei den für Fensterglas üblichen dünnwandigen Zylindern weitet sich das entstandene Loch durch permanentes Drehen der Pfeife von selbst auf die Breite des Zylinders. Ein weiteres Hilfsmittel ist also nicht notwendig. „So wird sich die um das entstandene Loch befindliche Glasmasse, vermöge der Centrifugalkraft, ausdehnen und so die Weite des Cylinders bekommen.“⁵⁸⁹ Bei Theophilus wird zur Aufweitung ein Holzwerkzeug zu Hilfe genommen und die Ränder des geöffneten Zylinders, wie oben beschrieben, in einem zusätzlichen Arbeitsschritt zusammengeklemt.⁵⁹⁰

Abtrennen der Pfeife

Nachdem der Zylinder etwas erstarrt ist, legt der Glasmacher die Pfeife auf eine Gabel. Der Gehilfe schiebt einen vorher erwärmten Holzstab in den Hohlkörper, um den Zylinder zu halten, während der Glasmacher die Schrängung mit ein paar Wassertropfen beträufelt, wodurch die Pfeife abspringt.⁵⁹¹

„Ist das Glas gehörig erstarrt, so legt man die Pfeife auf die Gabel, der Gehülfe schiebt einen erwärmten hölzernen Stock in den Cylinder, der Walzenmacher läßt mit der Spitze eines Abschlageisens, oder mit dem Stiel des Platteisens einen Tropfen Wasser auf die Schrängung des Glases fallen, giebt einen nach sich gerichteten gelinden Schlag auf die Pfeife, so löset sich der Cylinder von der Pfeife los, und hängt auf dem vom Gehülfen vorgehaltenen Stock.“⁵⁹²

Diese Methode wird laut Tabor sowohl bei den dünnwandigen als auch bei den dickeren Zylindern angewandt. Übrig bleibt ein flaschenförmiger Hals, auch

588 TABOR 1818, 179.

589 Ebd., 177.

590 Es fragt sich, ob sich bei dieser Methode die Ausrichtung der Bläschen auch so verändert, wie sie bei KAUFMANN 2010, 102 beschrieben wird.

591 TABOR 1818, 177. KURZMANN 2004, 190 erklärt die physikalischen Phänomene: „Glühendes, bildsames Glas kann beim Kontakt mit kalten Körpern (Werkzeugen) oder Wasser keine inneren Spannungen aufbauen. Es besteht daher keine Gefahr, dass das Teil springt. Heißes, festgewordenes Glas baut dagegen beim Kontakt mit kalten Körpern (Werkzeugen) oder Wasser sofort starke innere Spannungen auf, die zum Springen führen. Hiervon wird z. B. beim Trennen des Gefäßhalses von der Pfeife Gebrauch gemacht.“

592 TABOR 1818, 177.

„Haube“⁵⁹³ oder „Kappe“⁵⁹⁴ genannt, der erst unmittelbar vor dem Strecken⁵⁹⁵ entfernt wird.

Abkühlen des Glaszylinders

Die Glaskuben müssen nun abkühlen. Bei dünnen Zylindern geschieht dies an der Luft auf einem hölzernen Gestell, dem „Schaff“⁵⁹⁶ (Abb. 11). „Da die Walzen von der gewöhnlichen Art sehr dünne in Glas sind, so ist es nicht nöthig, sie nach und nach abzukühlen“⁵⁹⁷. Die dickeren Zylinder müssen allerdings in einen Kühllofen gebracht werden. Ausdrücklich wiederholt Tabor:

„Es ist oben schon gesagt worden, daß das sehr dünne Walzenglas⁵⁹⁸ eben wegen seiner dünnen, nicht aber, wie Einige meynen, wegen seiner cylindrischen Form, keiner Abkühlung bedarf (denn sonst müßte dieses mit jedem cylindrisch geformten Trink- oder anderm Glase auch angehen, was gegen die Erfahrung streitet). Mit dem viel dickeren Tafelglas [Spiegelglas, Anm. d. Verf.] aber verhält es sich anders, dieses bedarf allerdings einer stufenweisen Abkühlung.“⁵⁹⁹

Auch bei Theophilus und Krünitz werden die Glaszylinder im Ofen gekühlt, was vielleicht als Hinweis verstanden werden kann, dass sie dicker sind als die von Tabor beschriebenen Glashohlkörper. Eine Abkühlung muss in jedem Fall stattfinden, ob an der Luft oder in einem Kühllofen, denn das Glas braucht eine gewisse Stabilität, bevor der Hals bzw. die Haube abgeschlagen werden kann.⁶⁰⁰

Abschlagen der Haube oder Kappe

Erst unmittelbar vor dem Streckvorgang und nach dem Entfernen der Haube wird die endgültige Zylinderform hergestellt. „Um aber einen wirklichen Cylinder darzustellen, muß zuerst der obere halsförmige Theil desselben, die Haube genannt, abgenommen werden.“⁶⁰¹ Bei Tabor, wie später auch bei Stein, zählt das Absprengen der Haube schon zum Streckvorgang.⁶⁰²

Für das Abschlagen des flaschenhalsähnlichen Teils werden bei Tabor je nach Glasdicke des Zylinders wieder zwei verschiedene Methoden beschrieben. Bei dünnen Zylindern reicht es, einen heißen Glasfaden um die Stelle zu legen, „wo der Hals oder die Haube an den Cylinder stößt“⁶⁰³, so wie es später beim rheinischen Zylinderblasverfahrens auch gehandhabt wird (Abb. 12). Bei dickwandigen Zylindern kann das Abtrennen nur mithilfe eines glühenden halbkreisförmigen Absprengseisens gelingen. Dafür wird der Zylinder in der Biegung des Eisens gedreht, bis sich dieser Bereich erweicht und die Haube bei Berührung mit etwas Feuchtigkeit oder einem Tropfen Wasser abfällt (Abb. 13).⁶⁰⁴

Auftrennen bzw. Spalten des Zylinders

Erst im nächsten Schritt wird der Zylinder an seiner Längsseite geöffnet oder „gespalten“, wie Theophilus sich ausdrückt.⁶⁰⁵ Tabor beschreibt, wie die Längsseite des Zylinders innen mit einem Eisenwerkzeug angegritzt wird.

„Das Aufsprengseisen wird hellglühend gemacht, und der Arbeiter fährt mit der scharfen Kante des Eisens auf der inwendigen Seite des Cylinders in einer geraden Linie, von einem Ende desselben bis zum andern, etliche Mal hin und her, wodurch sich das Glas auf der ganzen Länge der Linie erhitzt. Wird nun das Ende dieser Linie ein wenig angefeuchtet, so springt der Cylinder, dieser Linie folgend, von einem Ende zum andern auf.“⁶⁰⁶

Loibl weist darauf hin, dass eventuelle Fehler im Glas durch geschickte Entscheidung, wo geritzt wird, an den späteren Rand der Glastafel gebracht werden können,⁶⁰⁷ was sicherlich zur gängigen Glashüttenpraxis zählte.

Strecken im Ofen

Im geöffneten Zustand kommen die Zylinder in den Strecklofen, wo sie im vorderen Teil des Ofens erwärmt und dann mit einem Streckseisen auseinandergebügelt werden (Abb. 14).⁶⁰⁸ Sie liegen dabei auf einer Streckplatte⁶⁰⁹, die laut Tabor aus Glas besteht, aber auch aus Ton oder Gusseisen gefertigt sein konnte.⁶¹⁰ Um zu verhindern, dass die Glastafeln darauf haften bleiben,

593 Ebd., 180.

594 Bei LENG 1854, 289 und GERNER 1897, 230 wird die Haube als Kappe bezeichnet. BENRATH 1880, 377, benutzt beide Begriffe.

595 LOIBL 2012b, 503.

596 TABOR 1818, 178.

597 Ebd., 177.

598 Walzenglas ist für Tabor einfaches Fensterglas, während Tafelglas für ein dickwandiges und qualitativolles Flachglas steht. ebd., 156.

599 Ebd., 180.

600 LOIBL 2012b, 503.

601 TABOR 1818, 180.

602 Ebd.; STEIN 1862, 155.

603 TABOR 1818, 180.

604 Ebd., 181.

605 Auch Johann Mathesius spricht in seiner Predigt im Zusammenhang mit Fenstertafeln von einer „Spaltung“ des Glases. „Man kan auch mit einem heissen eysen trinck gleser zuknicken / wie die Fenstermacher jr taffel glaß spalten / wenn sie das warme glaß naß machen / das sie sich auß einander dehnen lassen / vnd gleichwol wenn man sie wider niederlesset / wein halten.“ MATHESIUS 1562, 277v.

606 TABOR 1802, 181.

607 LOIBL 2006b, 742.

608 Vgl. STEIN 1862, 155 und LENG 1854, Tafel VIII, Fig. 97.

609 Bei Tabor auch Lagertafel genannt TABOR 1818, 182.

610 Wie bei Tabor war die Streckplatte auch bei STEIN 1862, 149 aus Glas. LENG 1854, 290 erwähnt eine aus Gusseisen. Bei BENRATH 1880, 80 und GERNER 1897, 234 besteht sie aus Ton.

hilft das Einstreuen von feinem Kalkpulver, das sich auf der Streckplatte niederlegt.⁶¹¹

„Nach und nach verbindet sich der Kalk mit den im Glas enthaltenen alkalischen Salzen, und verwandelt das Glas nach und nach in das bekannte Reaumürsche Porzellan dadurch wird sie feuerbeständiger, schmilzt schwer oder gar nicht, und sie wird daher durch den Gebrauch immer besser und dauerhafter.“⁶¹²

Tempern im Kühlöfen

Die gestreckte Glastafel wird in den Kühlöfenbereich weitergeschoben, wo sie erstarrt, um dann im hinteren Teil des Ofens aufgerichtet zu werden. Hier können 20-40 Tafel zusammenkommen. Dann werden die Ofenöffnungen mit Lehm verschlossen, um dann für eine kontrollierte Luftzufuhr zu einem späteren Zeitpunkt stückweise wieder geöffnet zu werden. Durch den regulierten Kühlprozess verliert das Glas über mehrere Tage ganz behutsam seine innere Spannung. „Nach 4-5 Tagen, auch oft früher werden die Tafeln kalt seyn“⁶¹³.

Zuschnitt

Zur Zeit Tabors war mehr als die Hälfte der produzierten Glastafeln nicht genau rechtwinkelig und gerade. Zudem waren viele fehlerhaft, da sie Einschlüsse, Blasen oder große Unebenheiten aufwiesen, so dass ein Zurechtschneiden der Tafeln in der Regel notwendig wurde.⁶¹⁴ Der Zuschnitt fand meist in der Glashütte in eigenen Schneid- und Packkammern statt.⁶¹⁵ Als Werkzeug dienten „stift- oder hobelartig gefasste Diamanten“⁶¹⁶, aber auch Brechzangen und Absprengisen. Die in der Größe variierenden Tafeln wurden dann per „Schock“⁶¹⁷ verkauft.⁶¹⁸

4.1.1.4 Technische Weiterentwicklung 19. Jahrhundert

Die 1860er Jahre sahen tiefgreifende Veränderungen auf dem Gebiet der Glasherstellung nach dem Zylinderblasverfahren.⁶¹⁹ Zum einen entwickelte der Belgier Ernst Solvay das nach ihm benannte Verfahren für die künstliche und industrielle Herstellung von Soda.⁶²⁰ Zum anderen konzipierten die Brüder Friedrich und Hans Siemens einen Wannenofen, der große Glas-mengen für einen kontinuierlichen Schmelzprozess bereitstellte.⁶²¹ Außerdem erlaubte die Konstruktion eines Regenerativofens erhebliche Energieeinsparung, da sich die Schmelzdauer auf 12 Stunden und damit um fast die Hälfte reduzieren ließ.⁶²² Die Öfen konnten

darüber hinaus mit unterschiedlichen Energierohstoffen betrieben werden und boten daher eine große Flexibilität bei der Beschaffung des Energierohstoffs.

Ebenso wichtig wie die neuen Schmelzöfen war die Weiterentwicklung bei den Streck- und Kühlöfen. Die Tafeln wurden nicht mehr aufgestellt, sondern in einem kontinuierlichen Verfahren liegend weitertransportiert. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts hatten die bis dahin führenden Modelle von Kien, Chance, Schwarz, Dillinger und Poschinger ausgedient.⁶²³ Stattdessen wurde der kontinuierliche Streck- und Kühlöfen von Désiré Biévez⁶²⁴ „fast von allen Hütten adoptirt“⁶²⁵. 1867 hatte der belgische Ingenieur aus der Glashütte Mariemont in Haine-St.-Pierre ein System entwickelt, bei dem die Glasplatten auf beweglichen Steinen durch einen langen Kühlkanal geschoben wurden. Die Kühlzeit reduzierte sich weiter drastisch von dato 8 Stunden auf eine halbe Stunde.⁶²⁶ Damit war ein neuer internationaler Standard erreicht, der bis ins frühe 20. Jahrhundert Bestand hatte.⁶²⁷

4.1.1.5 Deutsches bzw. böhmisches Verfahren 2. Hälfte 19. Jahrhundert

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde bei der Herstellung von Zylinderglas zwischen dem deutschen bzw. böhmischen und dem belgischen Verfahren, auch rheinisches Verfahren genannt, unterschieden.⁶²⁸ Das böhmische, das in Mittel- und Ostdeutschland üblich war, brachte breite kurze Zylinder, das rheinische dagegen schmale hohe Zylinder hervor. Ein Unterschied

611 TABOR 1818, 183.

612 Ebd.

613 Ebd., 184.

614 Ebd., 189.

615 TABOR 1818, 166, 189.

616 Ebd., 189.

617 Ein Schock ist eine Verpackungseinheit für unterschiedlich große Tafeln. TABOR 1818, 190. Siehe auch Kapitel Format und Glasdicke weiter unten.

618 TABOR 1818, 189.

619 Die Butzenscheiben- wie die Mondglasherstellung galten seit Mitte des 19. Jahrhunderts als veraltet. Siehe entsprechende Kapitel weiter unten. Die Ziehverfahren kamen erst in den 1920er Jahren auf.

620 Siehe Kapitel weiter oben.

621 SCHAEFFER / LANGFELD 2014, 11.

622 LAUFER 1994, 44.

623 GERNER 1897, 232, VOLKOV 2021, 655.

624 Ebd.

625 GERNER 1897, 232.

626 VOLKOV 2021, 655.

627 Ebd.

628 SPOERER et al. 1988, 64; STEIN 1862, 152–157.

bestand bereits beim Formungsprozess. Der böhmische Glasmacher blies in die Pfeife, indem er sie „auf eine sehr beschwerliche Art“⁶²⁹ senkrecht nach oben hielt.⁶³⁰ Für das Abtrennen der Kappe verwendete er aufgrund des großen Durchmessers von 45-50 cm⁶³¹, wie bereits oben im Zusammenhang mit dickwandigen Zylinder für die Spiegelglasherstellung erwähnt, einen längeren, 20-30 mm dicken, der Wölbung des Zylinders angepassten Eisenstab. Dieses Eisen wurde erhitzt und langsam über die abzusprengende Stelle gedreht, die sich dadurch erwärmte⁶³² (Abb. 13). Durch Berühren mit einem kalten Eisen oder nasskaltem Holz sprang die Kappe ab. Ein Nachteil des Verfahrens lag in einer größeren Menge an Abfall, der beim Absprengen der Kappe wegen des großen Umfangs der Zylinder anfiel.⁶³³

Bei optimalem Vorgang konnten im auseinandergebügelten Zustand Glastafeln von einer Breite von bis zu 140-160 cm und einer Höhe von maximal 120 cm erreicht werden.⁶³⁴ Leider werden keine Dicken der Glastafeln überliefert. Daher kann nicht abgeleitet werden, ob die großen Dimensionen tatsächliche Fenster-scheibenformate darstellen. Allerdings hätte dazu eine entsprechend höhere Zylinderdicke bedacht werden müssen, wie weiter unten näher erläutert wird.⁶³⁵ Man kann davon ausgehen, dass die Glastafeln in übliche Standardmaße für Fenster zerteilt wurden (Tabelle 2.4 im Anhang). Der Vorteil der Herstellungsmethode lag vor allem darin, möglichst entsprechend viele Formate aus einem Zylinder zu gewinnen.

4.1.1.6 Belgisches bzw. rheinisches Verfahren 2. Hälfte 19. Jahrhundert

Im Gegensatz zum deutschen bzw. böhmischen Verfahren entstanden mit dem aus Belgien eingeführten rheinischen Verfahren dünne, lange Zylinder. In Ausnahmefällen konnten bis zu 4 m lange Zylinder mit einem Durchmesser von 30-35 cm produziert werden. Um diese Dimensionen zu erreichen und damit sich der Zylinder entsprechend lang ausdehnen konnte, stand der Glasmacher auf einem besonders erhöhten Podest über der Schwenkgrube.⁶³⁶

„Da bei der weiteren Ausarbeitung der langgestreckten Walze das Schwenken, ein pendelartiges Schwingen der Pfeife mit dem an ihr haftenden Glase in den Vordergrund tritt, genügt die geringe Tiefe der böhmischen Schwenkgrube nicht, und ist daher das als Arbeitsbühne dienende feste Plankengerüst [...] in minime 1,5 bis 2 m Höhe über der Hüttensohle angebracht.“⁶³⁷

Daraus entstanden Glastafeln mit einer Breite von 96-110 cm und einer Höhe von üblicherweise 2-3 m,⁶³⁸

die wohl analog zum böhmischen Verfahren zerteilt wurden.

Bei den schmalen Zylindern genügte es zum Absprengen der Kappe, die entsprechende Stelle mit einem heißen Glasfaden zu erwärmen. Durch eine anschließende Berührung mit einem kalten Eisen oder einem nassen Holz fiel die Kappe ab⁶³⁹ (Abb. 12). Da die Zylinder zu schmal und zu lang waren, um sie innen mit einem Diamanten einzuritzen und zu entzweien, wurden sie „mitteltst einer langen, rothglühenden Eisenstange, welche an einer mit Sägespänen und Colophoniumpulver bestreuten Stelle inwendig hin- und hergeschoben wird, aufgesprengt.“⁶⁴⁰ Die Produktion mit den kleinen Kappen der rheinischen Methode wurden als wirtschaftlicher erachtet als die böhmischen Methode.⁶⁴¹

Über das rheinische Verfahren wird bei Ludwig Lobmeyr ferner berichtet,⁶⁴² dass ein besonderes Vorgehen zum Reinigen der Tafeln angewendet wurde. Wenn sie aus dem Kühllofen kamen, wurde dem Reinigungswasser zur Entfernung von Rauch eine „*mineralische Säure*“⁶⁴³ hinzugefügt. Sie reinigte das Glas vollständig und bewahrte es zusätzlich vor dem Erblinden. Dies kann als Versuch gewertet werden, die Qualität des Glases nachhaltig zu verbessern.

4.1.1.7 Verfahren in der Glashütte Lamberts, Waldsassen, 21. Jahrhundert

In der Glashütte Lamberts in Waldsassen in der Oberpfalz wird das Zylinderblasverfahren noch heute nach traditioneller Überlieferung angewendet.⁶⁴⁴ Anders als Tabor konstatierte, ist dort die Zusammenarbeit eines eingespielten Teams erforderlich.

629 Ebd., 152.

630 Diese Methode wurde später auch noch für die Herstellung von Glaskugeln für Lampen angewandt. Vgl. historisches Video, gesehen in der Firma Schott am 7.3.2023.

631 VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911, 83.

632 GERNER 1897, 230.

633 SPOERER et al. 1988, 64.

634 VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911, 83.

635 Siehe Kapitel Format und Glasdicke.

636 SPOERER et al. 1988, 64; genauer bei BENRATH 1880, 387.

637 BENRATH 1880, 387.

638 THIENE 1931, 1939, 797. VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911, 83 f.

639 GERNER 1897, 230.

640 Ebd., 231 f.

641 SPOERER et al. 1988, 64.

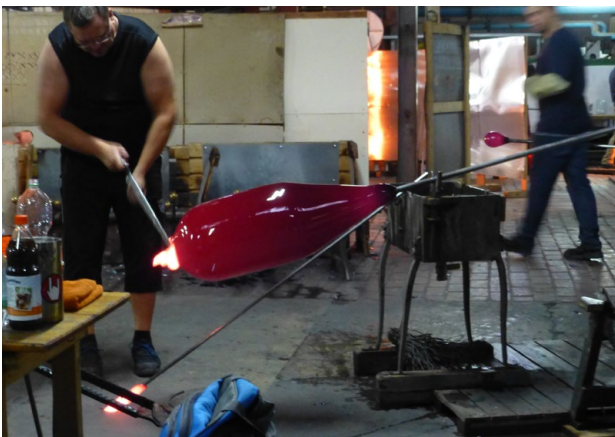
642 LOBMEYR et al. 1874, 159 f.

643 Ebd.

644 Glashütte Lamberts. Brepohl vergleicht die Technik von Theophilus mit den heute üblichen Handgriffen bei der Glashütte Lamberts in Waldsassen. BREPOHL 2013, 196–198.



15 Zylinderblasverfahren ohne Schwenkgrube in der Glashütte Lamberts. Der Glasballon wird in einer Mulde zu einem Zylinder geblasen



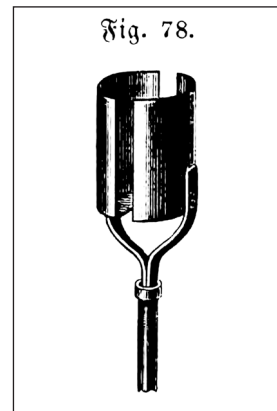
16 Zylinderblasverfahren ohne Schwenkgrube in der Glashütte Lamberts. Zum Öffnen des Zylinders wird der Boden mit etwas heißem Glas erweicht



17 Zylinderblasverfahren ohne Schwenkgrube in der Glashütte Lamberts, Weitung der Öffnung mithilfe eines Paddels zu einem Halbzylinder



18a Zylinderblasverfahren ohne Schwenkgrube in der Glashütte Lamberts. Der Gehilfe übernimmt den Zylinder mit einer Metallklammer



18b Metallklammer aus dem 19. Jahrhundert

Bei Lamberts wird beim Zylinderblasverfahren zwischen der Methode mit und ohne Schwenken in der Schwenkgrube unterschieden. Entsprechend unterscheiden sich die Glastafeln in Größe und Dicke. Ihre Produktbezeichnung lautet „Echt Antik Glas“ für Glas, das nicht geschwenkt wurde, und „Echt Antik Glas Neu“ für Glas, das mit Schwenkgrube hergestellt wurde.⁶⁴⁵

Ohne Schwenkgrube

Die anfänglichen Arbeitsschritte sind vergleichbar mit denen bei Theophilus und Tabor. Die Terminologie hat sich leicht verändert, da der Anfänger die Glasmenge „an die Pfeife dreht“⁶⁴⁶. Anstelle eines Platholzes wird die Rundung der Glaskugel mit handlichen Modellen angepasst. Später bläst der Glasmacher den

645 Freundliche Mitteilung von Michael Brückner, Technischer Berater, Glashütte Lamberts.

646 Glashütte Lamberts.



19 Zylinderblasverfahren mit Schwenkgrube in der Glashütte Lamberts. Der Glasmacher steht auf einem Podest über der Schwenkgrube



20 Zylinderblasverfahren in der Glashütte Lamberts mit Schwenkgrube. Der Boden des Zylinders wird an einem Gasbrenner (helle Flamme rechts im Bild) erweicht

immer größer werdenden, länglichen Ballon in eine entsprechend flache, halbrunde Mulde⁶⁴⁷ (Abb. 15). Zum Öffnen des inzwischen länglichen Glasballons bringt der Gehilfe mit einem Hefteisen etwas heißes Glas an die Mitte der unteren Rundung (Abb. 16). Die Stelle erweicht und kann durchstoßen werden. Das Ansetzen von etwas zusätzlichem Glas ist oben bereits im Zusammenhang mit der Herstellung von dicken Zylindern für Spiegel erwähnt worden.⁶⁴⁸ Auch bei Krünitz wurde ein ähnlicher Arbeitsschritt angedeutet.⁶⁴⁹ Der Assistent des Glasmachers schneidet den Rand der Öffnung gerade und weitet den Zylinder mit einem Stab oder Paddel (Abb. 17). Veränderungen an der Oberfläche der flachen Mulde und des Paddels beeinflussen die Struktur auf dem Glas, wodurch ein feiner Hobeffect erzielt werden kann. Sobald der entstandene Halbzyylinder etwas erkaltet ist, wird er von einer Metallklammer, die bereits 1862 beschrieben wurde, gehalten (Abb. 18) und die Pfeife abgeschlagen und dann an dieser Seite der Rand begradigt. Die Klammer wird entfernt und der Zylinder zum Abkühlen zur Seite gestellt. Zum Aufsprengen wird der Zylinder, wie auch bei Tabor und dem böhmischen Verfahren üblich, von innen eingeritzt und mit ein paar Wassertropfen gesprengt. Danach erfolgt der Streckvorgang im Streckofen, wo sich der gesprengte Zylinder erwärmt und langsam auseinanderfällt. Der Streckler hilft mit einem nassen Holzwerkzeug nach. Dabei wirkt der bei diesem Vorgang entstehende Wasserdampf wie ein Gleitmittel und verhindert dadurch weitgehend Kratzspuren auf der Glasoberfläche. Die nun flache Tafel wird auf beweglichen Bändern im Kühllofen weitertransportiert, bis sie auf Umgebungstemperatur heruntergekühlt ist.

Nach der Methode ohne Einsatz einer Schwenkgrube entstehen Glastafeln von 60 x 90 cm und einer Glasdicke von 2-3 mm. Ihre Oberflächenstruktur

variiert zwischen bewegter und stark bewegter Oberfläche, unabhängig von der inneren Glasstruktur, die bereits vorher durch den Schmelzvorgang bestimmt worden war, und in verschiedenen Bläschenstufungen von blank, schwach bis schaumig auftritt.⁶⁵⁰

Mit Schwenkgrube

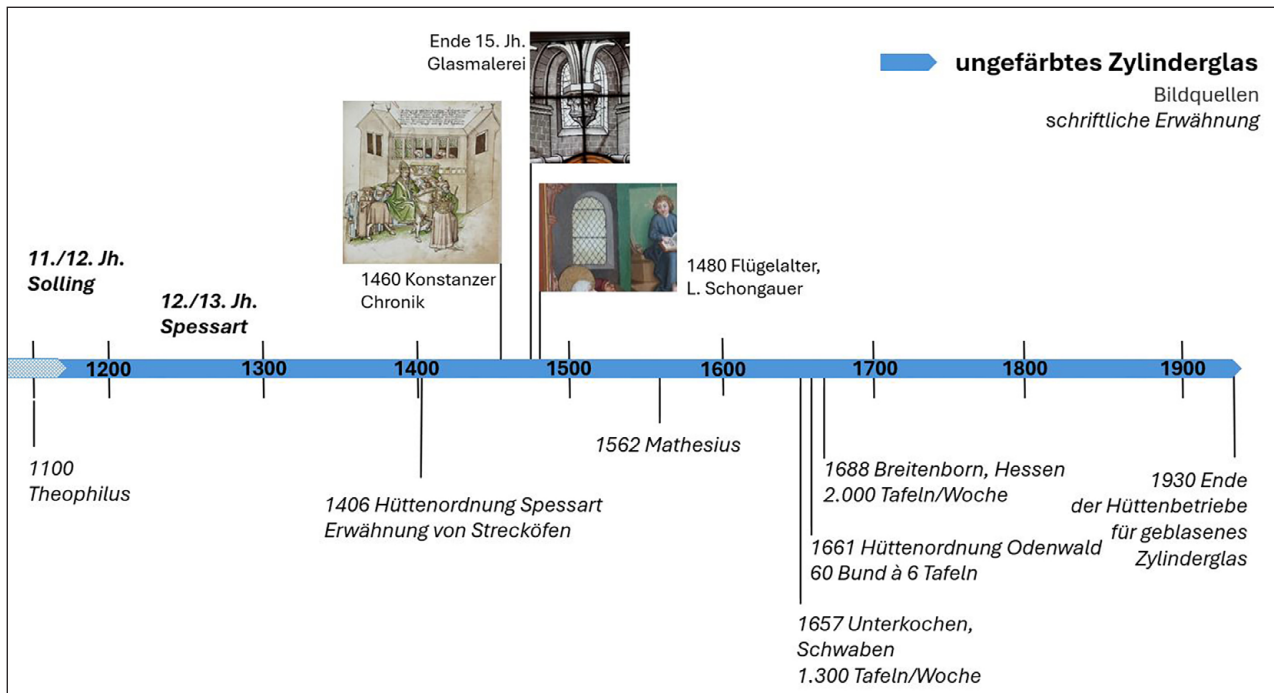
Im Unterschied zu der gerade erwähnten Methode muss der Anfänger erheblich mehr Glas aufnehmen, da längere Zylinder entstehen. Die anfänglichen Arbeitsschritte ähneln sich bis zu dem Punkt, wo sich der Zylinder durch das Eigengewicht in einer tiefen Schwenkgrube weiter bis zur gewünschten Länge ausdehnen kann (Abb. 19). Es entsteht ein langer und gleichzeitig dünner Zylinder, dessen untere Rundung leicht geöffnet wird, indem sie mit einer kleinen Gasflamme erhitzt wird (Abb. 20). Die heiße Luft im Zylinder entweicht mit einem hörbaren Plopp durch ein Loch. Durch gleichzeitiges Erwärmen und Rotieren weitet sich der geöffnete Zylinder nun fast von selbst. Auf einer hölzernen Ablage liegend kann in einem nächsten Schritt die Pfeife vom Zylinder abgetrennt werden. Danach kühlt der Zylinder an der Luft ab, bevor er eingeritzt und gesprengt wird. Der nachfolgende Streckvorgang entspricht dem bei der Herstellung ohne Schwenkgrube.

647 Die Form hat Noppen, mit denen eine zusätzliche Kreuzschraffur erzielt werden kann. Ist dies unerwünscht, wird die Form mit einer nassen Pappe ausgekleidet.

648 Tabor hielt es bei dünnem Fensterglas nicht für notwendig, zusätzliches Glas aufzubringen.

649 Siehe oben.

650 Glashütte Lamberts.



B Eckpunkte zum Einsatz von Zylinderglas (Zusammenstellung A. Schmölder)

4.1.1.8 Glasqualität

Die Glasqualität des Zylinderblasverfahrens lässt sich nicht verallgemeinern, da das Verfahren über Jahrhunderte angewandt wurde. Sie ist auch nicht in erster Linie von der Herstellungsweise abhängig, sondern vielmehr von der Zusammensetzung des Glasgemenges, das je nach örtlichen Gegebenheiten und Verfügbarkeit der Rohstoffe variieren kann. Die Produkte der Glashütte Lamberts offenbaren, dass bewusst unterschiedliche Qualitäten produziert werden können.

Mit der Wahl der Rohstoffe versuchte man in der Vergangenheit, den Farbstich und die Beschaffenheit der Glasmasse wie auch die Anzahl der Bläschen und Steinchen im fertigen Glas positiv zu beeinflussen. Mit der Einführung von künstlich hergestellter Soda Mitte des 19. Jahrhunderts nivellierte sich die Glaszusammensetzung, dennoch konnten die Hütten den Qualitätsgrad ihrer Produkte weiterhin beeinflussen und den Ansprüchen ihrer Abnehmer entsprechend anpassen.

Die Beeinträchtigung durch Formungsverfahren selbst ist in manchen Fällen offensichtlich. Sie äußert sich vor allem durch starke Welligkeit in der Oberfläche, die das Glas heute als besonders lebendig erscheinen lässt. Erstaunlicherweise führt der Streckvorgang nicht zwangsläufig zu den erwarteten Kratzspuren, wie sich bei der Zylinderherstellung in der Firma Lamberts zeigt. Als typische Qualitätsminderung wird eher die Glanzeinbuße angeführt, die durch den Kontakt mit der Streckplatte herrührt. Dieses Argument wird vor

allem im Vergleich zum Mondglas vorgebracht, dessen Feuerpolitur gerne hervorgehoben wird.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gab es unterschiedliche Meinungen zur Glasqualität des rheinischen und des böhmischen Verfahrens. Die einen sahen im böhmischen Zylinderglas eine Qualität, die so gut war, dass sie für die Spiegelherstellung nach Frankreich exportiert wurde.⁶⁵¹ So sprach die Glaserinnung 1911 dem böhmischen Verfahren einen höheren Glanz und eine glattere Oberfläche zu.⁶⁵² Andere wiederum sahen in der rheinischen Methode wegen der großen Formate die begehrenswerteren und besseren Gläser. Die Glaserinnung hielt dagegen, dass diese Ansicht zwar in Glaskreisen weit verbreitet sei, aber „wohl als veraltete betrachtet werden“⁶⁵³ müsse, da sie nur auf die Maße abziele. Generell ist eine Tendenz zu einer Produktion von fehlerfreiem und dünnerem Glas erkennbar.

4.1.1.9 Geschichtliche Einordnung

Wie weit die Tradition des Zylinderblasverfahrens zur Herstellung von Fensterglas zurückreicht, kann nicht genau bestimmt werden, da archäologische Befunde unterschiedlich interpretiert werden. Donald Harden und Michail A. Bezborodov datieren das erste

651 GERNER 1897, 8 f.

652 VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911, 83.

653 Ebd.

Zylinderglas in den Beginn unserer Zeitrechnung, während Frank Wiesenberg und Marie-Hélène Chopinet das 2. Jahrhundert n. Chr. favorisieren.⁶⁵⁴ Erst ab dem 3. Jahrhundert n. Chr. scheint die Verwendung von geblasenem Fensterglas weitgehend unbestritten, obwohl die Identifikation bei Glasfragmenten oft nicht eindeutig ist.⁶⁵⁵

Laut Brepohl stand das Verfahren selbst zur Zeit von Theophilus im frühen 12. Jahrhundert noch am Anfang.⁶⁵⁶ Theophilus' Beschreibung des Zylinderblasverfahrens wird bislang hauptsächlich im Zusammenhang mit Buntglasfenstern für Sakralbauten betrachtet und nicht mit klarem Fensterglas, obwohl Theophilus gerade „weißes“ Glas als Grundlage für die Farbgläser nimmt.⁶⁵⁷ Die Herstellung farbloser Glastafeln ist durch die Erwähnung in der *Schedula* somit schriftlich belegt, noch bevor sich die Zisterzienser im 12. Jahrhundert von der bunten Fenstergestaltung abwendeten.⁶⁵⁸ Ob der Einsatz von farblosen Glastafeln in zisterziensischen Sakralbauten Einfluss auf Profanbauten hatte, erfordert weitere Forschung.

Eine der frühesten Hütten, in der das Zylinderblasverfahren nachweislich im deutschsprachigen Raum angewandt wurde, liegt im Weserbergland, im Soling.⁶⁵⁹ Dort wurde neben farbigem Glas in geringer Menge auch nahezu farbloses Flachglas archäologisch gesichert.⁶⁶⁰ Durch die Kirchenarchitektur im hohen und späten Mittelalter gewann die Herstellung von Flachglas an Bedeutung, so dass der Bedarf erheblich stieg und die Hütten deutlich mehr Flachglas als Hohlglas produzierten.⁶⁶¹ Die Nachweise für den Einsatz von gläsernen Fensterverschlüssen können erst um 1400, z. B. in Norddeutschland, erbracht werden.⁶⁶² Sie geben allerdings keine Auskunft über die Form oder die Farbigkeit bzw. Farblosigkeit des Glases.

Durch die *Bundesordnung der Glasmacher* im Spesart aus dem Jahr 1406 erhalten wir Kenntnis von der Anwendung des Zylinderblasverfahrens im frühen 15. Jahrhundert, da sie keine zwei Strecköfen in einer Hütte erlaubt.⁶⁶³ Über die Farbigkeit des Fensterglases kann wieder nur gemutmaßt werden. Auch in Böhmen war das Streckverfahren üblich. Es ist verbrieft, dass böhmische Glasmacher 1470 nach Lothringen auswanderten, wo sie das Zylinderblasverfahren einführten.⁶⁶⁴ Von dort gelangte die Technik 1568 via Antwerpen nach Stourbridge in England, nachdem sich dort einige der Glasmacherfamilien niedergelassen hatten.⁶⁶⁵

Agriola gibt 1556 keinen Hinweis auf das Zylinderblasverfahren und erwähnt auch keinen Streckofen, obwohl er sich für Öfen interessiert. Bei seinem Freund Johannes Mathesius hingegen werden Glastafeln für Fensterverglasung genannt, da man „auß taffelgläß rauten / fischupen vnd quartirfenster macht“.⁶⁶⁶

Im 17. Jahrhundert mehren sich die Hinweise, dass Glastafeln und Scheiben in beachtlichen Mengen produziert wurden. In der Zeit nach dem 30jährigen Krieg verlangte der Kurfürst von Heidelberg „günstige Flachgläser für den allgemeinen Bedarf beim Wiederaufbau des Landes“⁶⁶⁷. So wurde in der bereits erwähnten *Hiten Ordnung* im südlichen Odenwald um 1661 vertraglich festgehalten, dass ein Tafelglasmacher in Schönau am Tag 60 Bund⁶⁶⁸ à 6 Tafeln herstellen sollte.⁶⁶⁹ In diesem Fall wird der Verwendungszweck als Fensterglas erwähnt, in anderen Fällen ist ungewiss, ob die Glastafeln nicht auch der Herstellung von Spiegeln dienten, die nach demselben Verfahren, jedoch dicker, produziert wurden (Abb. B). Auch in Schwaben und in Hessen sind Wochenleistungen von 1.300 und 2.000 Tafeln schriftlich belegt.⁶⁷⁰

Tabor zufolge ist das Zylinderblasverfahren eine böhmische Erfindung, die zu seiner Zeit „schon ziemlich alt“⁶⁷¹ war und erst im Laufe des 18. Jahrhunderts „zu einem gewissen Grad der Vollkommenheit gebracht“⁶⁷² wurde.

„Die Erfindung dieser Fabrications-Art aber scheint den Deutschen anzugehören, wenigstens bekennen die Franzosen, und Engländer, sie von den Deutschen erhalten zu haben, so wie denn auch viele ihrer Kunstwärter

654 BEZBORODOV 1975, 145, der sich auf HARDEN 1959 beruft; CHOPINET 2019, 5 und WIESENBERG 2016, 49,

655 KOBLER 2003, Spalte 545, 561 bildet ein Fragment ab, das nach dem Zylinderblasverfahren hergestellt wurde und ins 3. Jahrhundert datiert; KOMP 2009, 32.

656 BREPOHL 2013, 196.

657 Vgl. ebd., 149, 189.

658 Siehe dazu FRODI-KRAFT 1965.

659 STEPHAN 2019, 74 f.

660 Ebd., 89.

661 WEDEPOHL 2003b, 3.

662 Vgl. BLOSS 1977, 9.

663 KRIMM 1982, 227. Dort im Anhang befindet sich ein Abdruck der Bundesordnung, S. 226-228.

664 ROSE-VILLEQUEY 1970, 58; GUTTERY 1956, 1 f. STEIN 1862, 148 verweist auf die in Frankreich gebräuchliche Bezeichnung „verre en façon de Bohême“.

665 GUTTERY 1956, 1 f. Bereits 1492 gingen zwei Glasmacher von Lothringen nach Venedig. Der Grund ist nicht bekannt. KOBLER 2003, 585.

666 MATHESIUS 1562, 278r-278v. Was mit „fischschupen“ gemeint ist, ist unklar.

667 LOIBL 2013, 327.

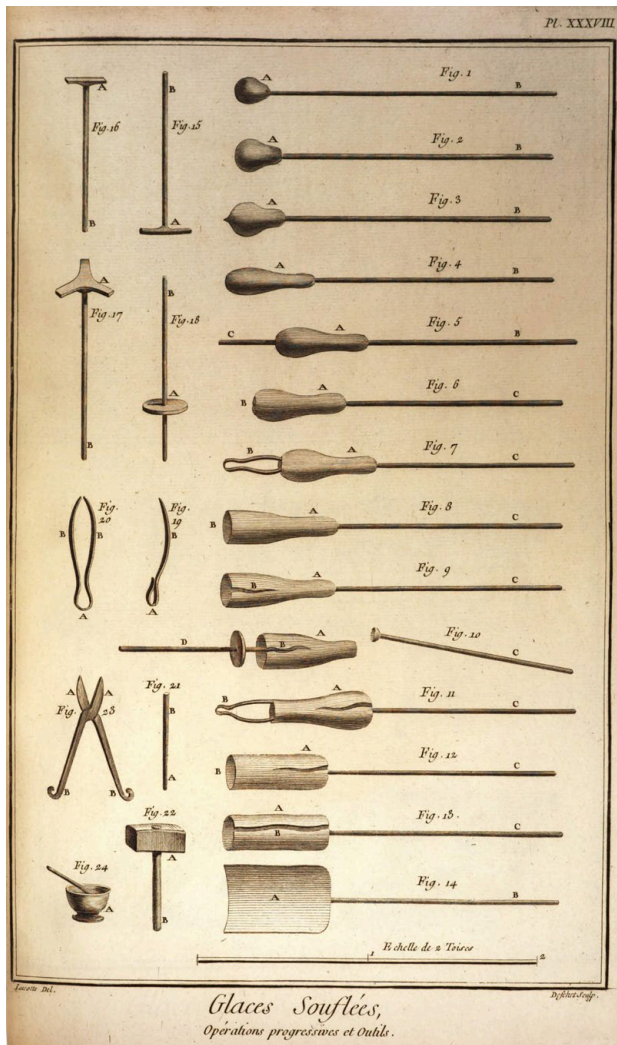
668 Ein Bund ist eine Verpackungseinheit, die sich auf Glastafeln bezieht, die im „Verbund“ auf dem Markt kamen, im Gegensatz zu Scheiben, die einzeln oder mengenweise verrechnet wurden. 1 Bund = 6 Tafeln, 60 Bund = 1 Wagen oder 1 Karre (360 Tafeln) LOIBL 2006b, 745.

669 Ders. 2013, 331.

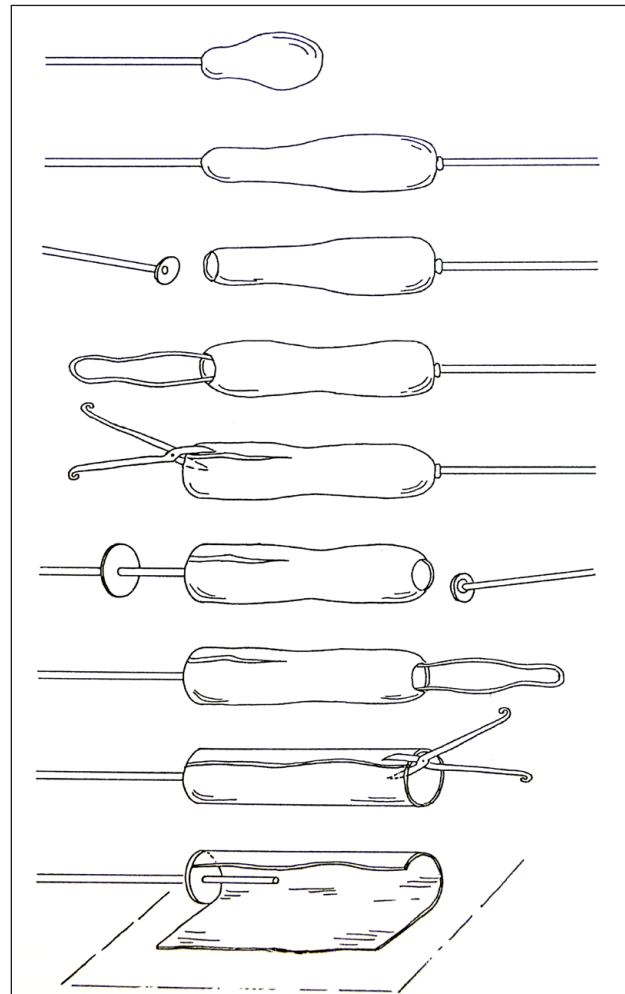
670 Ebd., 337.

671 TABOR 1818, 156 f.

672 Tabor 1818, 156 f.



21a Schema für die Herstellung von geblasenen dickwandigen Zylindern. Häufig kopierte Seite aus der Enzyklopädie von Diderot-d'Alembert 1765 zur Spiegelglasherstellung



21b Herstellung von Fensterglas bei HENKES 1994 in Anlehnung an Diderots Spiegelglasherstellung

[sic] in diesem Fach wahre, aber verstümmelte deutsche Worte sind. Unter den Deutschen scheint vorzüglich Böhmen der Ort der Erfindung, wenigstens der größeren Vervollkommnung zu seyn, und da das Land manche locale Vortheile besitzt, so verfertigen die Böhmen und angränzenden Länder diese Glasart auch um einen Preis, den man in andern Ländern nicht wohl halten kann.⁶⁷³

Im 19. Jahrhundert avancierte das Material Glas zu einem neuen Ausdrucksmittel und wichtigen Baumaterial in öffentlichen Gebäuden, ermöglicht durch die Kombination mit gusseisernen Rahmen. Eine Sensation stellte der *Crystal Palace* auf der Weltausstellung in London 1851 aus 300.000 einzelnen Glasscheiben dar, die nach dem Zylinderblasverfahren hergestellt worden waren.⁶⁷⁴ Auch das Glas für den Potsdamer Bahnhof wurde 1871 nach demselben Herstellungsverfahren in einer besonders hagelresistenten Dicke produziert.⁶⁷⁵ In der Gründerzeit stieg auch im privaten Wohnsektor

die Nachfrage nach Fensterglas, die durch das Zylinderblasverfahren gedeckt werden konnte. In einem 1874 veröffentlichten Verzeichnis mit 348 Glashütten sind 89 Tafelglas produzierende Betriebe aufgelistet, zu denen allerdings auch solche gezählt werden, die Spiegelglas herstellten.⁶⁷⁶ Bis zur Einführung neuer Techniken deckte allein das Streckverfahren den Bedarf an Fensterscheiben. 1913 produzierten noch 70 Glashütten nach dem Zylinderblasverfahren, 1929 waren es nur noch zehn⁶⁷⁷ und heute nur noch eine einzige.

673 TABOR 1818, 157.

674 SCHAEFFER 1999, 196.

675 LAUFER 1994, 55.

676 LOBMEYER et al. 1874, 245–297; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 33.

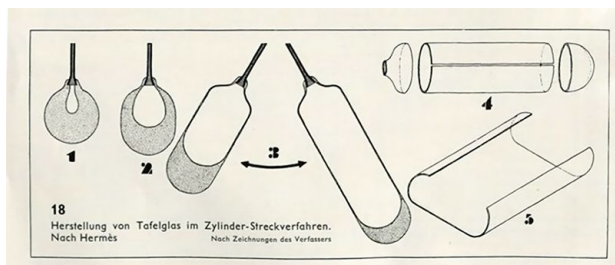
677 SPOERER et al. 1988, 121.

4.1.1.10 Resümee Zylinderblasverfahren

Die Ursprünge des Zylinderblasverfahrens liegen weit zurück und können nicht genau ermittelt werden. Die Technik an sich ist schon lange vor Theophilus archäologisch belegt, ihre Anwendung für Fensterglas wird aber meistens erst mit der Herstellung von Buntglasfenstern im sakralen Bereich in Verbindung gebracht. Ab wann das Verfahren für ungefärbtes Fensterglas im profanen Umfeld eingesetzt wurde, lässt sich nicht genau ermitteln, es wird jedoch mit dem Städtewachstum ab dem 14. Jahrhundert in Verbindung gebracht. Das Ende der Technik hingegen kann recht genau bestimmt werden. Es wurde in Deutschland durch die Einführung moderner Ziehetechniken in den späten 1920er Jahren binnen weniger Jahre verdrängt.

Nach dem ersten Bericht bei Theophilus sind weitere Beschreibungen des Herstellungsprozesses erst ab dem 18. Jahrhundert bekannt, die bislang weder zusammengestellt noch verglichen (Tabelle 2.1 im Anhang) oder kommentiert worden sind. Das Zylinderblasverfahren kann nun differenzierter dargestellt und Missverständnisse ausgeräumt werden. Daraus ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Das Auftrennen des Zylinders wird in der Literatur vielfach ungenau dargestellt, denn beim Zylinderblasverfahren wird in vielen Fällen nicht zwischen der Herstellung von Spiegeln und der von Fensterscheiben unterschieden. Das Einschneiden der Zylinder mit einer Schere war bei dickwandigen Zylindern erforderlich, bei dünneren genügte ein Einritzen und das Besprengen mit Wasser. Die von vielen Autoren⁶⁷⁸ zur Veranschaulichung des Zylinderblasverfahrens herangezogene Illustration aus der französischen Enzyklopädie von Diderot-d'Alembert⁶⁷⁹ (Abb. 21) bezieht sich ausdrücklich auf einen dickwandigen Zylinder für die Spiegelglasherstellung. Die Dicke musste hier für den Materialverlust durch den Schleif- und Polierprozess einkalkuliert werden, die für eine absolut



- 22 Missverständliches Schema des Zylinderblasverfahrens, da der Boden des Zylinders üblicherweise nicht abgetrennt, sondern erweicht und das entstandene Loch danach auf die Breite des Zylinders geweitet wird. Das Abrennen der beiden Enden erfolgt beim mechanischen Zylinderziehverfahren nach Sievert und Lubbers

plane und fehlerfreie Oberfläche vor dem Belegen notwendig war.

- Der Personaleinsatz vergrößerte sich. War es zunächst möglich, als einzelner Glasmacher für die Herstellung eines Zylinders verantwortlich zu sein, war später das Zusammenwirken eines eingespielten Teams notwendig, um die Arbeitsabläufe der Herstellung großer Zylinder zu bewerkstelligen.
- Eine weitere ungenaue Darstellung findet sich auf dem vereinfachten Schema bei Otto Völckers⁶⁸⁰ (Abb. 22) zum Herstellungsprozess eines Zylinders, da es vorgibt, der Zylinder werde an beiden Seiten abgetrennt. Diese Darstellung erscheint auch im Fachbuch zur Technik des Glasherstellung von Günther Nölle⁶⁸¹ und in abgewandelter Form im Museumsführer des Deutschen Museums.⁶⁸² Erst bei den mechanisch hergestellten Zylindern nach dem Sievert- und dem Lubbers-Verfahren musste aus technischen Gründen auch der untere Teil abgetrennt werden.⁶⁸³ Bei mundgeblasenen Zylindern war es seit Theophilus üblich, in die untere Rundung durch Erwärmen im Ofen oder durch das Ansetzen von einer kleinen Menge heißen Glases ein Loch durchzublasen oder durchzustechen und dieses anschließend zu weiten, so wie es auch heute noch in der Glashütte Lamberts praktiziert wird.⁶⁸⁴

Die technischen Verbesserungen des Zylinderblasverfahrens, die im späten 18. Jahrhundert begannen und sich im 19. Jahrhundert weiterentwickelten, lassen sich nun klar benennen:

- Die Einführung eines Podestes oder einer Kanzel erleichterte dem Glasmacher die Herstellung von großen und vor allem dünneren Zylindern. Außer einem Podest kam die Nutzung einer Schwenkgrube auf, in der sich die Glaszylinder durch das Eigengewicht weiter in die Länge dehnen konnten und besonders dünnwandig wurden.
- Die Schwenkgrube ermöglichte außerdem die Herstellung größerer Formate, wodurch die Effektivität der Produktion gesteigert werden konnte.

678 LOIBL 2012b, 503 Fußnote 283, vgl. HENKES 1994, 349; KAUFMANN 2010, 131; FROMMER / KOTTMANN 2004, 192, die den Einsatz einer Schere nach Diderot-d'Alembert abbilden, ebenso LANG 2003, 102.

679 DIDEROT / D'ALEMBERT 1765b.

680 VÖLCKERS 1939, 22; ders. 1944, 13. Ebenso JEBSEN-MARWEDEL 1950, 32; ders. 1960, 56.

681 NÖLLE 1997, 163.

682 SCHAEFFER et al. 2012, 49.

683 Siehe Kapitel weiter unten.

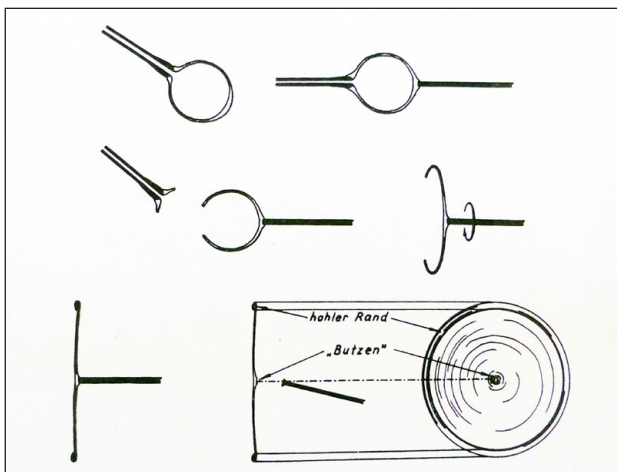
684 NUR JUNKER 1795, 173 meint in seiner kurzen Beschreibung sehr verallgemeinernd: „Die runden Wölbungen sprengt er [der Glasmacher, Anm. d. Verf.] ab [...]“

- Die Techniken zum Abtrennen der Kappe und Auftrennen der Zylinder wurden den größer werdenden Dimensionen angepasst. Dies führte im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einer Unterscheidung zwischen dem böhmischen und dem rheinischen Verfahren.
- Dünne Zylinder konnten vor dem Strecken an der Luft abkühlen, wodurch ein energieintensiver Arbeitsschritt entfiel. Diese Errungenschaft soll bereits im späten 18. Jahrhundert eingesetzt haben.⁶⁸⁵ Bei Krünitz wird berichtet, dass Glastafeln in einem Ofen abkühlen mussten, bevor sie aufgetrennt und gestreckt wurden, was nun als ein veraltetes Vorgehen gedeutet werden kann. Nur bei dickeren Tafeln blieb dies auch später noch üblich.
- Technische Fortschritte durch die Entwicklung neuer Schmelzöfen sowie von Streck- und Kühlöfen beförderten die Glasproduktion. Der Siemens-Regenerativofen bot zudem eine erhebliche Energieeinsparung.

Ab dem Ende des 18. Jahrhunderts konnten mit einer verbesserten Technik größere Fensterscheiben hergestellt werden. Durch eine Optimierung und Rationalisierung der Arbeitsabläufe wurden Glastafeln außerdem schneller und mit weniger Energie produziert. Die Zylindergröße war nur noch durch die Lungenkraft der Glasmacher begrenzt. Versuche, diese durch Pressluft zu ersetzen und das Zylinderblasverfahren zu mechanisieren, gelangen jedoch erst Anfang des 20. Jahrhunderts mit der Einführung des Sievert- und des Lubbers-Verfahrens.

4.1.2 Butzenscheibenherstellung

Butzenscheiben sind kleine runde Glasformen mit einer verdickten Mitte, konzentrischen Ringen um diese Mitte herum und einem ausgebildeten Rand.



23 Schema Butzenscheibenherstellung

Obwohl ihre Existenz und ihr Aussehen seit dem späten Mittelalter durch schriftliche Quellen, Befunde und Bildmaterial belegt sind, fehlen zeitgenössische Beschreibungen zu ihrer Herstellung.⁶⁸⁶ Die angewandte Technik wird in aller Regel aus heutiger Sicht erklärt und basiert meist auf der aktuellen Hüttenpraxis der Glashütte Lamberts⁶⁸⁷, wo Butzenscheiben noch heute nach tradierter Methode aus dem 19. Jahrhundert produziert werden.

Der Begriff *Butzenscheibe* wurde erst im 19. Jahrhundert gebräuchlich.⁶⁸⁸ Zunächst hießen die gläsernen Rundlinge aufgrund ihrer Form schlicht *Scheiben* und sind als solche in Frankfurt um 1410 in bürgerlichen Häusern belegt.⁶⁸⁹ Mehrere Scheiben wurden in einem Bleinetz zu einem Fensterverschluss zusammengefügt. Johannes Mathesius unterscheidet 1562 bei Fensterglas je nach Form explizit zwischen *Scheiben* und *Tafeln*.⁶⁹⁰ Später sprechen die Quellen von „*gemeinen Scheiben*“⁶⁹¹ im Sinne gewöhnlicher (Butzen-)Scheiben, die im Gegensatz zu „*gemein Waldscheuben*“⁶⁹² wohl schon eine höhere Qualität besaßen, sich aber von den noch begehrteren *Tellerscheiben*⁶⁹³ abgrenzten. Der Begriff *Butzenscheibe* kommt in der Zeit der Neugotik als Beschreibung für Scheiben mit einer Verdickung auf, vielleicht mit Bezug auf Zedler, der in seiner Enzyklopädie das Wort „*Butzen*“ im Zusammenhang mit Fensterscheiben erwähnt: „[...] *eines von lauter runden Scheiben mit drey Angeln, daran in der Mitte die Butzen, wie an denen Scheiben zu sehen*[...]“⁶⁹⁴. Die altertümliche Technik, die im 19. Jahrhundert nur noch vereinzelt in den Glashütten ausgeführt wurde, fand dann allerdings hauptsächlich Einsatz für farbige Scheiben.⁶⁹⁵

Das Grundprinzip der Butzenscheibenherstellung, das der Hohlglasverarbeitung zugeordnet wird, ist relativ einfach. Mithilfe einer Glasmacherpfeife werden kleine runde Glashohlkörper geblasen, anschließend geöffnet und dann zu einer flachen Scheibe auseinandergetrieben (Abb. 23).⁶⁹⁶ Durch die Verwendung einer

685 CHOPINET 2019, 5.

686 KOBLER 2003, 550; STROBL 1990, 62.

687 Glashütte Lamberts.

688 Für die Terminologie und die allgemeine Verwendung des Begriffs Butzenscheiben siehe LOIBL 2003b, 103 f. Vgl. auch ders. 2006b, 724, Fußnote 54.

689 LERNER 1981, 78.

690 MATHESIUS 1562, 278 r - 278 v.

691 Laut Heidelberger Glasertaxe von 1579, siehe LERNER 1981, 146; KOBLER 2003, 549–550; TARCSAY 2008, 175 f.

692 LERNER 1981, 146.

693 Siehe Kapitel unten.

694 ZEDLER 1731-1754, 1589 f.; KOBLER 2003, 549–550.

695 LOIBL 1995a, 246 f.

696 LERNER 1981, 75. Das Schema erschien bereits in der Ausgabe von 1950 und wurde vielfach kopiert. LANG 1991, 32 sowie SEIZ 1994, 17, auch in früheren Ausgaben, auf die sich STROBL 1990, 62 und KAUFMANN 2010, 37 beziehen.

Glasmacherpfeife ähneln die anfänglichen Arbeitsschritte dabei auch denen des Zylinderblasverfahren, wobei hier die Glasmacherpfeife kürzer und schmaler ausfallen kann, da nur kleine Glaskugeln geblasen werden.

4.1.2.1 Nach Agricola 1556

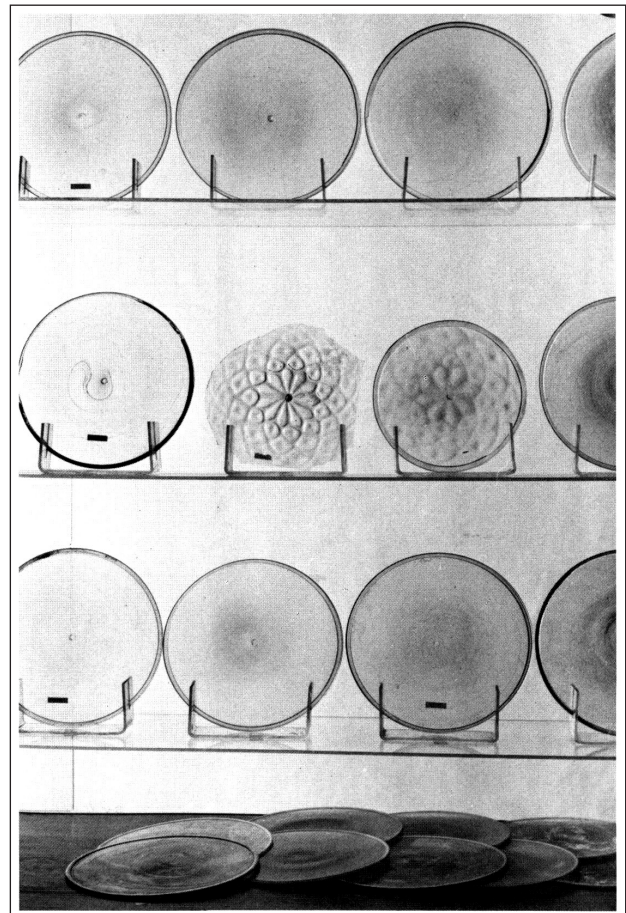
Ein erster schriftlicher Hinweis auf die Herstellung von Butzenscheiben findet sich ein wenig versteckt bei Georgius Agricola. In seiner 1556 verfassten Abhandlung *De re metallica* zum Berg- und Hüttenwesen⁶⁹⁷ geht er im letzten Kapitel auf die Hohlglasherstellung ein, wie er sie in Venedig kennengelernt hatte. Zu den Produkten zählt er ausdrücklich Fensterscheiben:

*„Die Glasmacher fertigen verschiedene Gegenstände an, wie Becher, Krüge, Flaschen, Kolben Schüsseln, Schalen, Fensterscheiben, Figuren von Tieren, Bäumen, Schiffen.“*⁶⁹⁸

Anschaulich beschreibt Agricola dort die ersten Schritte der Hohlglasherstellung, die mit dem Aufnehmen und Verdichten der Glasmasse beginnt. Für die Weiterverarbeitung nennt Agricola zwei verschiedene Vorgehensweisen. Entweder wird die aufgeblasene Glasmasse über Kopf geschwenkt, damit sie sich länglich ausdehnt, oder aber die Glasmasse wird in eine bronzene Form geblasen:

*„Die Glasmacher entnehmen öfters eine Probe mit ihren Pfeifen und, sobald sie daraus ersehen, daß die wiederholt geschmolzenen Glasstücke genügend gereinigt sind, tauchen sie die andere Pfeife in den Topf. Sie wird langsam gedreht und nimmt etwas Glas heraus, das sich wie eine zäher, klebriger Saft anhängt und sich kuglig zusammenballt. Der Arbeiter nimmt aber nur ebensoviel heraus, als für die geplante Arbeit genügt, preßt den Glasballen an die Marmorplatte und dreht ihn hin und her, um ihm mehr Zusammenhalt zu geben. Dann bläst er ihn durch die Pfeife hindurch blasenartig auf. Jedesmal, wenn er durch die Pfeife geblasen hat, und dies muß oft geschehen, nimmt er die Pfeife rasch vom Mund weg und bewegt sie etwas nach der Wange zu, um beim Einatmen nicht die Flamme in den Mund zu ziehen. Er hebt dann die Pfeife hoch und schwenkt sie im Kreis um den Kopf, wodurch die Glasmasse eine längliche Form bekommt. Oder er formt die Glasmasse durch Drehen in einem ausgehöhlten Bronzestück.“*⁶⁹⁹

Konkrete Hinweise zur Weiterverarbeitung in Fensterscheiben werden nicht genannt. Das von Agricola erwähnte Fensterglas im Kontext der Hohlglasverarbeitung und durch die Verwendung der Bezeichnung *Fensterscheibe*⁷⁰⁰ kann als eine Butzenscheibe angenommen



24 Venezianische Butzenscheiben, z. T. mit eingepresstem Dekor, aus dem Wrack Gnalici, spätes 16. Jahrhundert

werden. Die Herstellung einer Glastafel hingegen hätte das Zylinderblasverfahren und damit einen Streckofen vorausgesetzt, den Agricola trotz seines Interesses an Öfen in seinem Werk nicht erwähnt.⁷⁰¹ Eine Vorstellung vom Aussehen venezianischer Fensterscheiben, wie Agricola sie in Venedig kennengelernt haben dürfte, liefern die aus dem Wrack Gnalici geborgenen Befunde, die auf Ende des 16. Jahrhunderts datiert werden können (Abb. 24).⁷⁰²

697 AGRICOLA 1556. Der relevante Abschnitt ist in voller Länge im Anhang abgedruckt.

698 Ebd., 508.

699 AGRICOLA 1556, 506.

700 Siehe LERNER 1981, 78. Seiner Meinung nach taucht die Bezeichnung Scheibe für ein Fensterglas erstmals 1410 in Frankfurt auf.

701 Laut SPEER 2014, XIV kannte Agricola Theophilus' Schedula.

702 PETRICIOLI 1973, 91. Die Butzenscheiben weisen eine klare Farbe auf, die ursprünglich durchsichtig gewesen sein dürfte. Da viele Scheiben eingepresste Verzierungen aufweisen, kann man davon ausgehen, dass sie als ganze Scheibe eingesetzt werden sollten und nicht als Mondglas zu bezeichnen sind. Vgl. KOBLER 2003, 588.

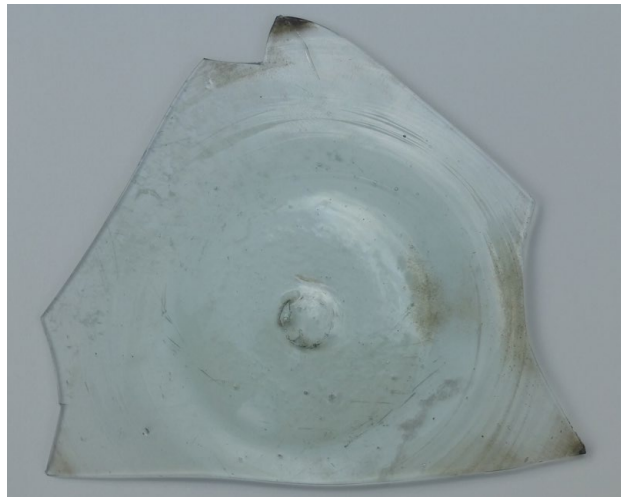
4.1.2.2 Nach Lamberts 21. Jahrhundert

Die in der Glashütte Lamberts in Waldsassen in der Oberpfalz noch heute hergestellten Butzenscheiben werden nach einer aus dem 19. Jahrhundert überlieferten Technik gefertigt. Zunächst wird nur ein sehr kleiner Posten Glas aus dem Hafen genommen und die Rundung unter konstantem Drehen der Pfeife mit einem angehaltenen Wallholz oder Wulgerholz angepasst. Dann wird der Glasposten wie ein Ballon aufgeblasen und am Pfeifenende mit einem dünnkantigen Metallwerkzeug eingeschnürt bzw. *geschränkt*, um das spätere Abtrennen der Pfeife vorzubereiten. Im nächsten Schritt befestigt ein Gehilfe an der gegenüberliegenden Seite der Pfeife ein Heftisen mit einer kleinen Menge flüssigen Glases. Das Umheften von der Pfeife auf ein Heftisen ist nötig, um die Pfeife anschließend abschlagen zu können. Dazu wird die vorbereitete Stelle eingeritzt und die Pfeife mit einem kleinen Schlag abgetrennt.⁷⁰³

Die entstandene Öffnung lässt sich nach erneutem Erwärmen leicht weiten. In der Glashütte Lamberts geschieht dies, indem der Glasmacher unter mäßigem Drehen der Pfeife den noch hochstehenden Rand mit Hilfe eines Werkzeugs, z. B. einer Auftreibzange, zu einer flachen Scheibe auseinandertreibt (Abb. 25). Der Rand wird dabei umgeschlagen, wodurch sich die Stabilität der Scheibe erhöht. Dieser im Sitzen ausgeführte Arbeitsschritt nutzt die Fliehkräfte ähnlich wie auf einer Drehscheibe. Das Auseinanderziehen der Glasfläche hinterlässt Werkzeugspuren auf der Butzenscheibe in Form von deutlich erkennbaren, konzentrischen Ringen. Die Größe der Scheiben variiert bei Lamberts zwischen 6 und 13 cm. Ihre Dicke ist mit 2-3 mm mehr als doppelt so stark wie die Butzenscheiben aus früherer Zeit.⁷⁰⁴



25 Butzenscheibenherstellung nach Lamberts. Die geöffnete Glaskugel wird mit einer Auftreibzange geweitet



26 Becherbutze mit orangenhautartiger Struktur im Bereich um die Heftnarbe

Um auch das Heftisen zu entfernen, wird das Glas jetzt nahe am Ansatz eingeritzt und dann wieder durch einen kleinen Schlag gelöst. An der Stelle des abgetrennten Heftisens bleibt eine charakteristische Verdickung, die sogenannte Butze, die im heutigen Sprachgebrauch namensgebend für die Scheibe ist. Bei Lamberts kann sie scharfkantig ausfallen. Sie hat eine Vielzahl weiterer Bezeichnungen: „Abriss“⁷⁰⁵, „Heftnarbe“⁷⁰⁶, „Narbe“ oder „Sprengnarbe“⁷⁰⁷, „Nabel“⁷⁰⁸, „Knoten“⁷⁰⁹, „Knopf“⁷¹⁰ und „Kern“⁷¹¹, manchmal auch „Rindsauge“⁷¹² und „Dotter“⁷¹³.

In der Glashütte Lamberts werden die Butzenscheiben auf einer Art Tablett in den Kühlöfen gebracht, wo sie langsam abkühlen.⁷¹⁴

Über das Abkühlen der Butzenscheiben liefert die Literatur nur wenige Hinweise. Agricola erwähnt für die Kühlung von Hohlgefäßen ein eigens dafür geschaffenes längliches Tongefäß, das in den oberen Bereich eines Ofens gestellt oder in einen Kühlöfen eingebracht wird.

„Schließlich bringt er [der Glasmacher, Anm. d. Verf.] es [gemeint ist hier das Konvolut an Glasobjekten,

703 Dieser Absatz basiert auf dem von Lamberts veröffentlichten Video und mehreren Besuchen in der Glashütte. GLASHÜTTE LAMBERTS.

704 LOIBL 2006b, 711 und freundlicher Hinweis von Glasermeister Josef Ganka. Außerdem Befunde von Thoms Noky, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen.

705 KOBLER 2003, 549.

706 KOMP 2009, 35.

707 KRÜNITZ ^{11779, 21788, 714} Lemma: Glasscheibe; MERTEN 1954, 293.

708 KOBLER 2003, 549.

709 KRÜNITZ ^{11779, 21788, 714}.

710 BOWLES 1833, 79 und KOBLER 2003, 549.

711 Siehe Heidelberger Glasertaxe von 1579 LERNER 1981, 146.

712 KRÜNITZ ^{11779, 21788, 714} Lemma: Glasscheibe Bd. 18.

713 SÜCKOW 1798, 35.

714 Mündliche Mitteilung der Glashütte Lamberts.

Anm. d. Verf.] in das längliche Tongefäß, das in den dritten Ofen oder in die oberste Kammer des zweiten Ofens eingesetzt ist, und läßt es da langsam abkühlen.⁷¹⁵

Vereinzelt konnten im 16. und 17. Jahrhundert spezielle Kühlgefäße bei Ausgrabungen geborgen werden.⁷¹⁶ Laut Loibl konnten die Scheiben infolge ihrer geringen Größe und bei einer Dicke von weniger als 1 mm abgedeckt in einer heißen Aschenmulde abkühlen.⁷¹⁷

4.1.2.3 Herstellungsverfahren

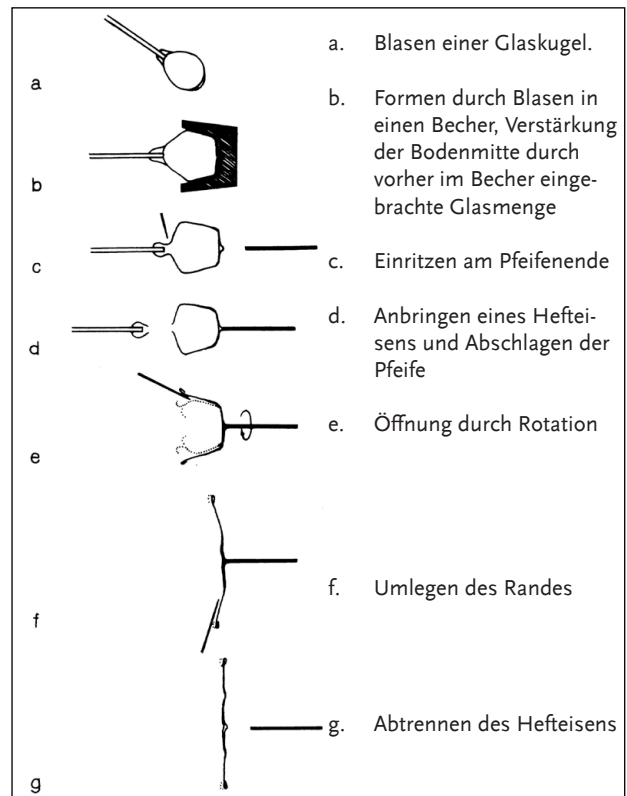
Becherbutze mit Stein- oder Tonform

Befunde in Nördlingen in Bayern legen eine Variante im Herstellungsprozess der Butzenscheiben nahe. Hier ist nicht nur die Heftnarbe, sondern auch ein Bereich um die Heftnarbe herum verdickt, der eine leicht anders strukturierte, orangenhautartige Oberfläche aufweist (Abb. 26).⁷¹⁸ Diese Scheiben besitzen einen Durchmesser von 12 cm mit einem Nabel von 5-6 mm, um den sich die Glasoberfläche in einem Radius von 2 cm anders darstellt.⁷¹⁹ Der Scheibenrand ist zum Nabel hin umgebogen.

Der Versuch, diese Glasscheiben nachzuahmen, führte zur Verwendung einer becherartigen Form und der Bezeichnung *Becherbutze*⁷²⁰. Bei dieser Methode wird die hohle Glaskugel nicht durch das Anhalten eines Wallholzes korrigiert, sondern erhält seine Form durch Einblasen in einen schmalen hohen Becher, der laut der Firma Trumpf aus Görlitz aus „Marmor, Speckstein oder gebranntem Ton“⁷²¹ bestehen kann (Abb. 27). Mit der Benutzung einer Form konnten einheitliche Formate erzielt werden. Der beim Einblasen entweichende Dampf erwies sich hier als verantwortlich für die Oberflächenveränderung.⁷²² Um eine möglichst dünne Abrissnarbe zu erhalten, verwendete die Firma Trumpf anstelle eines Hefteisens eine zweite Pfeife, in deren Rohrspitze sich eine sehr geringe Glasmenge befand, die auf die Mitte der Hohlkugel aufgebracht werden konnte.⁷²³

Becherbutze mit Metallmodell

Eine weitere Erklärung für die orangenhautähnliche Mitte einer Butzenscheibe lässt sich mit der Verwendung einer Metallform erklären, in deren Mitte zuvor ein heißer Glaspfropfen eingebracht worden war, der bei Berührung mit der kalten Metalloberfläche zu einer veränderten Oberflächenstruktur in diesem Bereich führte. Der Kniff mit einem wartenden Glaspfropfen



27 Becherbutzenherstellung nach Trumpf, schematische Darstellung von T. Noky

könnte dazu gedient haben, das anschließende Anbringen des Hefteisens zu erleichtern und damit den Arbeitsprozess abzukürzen. Mit dieser Methode kann erklärt werden, weshalb bei den Befunden manchmal der Bereich um die Heftnarbe dicker ausfällt.⁷²⁴

Butzenscheiben mit flach ausgearbeitetem Rand

Einige Butzenscheibenbefunde besitzen einen flachen Scheibenrand (Abb. 28), der auf eine besondere Randausbildung hinweist. Hier wird kein Hohlrund ausgebildet, sondern der Rand abgeflacht. In der

715 AGRICOLA 1556, 508

716 STEPHAN 2019, 86 führt an, dass es in Deutschland „spezielle Kühlgefäße aus Keramik für die gläsernen Erzeugnisse“ im Hochmittelalter nicht gab und sie erst vereinzelt im 16. und 17. Jahrhundert auftauchen.

717 LOIBL 2006b, 711.

718 Freundlicher Hinweis von Thomas Noky, siehe auch SIEGELIN / TRUMPF 2004, 64 und SIEGELIN 2004, 193 f.

719 Ebd., 193.

720 SIEGELIN / TRUMPF 2004, 65.

721 Ebd.

722 SIEGELIN / TRUMPF 2004, 65.

723 Ebd.

724 Die Details in diesem Absatz verdanke ich Thomas Noky, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen.



28 Flacher Rand einer Butzenscheibe

Glashütte Moldava bei Teplitz in Nordwestböhmen sind sowohl Scheiben mit flach ausgeprägtem Rand als auch solche mit hohlem Rand geborgen worden.⁷²⁵ Sie wurden in einer Abfallhalde gefunden, deren Inhalt auf das Ende des 14. bis Anfang des 15. Jahrhunderts datiert wird.⁷²⁶ Auch in Sachsen ist die Variante mit einem flach gehaltenen Rand bekannt.⁷²⁷ Der Grund für diese Randvariante ist unklar. Er könnte mit unterschiedlichen Hüttenpraktiken erklärt werden oder einem leichteren Einglasen in ein Bleinetzwerk gedient haben.

4.1.2.4 Glasqualität

Waldglasscheiben

Waldglasscheiben zeichnen sich durch eine mindere Glasqualität aus, die auf mit Eisenoxid verunreinigtem Quarz beruht und zu einem grünlichen und bisweilen auch gelblichen Farbstich führte, wenn der Glasmasse sogenannte Entfärbungsmittel hinzugefügt wurden.⁷²⁸ Trotz des Farbstiches gelten sie als entfärbtes Glas, da die Intention bei der Herstellung ein möglichst reines, klares Glas war. Derartige Butzenscheiben aus der Zeit um 1400 wurden in Nordböhmen in den Glashütten bei Teplitz archäologisch geborgen.⁷²⁹ Die Technik zur Herstellung einer Scheibe war also im deutschsprachigen Raum bekannt, brachte aber aufgrund eingeschränkter Verfügbarkeit bei den Rohstoffen keine ganz farblosen Gläser hervor.

Die 1487 gegründete Hohlglashütte Frankenreuth, Waidhaus in der Oberpfalz an der Grenze zu Böhmen, stellte „Scheiben-Gläser“⁷³⁰ her, deren Aussehen nicht beschrieben wird. Da 600 Stück als jährliche Zahlung an den Hof nach Neumarkt verschickt wurden,⁷³¹ ist



29 Gemälde von Lucas Cranach, Die Bezahlung (Ein ungleiches Paar) 1532, Detail

anzunehmen, dass die Qualität durchaus akzeptabel war, auch wenn sie eventuell nicht ganz farblos gewesen sein sollten. Rechnungsnachweise der Frankenreuther Hütte aus den 1520er Jahren erwähnen den Transport von 2.000 „Waltscheiben glaß“⁷³² für die Ausbesserung des Schlosses in Amberg. Im gleichen Zug werden auch 100 „venedischer schenen Scheiben“⁷³³ für eine Glaserwerkstatt genannt. Die Erwähnung belegt somit einen Qualitätsunterschied zwischen Waldglas und venezianischen Scheiben. Letztere können allein aufgrund ihrer geringeren Anzahl als hochwertiger eingestuft werden.⁷³⁴

Im Schwarzwald sind durch Lesefunde um 1500 hergestellte hellgelbgrüne bis hellgrüne sowie nahezu farblose Butzenscheibenfragmente belegt, die zur Kategorie Waldglas gehören.⁷³⁵ Archäologische Befunde aus der Glashütte Glaswasen bei Bebenhausen im Schönbuch

725 ČERNÁ 2016, 128.

726 Ebd., 109.

727 Diese Information verdanke ich Thomas Noky.

728 Siehe Kapitel zu Entfärbungsmittel.

729 ČERNÁ 2016, 128.

730 SPOERER et al. 1988, 19, 23.

731 Ebd.

732 Ebd.

733 Ebd.

734 Ebd. Leider bleibt unklar, ob es sich um heimische oder um importierte Ware handelte.

735 MAUS 1999 Tabelle 1, Nr. 6 Hinterstraß und Nr. 8 Sallneck.



30a Fenster in St. Wolfgang, Puschendorf bei Fürth, mit einigen in situ erhaltenen klaren Butzenscheiben 1490

in Baden-Württemberg ergeben ein ähnliches Bild.⁷³⁶ Eine gute Vorstellung vom Einsatz grünstichiger Butzenscheiben aus der Zeit vermittelt Lucas Cranach in seinem Gemälde *Die Bezahlung (Ein ungleiches Paar)* aus dem Jahr 1532 (Abb. 29). Gegen Ende des 16. Jahrhunderts waren Waldscheiben in Nürnberg offenbar verpönt und wurden nur noch in untergeordneten Räumen wie Gängen, Stallungen und Kammern eingesetzt.⁷³⁷ Glaser durften sie nicht vertreiben. Wenn der Kunde sie wünschte, musste er sie selber von der Hütte beziehen.⁷³⁸ Mit dieser Maßnahme versuchte der Nürnberger Rat, die Qualität der Glaserarbeit zu sichern und den Verkauf der besseren Handelsware aus Venedig zu fördern.

Scheiben nach Art der Venezianer – *à la façon de Venise*

Wie gerade aufgeführt, waren neben der Waldglasqualität hochwertige und dem Anschein nach farblose Scheiben im Umlauf, die als „*venedischer schenen Scheiben*“⁷³⁹ bezeichnet wurden. Auch Mathesius schätzte die „*schoenen vnd glatten Venedischen gleser*“⁷⁴⁰, mit denen er allerdings Bezug auf Hohlglas nahm. In Frankreich taucht die Bezeichnung 1551 auf, in Deutschland Ende des 16. Jahrhunderts, auch wenn die Imitation von italienischer Glaskunst längst üblich war.⁷⁴¹ Die Definition des Begriffs *à la façon de Venise* ist mehrdeutig. Im Zusammenhang mit Butzenscheiben kann er sich auf eine venezianische Herkunft, auf die für die Venedig



30b Detailansicht

bekannte Glasqualität oder auf eine aus Italien übernommene Technik beziehen.

Die frühesten farblosen Butzenscheiben in Deutschland, die *in situ* erhalten sind, werden aufgrund ihrer guten Qualität für italienische Ware gehalten. Sie befinden sich in der Kirche in Puschendorf bei Fürth (1490) (Abb. 30) und in der Schlosskapelle zu Blutenburg in München (1491).⁷⁴²

Eine besonders realistische Darstellung von farblosen Butzenscheiben gelingt Matthias Grünewald auf dem Seitenflügel des Isenheimer Altars (1512-1516) (Abb. 31) in Colmar, der den Heiligen Antonius darstellt. Grünewald hält genau den Moment fest, in dem ein Dämon ein Butzenscheibenfenster durchschlägt. Aus der detailgetreuen Darstellung der sehr klaren Butzenscheiben kann zwar der Herstellungsort der Scheiben nicht abgeleitet werden, wohl aber vermittelt das Gemälde eine hervorragende Vorstellung der damals zur Verfügung stehenden Glasqualität.

Schriftliche Quellen berichten, dass im 16. Jahrhundert vermehrt italienische Glasmacher angeworben wurden, um die Herstellung von hochwertigem *crystalino* Glas auch im deutschsprachigen Raum voranzutreiben. Einige Glasmacher sind in Kassel nachgewiesen, darunter auch solche, die Scheiben herstellten.⁷⁴³ In Bayern holte Herzog Wilhelm V (1579-1597) den venezianischen Glasmacher Johann Scorpoggiato nach München, um in Graggenau eine neue Glashütte zu errichten.⁷⁴⁴ Dort wurden laut Hofkammerrechnungen

736 FROMMER / KOTTMANN 2004, 83 (Befundkatalog).

737 LERNER 1981, 107.

738 Ebd.

739 SPOERER et al. 1988, 19, 23.

740 MATHESIUS 1562, 277r.

741 GAI 2017, 513.

742 FRENZEL 1973, 111; STROBL 1990, 63.

743 HORN 1903, 29 spricht von Mondglas, dürfte aber Butzenscheiben gemeint haben.

744 VOPELIUS 1895, 26.



31a Matthias Grünewald, Isenheimer Alter, Colmar 1512-1516, Seitenflügel mit Darstellung des Hl. Antonius

diverse Scheiben mit „*lauter Spänischer Aschen*“⁷⁴⁵ produziert. Der Einsatz von spanischer Soda kann als Versuch verstanden werden, eine besonders hohe Qualität *à la façon de Venise* zu erzielen. Die Glashütte hatte allerdings nicht lange Bestand, da sich die Produktion nicht rechnete und sich die venezianische Importware als billiger erwies.⁷⁴⁶ An der Weser bei Altmünden entstand 1593 eine sogenannte Weißglashütte, die Pottasche anstelle von Soda verwendete. Der Preis von 5 Gulden für eine Lade Scheiben (2.000-2.500 Stück) spricht hier für eine hohe Glasqualität.⁷⁴⁷



31b Detailansicht einer Butzenscheibenverglasung, die von einem Dämon zerschlagen wird

4.1.2.5 Geschichtliche Einordnung

Wie beim Zylinderblasverfahren gilt die Einführung der Glasmacherpfeife im 1. Jahrhundert v. Chr. als ein *terminus post quem*. Die Anfänge der Butzenscheibenherstellung werden im Orient vermutet,⁷⁴⁸ wo frühe Befunde aus Jordanien aus dem 4. Jahrhundert n. Chr. bekannt sind. Auch in Aquileia⁷⁴⁹, Nordostitalien, sind Glasscheiben aus dieser Zeit bekannt, die jedoch farbig waren und als Teil eines künstlerischen Fensterkonzepts betrachtet werden. Die aus der gleichen Zeit stammenden, nahezu farblosen Butzenscheiben mit relativ großen Durchmessern zwischen 17 und 26 cm aus San Vitale in Ravenna gelten jedoch als Bildträger für Bemalungen.⁷⁵⁰ Frühe Butzenscheiben im deutschsprachigen Raum aus dem 9. Jahrhundert werden im Zusammenhang von Haithabu und Lorsch genannt,⁷⁵¹ bei denen allerdings nicht erwiesen ist, dass es sich um heimische Produkte handelt. Die hellblaue Farbe im Lorsch Beispiel weist darüber hinaus auf einen künstlerischen Kontext, der über die Funktion als bloßer blanker Fensterverschluss hinausging. In Theophilus' *Schedula* aus dem 12. Jahrhundert werden Butzenscheiben nicht erwähnt. Für gotische Buntglasfenstern dürften sie auch eher keine oder nur

745 VOPELIUS 1895, 27.

746 Ebd., 28.

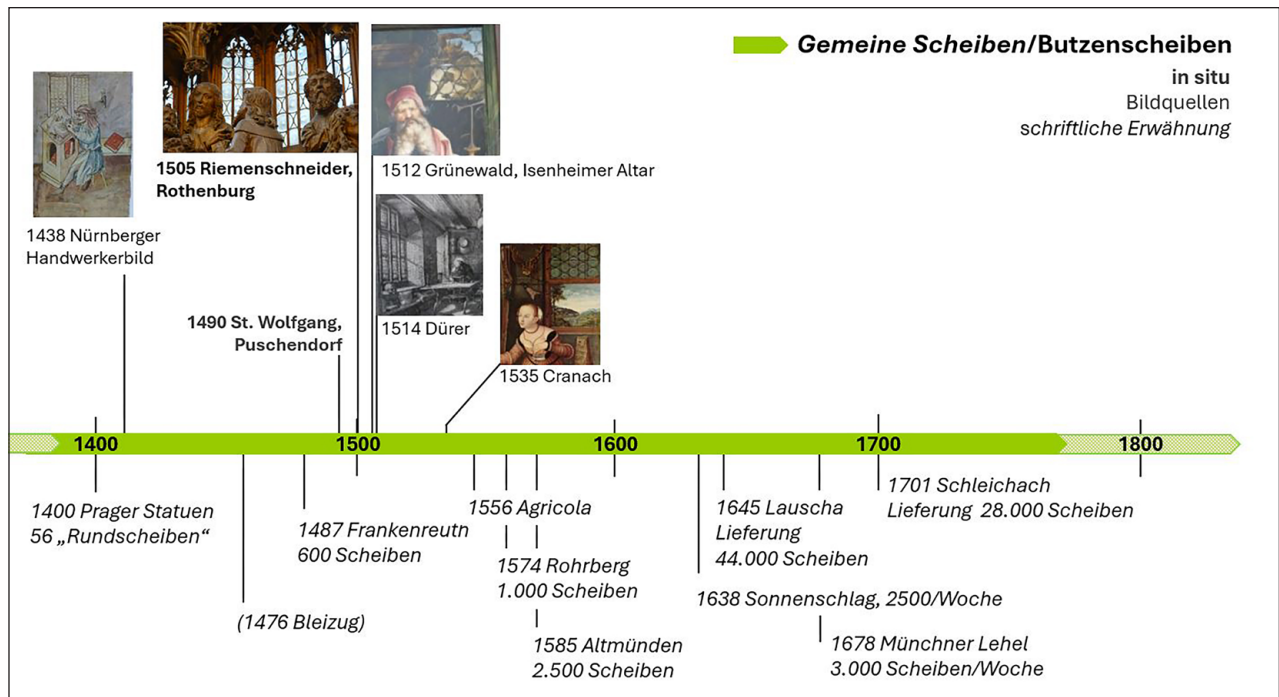
747 ALMELING 2006, 29. Da es keinen Anhaltspunkt für das Aussehen der Scheiben gibt, könnte es sich auch um Tellerscheiben handeln. Siehe dazu nächstes Kapitel.

748 KOBLER 2003, 562.

749 Ebd.

750 KOBLER 2003, 562.

751 Ebd., 572–573. Die Zuordnung der Scheiben ist unsicher, denn der Scheibe in Lorsch fehlt die charakteristische Butze in der Mitte, und die Existenz einer Butzenscheibe in den Befunden von Haithabu kann nicht verifiziert werden.



C Eckpunkte zum Einsatz von Butzenscheiben (Zusammenstellung A. Schmölder)

eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Ob Theophilus Kenntnis von der Methode hatte, ist nicht bekannt.⁷⁵²

In Frankreich und Italien sind frühe farblose Butzenscheiben, die in einen profanen Kontext passen, Ende des 13. Jahrhunderts anzutreffen.⁷⁵³ Der Import italienischer Scheiben nach Deutschland wird spätestens Mitte des 14. Jahrhunderts vermutet⁷⁵⁴ und ist 1398 für das Handelshaus der Runtinger in Regensburg belegt, auch wenn über ihr Aussehen nichts berichtet wird.⁷⁵⁵ Einige wenige farblose, um 1450 datierte Butzenscheibenfragmente wurden als Begleitbefunde bei archäologischen Ausgrabungen aus der Glaserwerkstatt in Bad Windsheim geborgen.⁷⁵⁶ Ihrem Erscheinungsbild nach handelt es sich sowohl um einheimische als auch um italienische Ware.

Im ausgehenden 15. Jahrhundert wird die Produktion von farblosen Butzenscheiben nach dem Vorbild der venezianischen Produkte im deutschsprachigen Raum angenommen.⁷⁵⁷ Ausgrabungen in den 1980er Jahren im Nassachtal bei Uhingen brachten farblose Butzenscheibenfragmente zutage,⁷⁵⁸ die durch Keramikfunde datiert werden konnten. Analysen haben hier den Einsatz von Soda aus Halophytenasche nachgewiesen, der ihre gute Farblosigkeit erklären kann. Woher dieses Flussmittel bezogen wurde, bleibt ungewiss.⁷⁵⁹ Vermutlich wurde es importiert, da die entsprechenden Pflanzen zur Herstellung der Soda in Deutschland nicht wuchsen.⁷⁶⁰

In der Literatur wird die Herstellung von Butzenscheiben als Schleuderverfahren bezeichnet,⁷⁶¹ weil angenommen wird, dass sich der geöffneten Glasballon allein durch die Fliehkraft beim schnellen Drehen in eine

flache Fläche verwandelt. Bei sehr dünnen Scheiben mit einer Glasdicke von unter 1 mm soll es möglich sein, sie ohne Hilfe eines Werkzeugs flachzuschleudern.⁷⁶² Wie bei der Herstellung der Füße von Trinkgläsern bewirkt die Rotation, dass sich der dünne Rand fast von selbst umlegt.⁷⁶³ Das weit verbreitete Schema zur Butzenscheibenherstellung, das bei Lerner zum ersten Mal erscheint, bildet genau diese Methode ab (Abb. 23). Einen schriftlichen Beleg gibt es für diese Annahme jedoch nicht.

Die Technik eignete sich für eine massenhafte Scheibenproduktion, wie sie bereits Anfang des 16. Jahrhunderts für die Glashütte in Frankenreuth belegt ist (Abb. C).⁷⁶⁴ Im 17. Jahrhundert sind Überlieferungen

752 McGRATH / FROST 1961, 34 verweisen auf vier fehlende Kapitel, in denen ihrer Meinung nach Butzenscheiben erwähnt sein könnten. Dies ist inzwischen widerlegt. Den Überschriften nach, die im Inhaltsverzeichnis einiger Handschriften überliefert sind, handeln die Kapitel von der Farbigkeit der Gläser. Vgl. dazu BREPOHL 2013, 190 f.

753 10 farblose Scheiben haben sich aus dem Schloss Rouen erhalten. LAFOND 1969, 37; STROBL 1990, 61; Lafond spricht ausdrücklich von „colorless panes“. Siehe auch KOBLER 2003, 589.

754 Ebd., 588; LERNER 1981, 71.

755 EKENBERG 1976, 131 f. Es werden 2.263 kleine und 60 große Scheiben erwähnt.

756 KAUFMANN 2010, 216-218, 279, 419-420.

757 LANG 1991, 25.

758 Ebd., 36. Laut MÜLLER 2006, 137 kann eine Produktion vor Ort nicht nachgewiesen werden.

759 LANG 1991, 36 vermutet Südfrankreich. MAUS 1999, 372 bezweifelt die Verwendung von Soda.

760 Siehe Kapitel oben.

761 KOBLER 2003, 548, 572, 587; HENKES 1994, 349.

762 Fußnote 345 STROBL 1990, 147 ebd., 63.

763 LANG 1991, 33.

764 SPOERER et al. 1988, 19, 23.

von großen Mengen an Butzenscheiben nicht ungewöhnlich. Die Wochenproduktion in der Hütte Sonnenschlag in Österreich belief sich 1638 auf 2.500 Scheiben.⁷⁶⁵ 1645 lieferte die Glashütte Lauscha in Thüringen 44.000 Butzenscheiben und 8.000 Zwickel an Schloss Friedenstein in Gotha,⁷⁶⁶ wobei die Glasqualität nicht überliefert ist. 1708 wurde 28.000 „gemeine Scheiben“ von Schleichach nach Würzburg versendet.⁷⁶⁷ Erst mit der Vorliebe gegen Mitte des 18. Jahrhundert für rechteckiges Fensterglas kommen Butzenscheiben aus der Mode⁷⁶⁸ und sind dann nur noch im ländlichen Raum anzutreffen.⁷⁶⁹ Erwähnungen und Hinweise auf die Verwendung von Butzenscheiben nehmen auch in der zeitgenössischen Literatur merklich ab. Butzenscheiben wurde zu einem Nischenprodukt, auf das die Karlshütte in Einsiedeln von 1820 bis 1880 noch einmal setzte. Mit der Herstellung in 23 verschiedenen Farben zielte sie jedoch auf eine dekorative Fenstergestaltung ab.⁷⁷⁰

Die sonst auskunftsfreudigen deutschen Enzyklopädien des 18. Jahrhunderts haben zwar Kenntnis von *gemeinen Scheiben*, ihre Herstellungsweise wird jedoch weder bei Zedler noch bei Krünitz erklärt.⁷⁷¹ In Johann Beckmanns *Anleitung zur Technologie oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen* [...] aus dem Jahr 1787 stehen andere Herstellungsverfahren für Fensterscheiben wie das Zylinderblasverfahren und das Mondglasverfahren im Vordergrund, Butzenscheiben zählen nicht dazu.⁷⁷² Auch in der französischen Enzyklopädie von Diderot-d'Alembert⁷⁷³, bekannt für ausführliche Beschreibungen und Illustrationen diverser Flachglasherstellungsverfahren, bleiben Butzenscheiben unerwähnt.

Ähnlich verhält es sich bei Carl Wigand Tabor in seinem ausführlichen Werk von 1818, der ebenfalls keine nähere Auskunft zum Herstellungsverfahren gibt, die Butzenscheibe aber als Vorläufer des weitaus begehrteren Mondglases einordnet. Seiner Meinung nach hätten Butzenscheiben, die er für die älteste Fensterglasart hält, ausgedient, weil ihre Ringe und Heftnarben den freien Durchblick beeinträchtigen und außerdem eine erhöhte Brandgefahr darstellen.

„Diese Fensterglasart ist die älteste, die man kennt. In sehr alten Häusern, Kirchen, Schlössern siehet man noch heut zu Tag kleine runde Scheiben von 3 bis 6 Zoll [7,6 x 15,2 cm, Anm. d. Verf.] Durchmesser welche in der Mitte eine kleine Erhöhung, um diese aber eine Menge concentrische Reifen bis zum Rande haben, so daß zwar das Licht, aber kein deutliches Bild von äusseren Gegenständen durchfällt. Eben diese Gestalt ist Ursache, daß sie bisweilen die Wirkung eines Brennglases thaten, wenn Sonnenstrahlen hindurch fielen, und nahe gelegene Körper entzündeten. Diese Scheiben sind der erste Ursprung dieser Fensterglasart. In der Folge verbesserte

man diese Fabricationsart besonders in Frankreich beträchtlich.“⁷⁷⁴

Die Sorge, dass leicht entzündliche Gegenstände in der Nähe von Butzenscheiben Feuer fangen könnten, hatte vor Tabor schon Krünitz in seiner *Oeconomischen Encyclopädie* geäußert und vor Butzenscheiben gewarnt. Und 1798 vermerkt Lorenz Suckow in seiner Abhandlung *Erste Gründe der bürgerlichen Baukunst*:

„Runde Scheiben sind fast aus der Mode gekommen, und diese, welche in der Mitte Dotter haben, verdunkeln nicht nur die Zimmer, sondern sind auch Brenngläser, und könne unvermerkt eine Zündung liefern.“⁷⁷⁵

Eine Brandgefahr ist tatsächlich nicht von der Hand zu weisen, wie jüngste thermische Messungen an historischen Butzenscheiben ergeben haben.⁷⁷⁶

In den Veröffentlichungen zur Glasfabrikation des 19. Jahrhunderts ist ein zunehmendes Desinteresse an der Herstellung von Butzenscheiben erkennbar, gleichzeitig ein stärker werdendes Interesse an technischen Abwandlungen und Weiterentwicklungen. Das Themenspektrum reicht dabei von der Glaszusammensetzung über neue Ofentechniken bis hin zu einem optimierten Zylinderblasverfahren. Butzenscheiben hingegen finden keine Erwähnung mehr, es sei denn, sie werden mit Mondglas gleichgesetzt oder als Mittelstück einer Mondscheibe betrachtet.⁷⁷⁷ Ähnlich undifferenziert äußern sich die Standardwerke zu Glas aus dem frühen 20. Jahrhundert,⁷⁷⁸ weil ihr Fokus auf innovativen, maschinellen Glasherstellungsmethoden liegt.

Wie unklar die Definition von Butzenscheiben bleibt, ist auch in Otto Völckers Veröffentlichung *Glas und Fenster* aus dem Jahr 1939 nachzulesen. Butzenscheiben

765 TARCSAY 2008, 175 f.

766 LIETZ 1982, 96–98 bezieht sich auf Schloss Friedrichstein in Gotha, meinte aber wohl Schloss Friedenstein.

767 LOIBL 2006b, 709.

768 LOIBL 2012c, 644; NOKY 1999, 24.

769 JAUERNIG-HOFMANN, 29; freundlicher Hinweis von Thomas Noky. Siehe auch MAUS 1999, 356.

770 TOMCZYK 1995, 187, 189 und Abb. 3, S. 247.

771 ZEDLER 1731-1754, Band 9, 1589-90, KRÜNITZ 1779, 21788, Bd.18, 714.

772 BECKMANN 1787, 335, 336.

773 DIDEROT / D'ALEMBERT 1765a.

774 TABOR 1818, 111.

775 SUCKOW 1798, 35.

776 KRÜNITZ 1779, 21788 Lemma Fenster; TABOR 1818, 111 Der Brennglaseneffekt wurde von der Firma Rothkegel bei einer thermischen Messung im Neumünster in Würzburg beobachtet. ROTHKEGEL 2022

777 Vgl. BOWLES 1833; LENG 1854; STEIN 1862; LOBMEYR et al. 1874; BENRATH 1880; GERNER 1897

778 Vgl. HORN 1903, 14; DRALLE 1911; THIENE 1931, 1939, 797.

werden dort weiterhin als mittlerer Teil einer Mondscheibe betrachtet:

„das Mittelstück mit dem Ansatzknuppen des Hefteisen gibt eine ‚Butzenscheibe‘, die übrigen mehr oder weniger eben gerateten Teile werden beliebig, meist in Rautenform und daher oft als ‚Rautenglas‘ erwähnt, zerteilt.“⁷⁷⁹

Abgesehen von der Frage, ob Rauten aus Mondscheiben geschnitten wurden, worauf im Weiteren noch näher eingegangen wird, verweist Völckers in einer Abbildung aus dem Deutschen Museum auf die „sechs Stufen der Herstellung von Mondglas“⁷⁸⁰ hin. Sie sollen veranschaulichen, wie in ihrer Mitte eine Butzenscheibe entsteht (Abb. 32). Dieser Irrtum setzt sich fort und offenbart sich auch im kurzen Eintrag zu Butzenscheiben im *Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte*.⁷⁸¹ „Die Mittelstücke mit der Ansatznarbe des Hefteisen, die B. [Butzenscheiben, Anm. d. Verf.], werden zunächst wohl als Abfall weggeworfen worden sein, bis später irgend jemand auf den Gedanken kam, diese selbst zur Verglasung zu verwenden.“⁷⁸² Auch wenn im selben Reallexikon unter dem später erscheinenden Lemma *Flachglas* genauer zwischen Butzen- und Mondscheiben unterschieden wird, hat sich die Vorstellung der Butzenscheiben als Teil der Mondscheibe bis in jüngste Publikationen gehalten.⁷⁸³ Das einzelne Ausschneiden der Scheibe wäre sehr aufwendig gewesen und hätte einer Massenproduktion, wie sie verbrieft ist, entgegengestanden.⁷⁸⁴



32 Fälschliche Darstellung der „Butzenscheibenherstellung in sechs Stufen“, wie sie in einigen Fachbüchern noch zu finden ist

4.1.2.6 Resümee Butzenscheibenherstellung

Der Butzenscheibenherstellung wurde in der Fachliteratur bislang kaum Aufmerksamkeit gewidmet, was fehlenden zeitgenössischen Quellen geschuldet sein dürfte. Die Herstellungsweise selbst ist im Bereich der Hohlglasherstellung anzusiedeln und stellte weder an den Glasmacher noch an die Öfen besondere Anforderungen. In der Zeit des Städtewachstums und

zunehmender Nachfrage nach Fensterverglasung nach dem 30jährigen Krieg bot die Scheibenherstellung eine Alternative zum Zylinderblasverfahren, da sich das Verfahren zur massenhaften und damit auch zu einer preisgünstigen Produktion eignete und die Scheiben wegen der geringen Größe und des stabilen Randes leicht zu transportieren waren. Die These, dass sich eine Butzenscheibe aus der Mitte einer Mondscheibe generierte, ist nicht haltbar. Eine Definition von Butzenscheiben als kleine, in sich stabile Endprodukte erscheint in Abgrenzung zum Mondglas sinnvoll.

Durch die häufige Erwähnung von Vorbildern *à la façon de Venise* und den intensiven Handel wird die Herkunft der Butzenscheibentechnik mit Italien verbunden. Die frühen französischen Befunde lassen jedoch auch die Hypothese zu, dass der Wissenstransfer über die Zisterzienserklöster von Frankreich aus nach Deutschland gekommen sein könnte. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die Methode wird heute als Schleuderverfahren bezeichnet, obwohl der Begriff für das angewandte Verfahren bei Lamberts nur bedingt zutrifft, denn die geöffnete Glaskugel wird hier nicht durch freihändiges Schleudern in eine Scheibe verwandelt, sondern wie auf einer Töpferscheibe unter konstanter Drehung mit einem Werkzeug auseinandergetrieben.

Die Auswertung der Literaturquellen erlaubt bei Butzenscheiben eine Differenzierung in drei Kategorien: a) *Waldglas* mit einem meist grünlichen Farbstich, b) *gemeine Scheiben* in weitgehend farbloser, wahrscheinlich entfärbter Glasqualität und c) hochwertiges klares Glas *à la façon de venise*. Farblosigkeit wurde angestrebt, konnte jedoch nicht immer erzielt werden. Sie hing von der Wahl des verwendeten Flussmittels und dem damit verbundenen hohen Preis ab. Die beste Glasqualität wurde durch den Einsatz von Soda aus Halophytenasche erzielt, später durch den von Pottasche.

Die ersten Butzenscheiben sind um 1400 in böhmischen Glashütten in Waldglasqualität belegt. Die eigentliche Blütezeit im deutschsprachigen Raum setzte nach heutigem Stand der Forschung erst um 1500 ein. Neben Scheiben in Waldglasqualität waren damals schon farblose Glasscheiben auf dem Markt, wobei nicht geklärt werden kann, ob sie aus Italien importiert waren oder aus heimischer Produktion stammten. Im späten 16. Jahrhundert konnten Butzenscheiben auch

779 VÖLCKERS 1939, 25.

780 Ebd., 24.

781 MERTEN 1954, 292.

782 Ebd., 294.

783 Vgl. BUNDESDENKMALAMT ÖSTERREICH 2015, 144–149; SCHAEFFER 1999, 194.

784 LOIBL 1996d.

in Deutschland in besserer Qualität hergestellt werden. Über einen langen Zeitraum von gut 350 Jahren leisteten Butzenscheiben als Fensterverglasung im sakralen wie profanen Umfeld gute Dienste.

Als Nachteil der Butzenscheiben erwies sich die Beeinträchtigung beim Durchschauen, hervorgerufen durch den Abrissnabel, mindere Glasqualität und Werkzeugspuren. Zudem spricht eine erhöhte Brandgefahr durch den Brennglaseffekt in der verdickten Scheibenmitte gegen den Gebrauch von Butzenscheiben. Die Notwendigkeit eines Bleinetzes und der zusätzliche Arbeitsaufwand durch den erforderlichen Einsatz von Zwickeln wird in der Argumentation gegen Butzenscheiben nicht aufgeführt. Gegen Mitte des 18. Jahrhunderts galten Scheiben als unmodern, da große rechteckige Verglasungen in Holzrahmen eine verbesserte Durchsicht erlaubten. Erst der Rückgriff auf das Mittelalter oder das, was man im 19. Jahrhundert als mittelalterlich hielt, brachte noch einmal ein Aufflackern der Butzenscheibenherstellung, die zwar nur noch vereinzelt, dafür in einer bunten Vielfalt ausgeübt wurde. Die Farbigkeit gotischer Buntglasfenster wurde mit einer inzwischen altertümlichen Butzenscheibentechnik verknüpft, die ursprünglich Farblosigkeit zum Ziel hatte.

4.1.3 Tellerscheibenherstellung

Tellerscheiben, auch Tellerglas genannt,⁷⁸⁵ sind farblose runde Glasscheiben, die aufgrund ihrer Form Butzenscheiben ähneln. Es fehlt ihnen jedoch die bei Butzenscheiben charakteristische mittlere Heftnarbe, so dass der Durchblick ungehindert ist. Charakteristisch sind Durchmesser zwischen 15 und 17 cm,⁷⁸⁶ sie sind also 3-5 cm größer als übliche Butzenscheiben.

In der Regel wird Tellerglas mit einer guten bis sehr guten Glasqualität assoziiert, die die des einfachen Waldglases bei weitem übertrifft. Zuweilen wurden sie daher auch als „*bessere Schwestern*“⁷⁸⁷ der Butzenscheibe bezeichnet. Andere zeitgenössische Bezeichnungen lauten „*lichte Scheiben*“⁷⁸⁸ oder „*durchsichtige Scheiben*“⁷⁸⁹, die sich im Vergleich zu Butzenscheiben durch einen höheren Preis auszeichneten. Zusätzlich taucht in schriftlichen Quellen die Bezeichnung „*Spiegelscheiben*“⁷⁹⁰ auf, für die Werner Loibl aufgrund der hohen, mit Spiegelrohglas vergleichbaren Qualität plädiert. Heute hat sich der auf die Technik bezogene Begriff „*Tellerscheiben*“⁷⁹¹ durchgesetzt.

Die Datenlage zum historischen Herstellungsverfahren von Tellerscheiben ist noch spärlicher als die zu Butzenscheiben. Abgesehen von einer Erwähnung der fertigen Produkte geben historische Quellen keinerlei Auskunft, wie sie entstanden sein könnten. Das



33 Tellergras in St. Laurentius, Thurnau, Bayern, um 1738, mit typischer Schüsselung und hohem Glanz

heutige Wissen basiert daher zum einen auf Rückschlüssen durch Beobachtung an den Befunden selbst, zum anderen auf Rekonstruktionsversuchen zweier Glashütten, die dabei allerdings zu unterschiedlichen Fertigungsmethoden kamen.

Fest steht, dass die anfänglichen Schritte vergleichbar sind mit denen bei der Butzenglasherstellung. Ausgangspunkt ist auch hier das Blasen einer Glaskugel mittels einer Glasmacherpfeife. Typisch sind konzentrische Schlieren als Folge des Formungsprozesses, die hier ohne eine Abrissnarbe in der Mitte entstehen. Ein weiteres typisches Erkennungsmerkmal der Tellerscheibe ist ihre leichte Biegung, die in der Glaserfachsprache als „*Schüsselung*“⁷⁹² bezeichnet wird (Abb. 33).

785 Thomas Noky im Sächsischen Landesamt für Denkmalpflege bevorzugt diesen Begriff.

786 LOIBL 2006b, 711.

787 Ders. 2003b, 105.

788 Ders. 2006b, 711.

789 TARCSAY 2008, 175 f.; WAGNER 1985, 68. Siehe auch LOIBL 2003b, 105.

790 LOIBL 2003b, 105.

791 SEIZ 1994, 20; siehe auch KAUFMANN 2010, 40.

792 Freundlicher Hinweis des Glasermeisters Josef Ganka. Laut SEIZ 1994, 19 wurden die Scheiben in alten Aufzeichnungen als „Schüsselglas“ bezeichnet, wofür sich aber keine Bestätigung finden ließ.

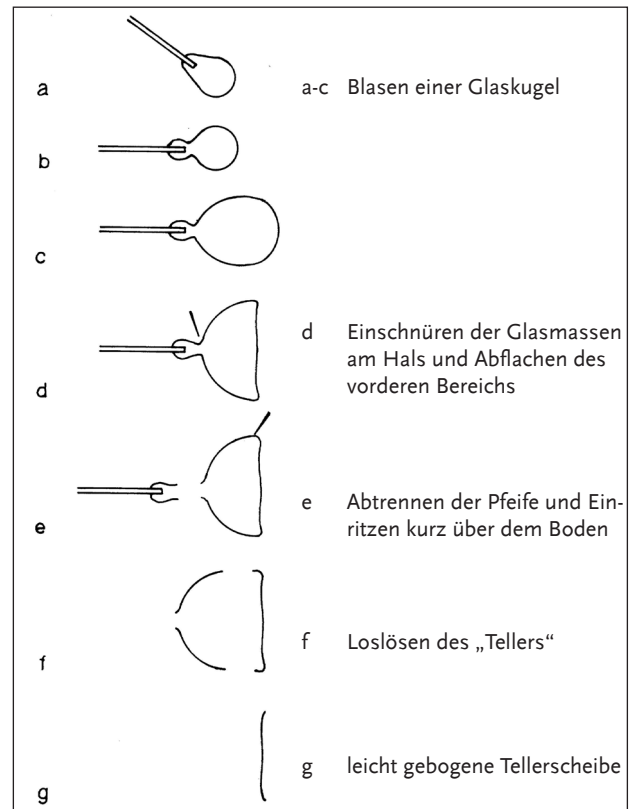


34 Tellerscheibenverglasung mit Ergänzungen in Nördlingen

4.1.3.1 Nach Trumpf 21. Jahrhundert

Vor rund 20 Jahren ist es der Firma Rainer Trumpf in Görlitz, Sachsen, gelungen⁷⁹³, Tellerscheiben für ein Privathaus in Nördlingen nachzubilden (Abb. 34). Die in zwei Artikeln⁷⁹⁴ veröffentlichten Arbeitsschritte des Herstellungsprozesses können in groben Zügen folgendermaßen zusammengefasst werden (Abb. 35):

Mit Hilfe einer Glasmacherpfeife nimmt der Glasmacher heißes Glas aus der Glasschmelze auf, das er zu einem Kölbl formt. Es erfolgen weitere Glasaufnahmen, bis die gewünschte Glasmenge an der Pfeife hängt. Dieser Glasposten wird zu einer Glaskugel geblasen und in einem weiteren Schritt am Hals eingeschnürt, um das spätere Abtrennen der Pfeife zu erleichtern. Es erfolgt nun ein gezieltes Erwärmen des vorderen Kugelbereichs unter konstantem Drehen der Pfeife. Dieser Vorgang führt dazu, dass das Glas im erweichten Bereich abflacht, während der kühle Bereich formstabil bleibt. Danach wird die Pfeife abgetrennt, und der Glasposten nimmt daraufhin die Form eines Erlenmeyerkolbens an. Schließlich wird der Boden abgetrennt, der die spätere Tellerscheibe darstellt. Angaben, auf welche Weise das Abtrennen erfolgt, ob beispielsweise durch Einritzen und Umlegen eines Glasfadens, werden bei Trumpf nicht gemacht. Auch eine Nachbearbeitung



35 Tellerscheibenherstellung nach Trumpf ohne Model, schematische Darstellung von T. Noky

des verbleibenden Randes wird nicht näher erklärt. Der kurze Absatz zur Technik schließt mit der Erwähnung, dass die Scheibe langsam abkühlen muss und dass anfallende Glasabfälle dem Glasgemenge wieder zugeführt werden können.

4.1.3.2 Glasqualität

Die besonders hohe Glasqualität der Tellerscheiben wird einmal mit der Herstellungstechnik begründet, die eine ungehinderte Durchsicht erlaubt, zum anderen bezieht sie sich auf die Farblosigkeit des Glases. Es handelt sich bei Tellerscheiben um entfärbtes Glas in einer besonders klaren Qualität, die auch als *weiße Heilbronner*⁷⁹⁵ bekannt wurde. Die Glashütte Breitenborn bei Büdingen war 1688 auf die Verwendung von Pottasche als Flussmittel umgestiegen und fertigte in der neuen Qualität neben Trinkgefäßen auch Tellerscheiben an.⁷⁹⁶

793 SIEGELIN / TRUMPF 2004, 65; SIEGELIN 2004, 193 f. Die Firma Trumpf produziert nicht mehr.

794 SIEGELIN / TRUMPF 2004, 65.

795 LOIBL 2006a.

796 Ders. 1996c, 91 f.



36a Darstellung der verschiedenen Arbeitsschritte der Hohlglasherstellung, wozu auch Butzenscheiben zählen

Die *in situ* vorhandenen Tellerscheiben in Nördlingen „sind frei von Werkzeugspuren“⁷⁹⁷ und besitzen „wenige kleine Einschlüsse“⁷⁹⁸. Aufgrund der Handelsbeziehungen des Bauherrn nach Venedig wird jedoch angenommen, dass es sich bei diesen Gläsern um importierte Ware handelt.⁷⁹⁹

4.1.3.3 Nach Lamberts 21. Jahrhundert

Auch die Glashütte Lamberts in Waldsassen hat sich mit der Herstellung von Tellerscheiben beschäftigt. Lange Zeit kamen die heute produzierten Scheiben dabei in der Dicke allerdings nicht an die historischen Vorbilder heran.⁸⁰⁰ In jüngster Zeit ist es der Glashütte Lamberts jedoch gelungen, Tellerscheiben den historischen Vorbildern entsprechend dünn herzustellen.



36b Die Detailaufnahme zeigt einen Glasmacher, der einen Glasposten auf eine flache Unterlage drückt

Nach den üblichen anfänglichen Schritten wird bei Lamberts eine Glaskugel in eine tellerartige Form geblasen oder auf eine flache Unterlage gepresst, wie es auch von der Hohlglasherstellung bekannt ist. Die Kugel wird auf diese Weise abgeflacht. Der entstandene Boden wird knapp über dem Rand abgetrennt, wobei gleichzeitig die Glasmacherpfeife entfernt wird.

Eine Entsprechung für das Anpressen zur Herstellung einer Tellerscheibe sieht Verena Kaufmann auf einem Holzschnitt bei Agricola (Abb. 36). Diese Abbildung zeigt einen Glasmacher, der einen Glasposten auf eine flache Unterlage drückt. Das Anpressen dient dazu, den Boden eines Gefäßes

797 SIEGELIN 2004, 192.

798 Ebd.

799 SIEGELIN 2004, 192.

800 SEIZ 1994.

zu formen. Agricola selbst erläutert in seinem Text: „Schließlich preßt er [der Glasmacher, Anm. d. Verf.] das Glas wieder an das Marmorstück, verbreitert so den Boden [...]“⁸⁰¹ Ob es sich hier wirklich um die Herstellung einer Tellerscheibe handelt, ist allerdings ungewiss. Kaufmann sieht ihre Annahme in dem von Seiz dargestellte Schema⁸⁰² (Abb. 37) bestätigt, das sie entsprechend mit „Anpressen der geblasenen Kugel auf Unterlage“⁸⁰³ betitelt.

4.1.3.4 Geschichtliche Einordnung

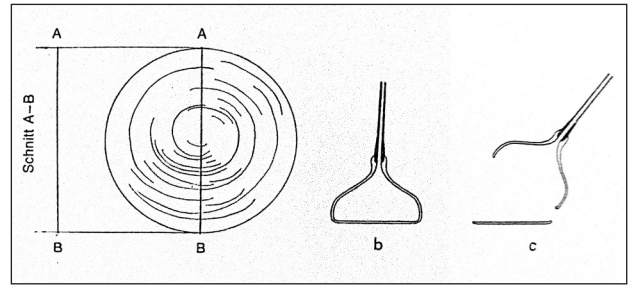
Die Anfänge von Tellerscheiben sind unklar. Die Kenntnis der Technik könnte bereits im 2. Jahrhundert bekannt gewesen sein,⁸⁰⁴ wird aber im deutschsprachigen Raum für die Herstellung von Fensterglas frühestens Anfang des 17. Jahrhunderts greifbar. In der Riegersburg in der Steiermark befindet sich eine Tellerscheibe, die durch Ritzungen, die an ein ausgiebiges Trinkgelage erinnern, vor 1635 datiert werden kann und zu den frühesten archäologischen Tellerscheibenfunden zählt. Dort ist zu lesen:⁸⁰⁵

„Anno 1635, den 6. April,
hat das Sauffen angehebt
und Alle Tage ein Rausch gegeben
biß auff den 16. detto.“⁸⁰⁶

1638 wird auf einem Wochenzettel aus der Hütte Sonnenschlag in Oberösterreich vermerkt, dass ein Scheibenmacher und sein Geselle durchschnittlich „2000 durchsichtige Scheiben“ oder „2500 gemeine Scheiben“ pro Arbeitswoche herstellten.⁸⁰⁷ Wenn man erstere als Tellerglas interpretiert, ist diese Erwähnung eine der frühesten schriftlichen Nachweise für eine Unterscheidung von Tellerscheiben und Butzenscheiben. Demnach war die Herstellung von Tellerscheiben aufwendiger, denn gegenüber Butzenscheiben konnten im selben Zeitraum lediglich 20 % weniger gefertigt werden.

Die in denkmalpflegerischen Kreisen wohl bekanntesten Tellergläser in Nördlingen haben sich zwar *in situ* erhalten, gelten aber nicht als deutsche Produkte.⁸⁰⁸ Ihre Datierung ist zudem nicht eindeutig. Geht man davon aus, dass die Scheiben bauzeitlich sind, dürften sie von 1635 datieren, da die Einritzung mit dem Datum 1660 eine spätere Ergänzung gewesen sein soll.⁸⁰⁹ In Sachsen hingegen sind Tellerscheiben erst ab 1660 nachgewiesen.⁸¹⁰

Ende des 17. Jahrhunderts / Anfang des 18. Jahrhunderts geben mehrere schriftliche Quellen Auskunft über Lieferungen großer Mengen an Tellerscheiben. Die runden qualitativollen Glasscheiben



37 Tellerscheibenherstellung, Schema aus dem Glaserhandbuch

ohne mittlere Verdickung erfreuten sich offenbar wachsender Beliebtheit und konnten mit venezianischen Scheiben konkurrieren.⁸¹¹ 1.000 Spiegelscheiben wurden 1688 von Breitenborn über Köln in die Niederlande versandt.⁸¹² Die Glashütte Frammersbach nahe Lohr, die jedoch nicht zu den kurmainzischen Hütten zählte, lieferte 1701 3.000 Scheiben an das staatliche Gestüt Lichtenau im Spessart.⁸¹³ 1704 wurden Spiegelscheiben für die Neue Residenz in Bamberg bestellt⁸¹⁴, und 1706 erhielt Schloss Biebrich 10.000 Spiegelscheiben aus der Glashütte in Klarenthal⁸¹⁵. 1713 gingen 25.000 „lichte[n] Scheiben“ von Schleichach nach Würzburg.⁸¹⁶ Tellerglasbefunde aus dem 18. Jahrhundert sind vor allem im süddeutschen Raum bekannt z. B. in Dießen, aber auch im Rheingau wurden sie im Kloster Eberbach entdeckt.⁸¹⁷ Diese Befunde sind bislang nicht veröffentlicht worden.

801 AGRICOLA 1556, 506.

802 SEIZ 1994, 20.

803 KAUFMANN 2010, 41.

804 Bei WHITEHOUSE 2001 findet sich ein Hinweis auf eine frühe Tellerscheibe. KOMP 2009, 35 sieht dies kritisch. Zur Möglichkeit, dass Glasmacher eine Scheibe bereits im 2. Jahrhundert n. Chr. ohne Heftmarke herstellen konnten, sei an dieser Stelle nur angemerkt, dass es sich dann wahrscheinlich nicht um eine serienmäßige Herstellungstechnik für einen Fensterverschluss handelte.

805 TARCSAY 2008, 176.

806 Ebd.

807 Zitiert nach ebd., 175 f.

808 SIEGELIN 2004, 192.

809 SIEGELIN / TRUMPF 2004, 63.

810 NOKY 2004, 224.

811 LOIBL 2006b, 711.

812 Ders. 1996c, 91.

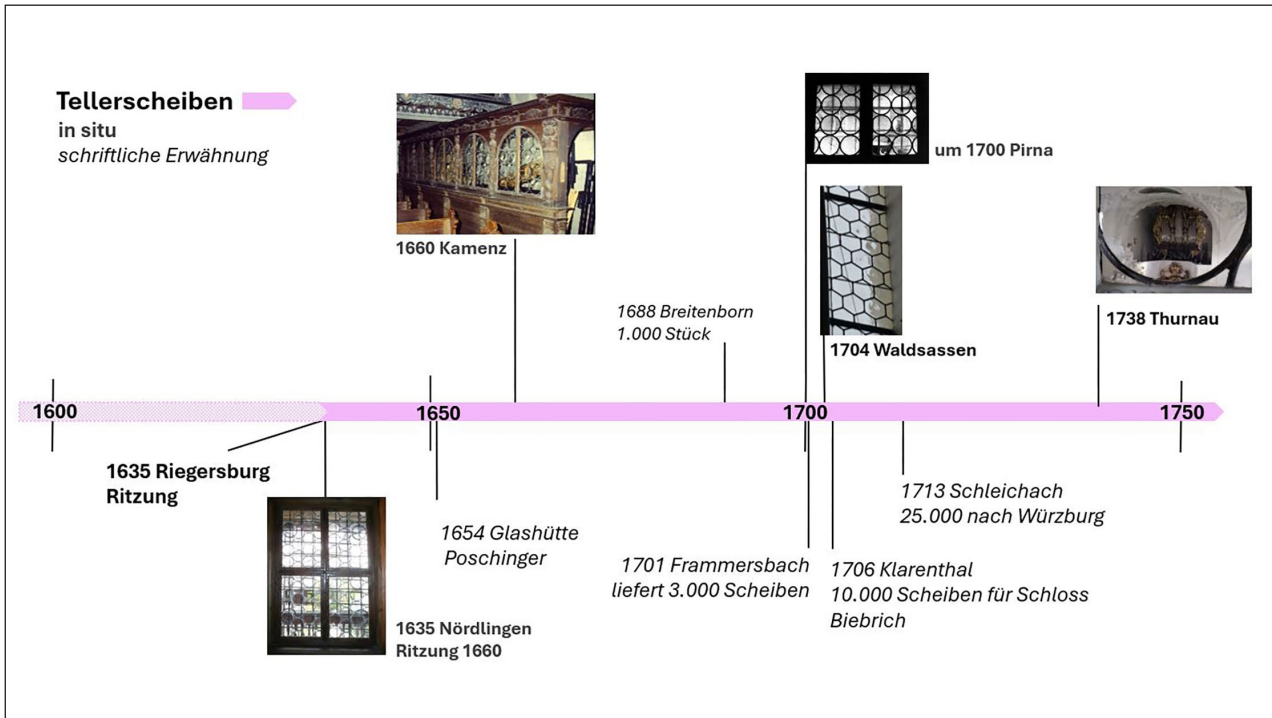
813 Ders. 2012a, 289.

814 KOBLER 2003, 586 geht hier allerdings von Spiegelglas aus. Seine angegebene Quelle konnte nicht verifiziert werden. Vgl. LOIBL 2003b, 105 Fußnote 30.

815 LOIBL 2002, 206.

816 Ders. 2006b, 711.

817 Freundlicher Hinweis von Glasermeister Josef Ganka.



D Eckpunkte zum Einsatz von Tellerscheiben (Zusammenstellung A. Schmölder)

Gegen Mitte des 18. Jahrhunderts kamen Scheiben ganz allgemeinen, ob mit Butze oder ohne, aus der Mode⁸¹⁸ (Abb. D).

4.1.3.5 Resümee Tellerscheibenherstellung

Rekonstruktionsversuche haben gezeigt, dass grundsätzlich zwei verschiedene Arbeitsweisen möglich sind. Entweder wird die Scheibe frei geformt oder in eine flache, tellerartige Model geblasen. Welches Verfahren üblich war oder ob beide verwendet wurden, kann nicht eindeutig benannt werden.⁸¹⁹ Das Prinzip der Tellerscheibenherstellung, wie sie im Glaserfachbuch von Seiz schematisch dargestellt wird, suggeriert ein Anpressen auf einen glatten Untergrund, das so aber nicht unbedingt stattgefunden haben muss.

Wenn das Glas frei geformt wurde und somit keinen Kontakt mit einem anderen Material hatte, dürfte sich dieser Vorgang positiv auf den Glanz ausgewirkt haben. Auch die leichte Krümmung der Scheiben oder Schüsselung, die als Erkennungsmerkmal der Tellerscheiben gilt, spricht für die freie Formung und gegen die Nutzung einer Form. Die Schüsselung widerspricht auch der Vorstellung, die Scheiben könnten mit Schablonen aus einer flachen Glastafel ausgeschnitten worden sein, da die Krümmung das Ausschneiden behindert hätte. Bedingt durch die Herstellungsweise besitzen Tellerscheiben keinen Hohlrand. Es ist nicht beschrieben, wie der leicht hochstehende Rand, der

beim Absprennen des flachen Bodens bleibt, nachbearbeitet wurde. Möglicherweise wurde er durch zusätzliche Erwärmung im Ofen verschmolzen.⁸²⁰

Betrachtet man die Fertigungsmethode von Tellerscheiben als „modelgebunden“⁸²¹, so hätte sie Ähnlichkeit mit der oben erwähnten Technik zur Fertigung von Becherbutzen. Zu bedenken bliebe jedoch, dass der Kontakt der Glaskugel mit der Form wahrscheinlich Spuren auf der Scheibenoberfläche hinterlassen würde, die die Oberflächenstruktur an dieser Stelle beeinträchtigt. Aufschluss können nur weitere detaillierte Untersuchungen am Objekt geben.

Tellerscheibenbefunde tauchen nach bisherigen Erkenntnissen erst relativ spät auf und werden seit dem 17. Jahrhundert als Konkurrenzprodukte zu Scheiben *à la façon de Venise* in deutschen Glashütten hergestellt.⁸²² In der Literatur werden sie wegen ihrer hohen Qualität auch als Spiegelscheiben bezeichnet. Bisher wurde noch nicht erörtert, ob die auch verwendeten Bezeichnungen *lichte Scheiben* oder *durchsichtige Scheiben* nicht teilweise auch für klare Butzenscheiben gelten können. Diese Unschärfen lassen sich nur mit weiterer Forschung klären.

818 Siehe dazu auch Kapitel Rechtecke.

819 KAUFMANN 2010, 40, die auf TARCSAY 2008 verweist. Siehe auch LOIBL 2006b, 711.

820 Freundlicher Hinweis von Cornelius Réer, Glasmacher in Nürnberg.

821 Ebd.

822 Ebd.

4.1.4 Mondglasherstellung

Mondscheiben können als überdimensionale Butzenscheiben⁸²³ betrachtet werden, die allerdings nicht als komplette Einheit verwendet, sondern zerteilt wurden. Den Namen führt man entweder auf das Aussehen der ganzen Scheibe zurück, die einem Vollmond gleicht, oder auf die Halbmonde⁸²⁴, als die sie in Deutschland in den Handel kamen.

Im Gegensatz zu den Herstellungsverfahren von Butzen- und Tellerscheiben ist das Mondglasverfahren gut dokumentiert. Einen Eindruck vom Hüttenbetrieb und der Herstellungstechnik des ursprünglich französischen Verfahrens vermitteln 29 Kupferstiche aus dem Extrabildband der französischen Enzyklopädie von Diderot-d'Alembert.⁸²⁵ Auszüge werden daher auch in der deutschen Glasliteratur gerne zur Veranschaulichung der Mondglastechnik herangezogen.⁸²⁶ Der Begleittext im 17. Textband⁸²⁷, der unter dem Stichwort *Verrerie* das Mondglasverfahren beschreibt, und auch die Erläuterungen im Bildband bleiben jedoch weitgehend unberücksichtigt, da für sie bis heute keine deutsche Übersetzung vorliegt.

Die erste ausführliche Beschreibung der Mondglasherstellung in deutscher Sprache findet sich bei Carl Wigand Tabor in seiner *Anleitung zur Glasmacherkunst*. Allein die „*Mondglasmacherey*“ umfasst 44 Seiten.⁸²⁸ Diese Erklärungen dienen auch Werner Loibl als Grundlage für seine ausführliche Darstellung des Mondglasverfahrens in der dreibändigen Monographie zu den kurmainzischen Spiegelglashütten.⁸²⁹ Dank seiner Französischkenntnisse flossen auch die Texte aus Diderots Enzyklopädie ein, die bereits 1765, separat vom Bildband, erschienen waren. Loibls Ausführungen und Kommentare bieten zusammen mit Diderots Abbildungen den bislang umfassendsten Einblick in die Technik, wenn auch nicht alle Abbildungen aus Diderot gezeigt werden und die Nummerierung dazu fehlerhaft ist und so der Erkenntnisgewinn erschwert wird.

4.1.4.1 Nach Tabor 1818

Neben Tabors Text orientieren sich die nachfolgenden Erklärungen an den bei Tabor im Anhang schematisch dargestellten Arbeitsschritten (Abb. 38).⁸³⁰ Als zusätzliche Veranschaulichung dienen in vielen Fällen die Kupferstiche aus der Enzyklopädie von Diderot, die als Tafeln im Anhang zu finden sind.⁸³¹

Voraussetzung für die Mondglasherstellung war, ähnlich wie noch heute bei der traditionellen Herstellung von Zylindern üblich, ein gut eingespieltes Team von mindestens drei Arbeitern: „*Anfänger,*

Vorblaser [sic!] und Fertigmacher“.⁸³² Die Glasmacher mussten über ein hohes Maß an Geschicklichkeit und starker körperlicher Kraft verfügen, um das beträchtliche Gewicht der Glasmenge zu meistern, die für Mondscheiben von einem Durchmesser von 1 m erforderlich war. In Frankreich verlieh man den Glasmachern daher den Titel „*Messieurs les Gentilshommes*“,⁸³³ den Loibl mit „*glasmachende Edelleute*“ übersetzte.⁸³⁴ Die eingesetzten Werkzeuge waren gegenüber einfachen Butzenscheiben um ein Viertel größer.⁸³⁵ Die Pfeifen hatten eine Länge von bis zu 1,45 m, um die erheblichen Glasmassen aufnehmen zu können.⁸³⁶ Aufgrund der großen Durchmesser der Scheiben mussten auch die Ofenöffnungen entsprechend angepasst werden.

Aufnehmen der flüssigen Glasmasse

Der sogenannte Anfänger oder Aufnehmer beginnt damit, mit einer erwärmten Glasmacherpfeife etwas flüssiges Glas aus dem Hafen zu entnehmen. Auf der Marbelplatte, die bei Diderot entweder an einer Wand angebracht ist oder auf einem Sockel liegt, (Tafeln 11, 13, 14)⁸³⁷ wird der Glasposten verdichtet. Durch Einblasen entsteht eine kleine Höhlung, die ähnlich wie beim Zylinderblasverfahren verhindert, dass die Pfeife verstopft. Danach wird weiteres Glas im Schmelzofen aufgenommen, die Pfeife quer über die Löschbütt gelegt und hin und her gewälzt, um das Glas herunterzukühlen⁸³⁸ (Tafel 12). Die Glasmasse sollte jetzt eine

823 In Ravenna kamen bei Grabungen relativ große Scheiben mit einem Durchmesser von 17 cm und 26 cm zum Vorschein. Unter den bemalten Glasscheiben befinden sich auch einige nahezu farblose KOBLER 2003, 562.

824 TABOR 1818, 111 verweist auf den Halbmond als namensgebend.

825 DIDEROT / D'ALEMBERT 1772. Die Illustrationen zum Mondglasverfahren befinden sich je nach Zählweise im neunten oder zehnten Band. Die Gesamtanzahl der Bildbände beträgt elf, da der zweite Band in zwei Teilen erschien. In der deutschen Faksimileausgabe stehen die Kupferstiche nur in einer verkleinerten Version zur Verfügung.

826 KOBLER 2003, 567–570; SPOERER et al. 1988, 25.

827 DIDEROT / D'ALEMBERT 1765a.

828 TABOR 1818, 111–155 wurde zunächst anonym veröffentlicht. Loibl konnte die Autorenschaft jedoch klären, siehe dazu LOIBL 1996b, 16.

829 Ders. 2012b, 467–497.

830 TABOR 1818 Anhang Tab. VI.

831 Der Vollständigkeit halber werden im Anhang alle 21 Tafeln aus Diderot zum Mondglasverfahren abgebildet.

832 TABOR 1818, 492; siehe auch LOIBL 2012b, 469.

833 DIDEROT / D'ALEMBERT 1765a, 114; TABOR 1818, 112.

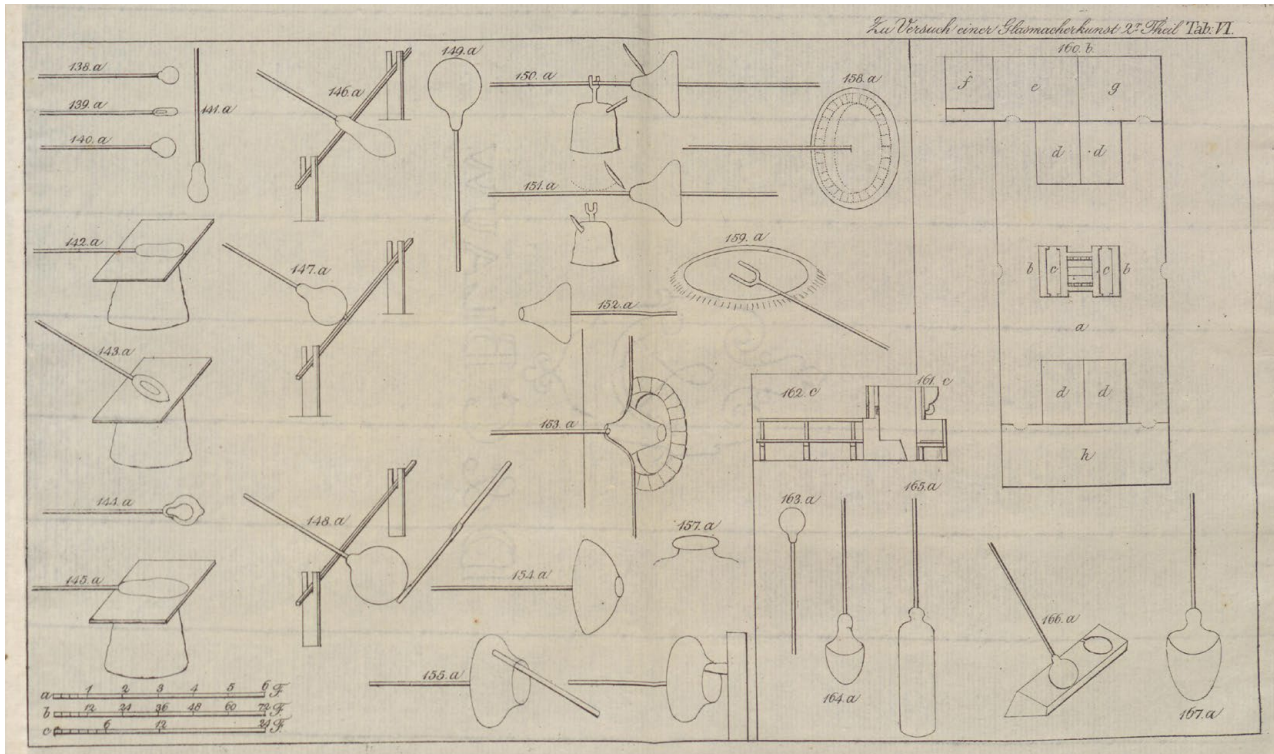
834 LOIBL 2012a, 75.

835 Ders. 2012b, 471.

836 TABOR 1818, 78. Siehe auch LOIBL 2012b, 471.

837 Bei TABOR 1818, 142 ist die Marbelplatte aus Eisen.

838 Ebd., 140.



38 Mondglasverfahren, schematische Darstellung, Fig. 138 (a) bis Fig. 159 (a)

„vollkommen kugelförmige Gestalt“⁸³⁹ annehmen, „die so gerade an der Pfeife sitzt, als wäre sie mit derselben auf der Drehbank abgedreht“⁸⁴⁰ (Abb. 38 Fig. 140a). Der Anfänger achtet darauf, dass in Vorbereitung für spätere Arbeitsschritte genügend Glas über den Pfeifenkopf hinausgeht⁸⁴¹. Eventuell vorhandene Steinchen werden mit einem kleinen Eisenhäkchen (Tafel 10) herausgenommen und Verschiebungen der Masse mit einem Brettchen ausgeglichen. Wenn das Glas *steht*, also erstarrt ist und sich nicht mehr bewegt, kann weiteres Glas aufgenommen werden. Insgesamt erfolgen vier Glasaufnahmen, je nach gewünschter Mondscheibengröße. Die letzte Aufnahme am Ofen weicht von den vorigen etwas ab, weil die Pfeife nicht mehr ganz so tief in die Glasschmelze getaucht und auch nur noch ein Teil erwärmt wird, damit sich nicht zu viel Glas zur Pfeife hin sammelt. Der Gestalt des Glaspostens verändert sich dadurch.⁸⁴² Mit diesem Schritt, so Tabor, hat der Anfänger seine Aufgabe erledigt und übergibt an den Vorblaser.

Formen des Glaspostens durch Einblasen

Der Vorblaser geht nach der letzten Glasaufnahme nicht wieder zur Löschbütt, sondern hält die Pfeife unter ständigem Drehen senkrecht, so dass ein Teil der Glasmasse vom Pfeifenende herunterzieht (Abb. 38 Fig. 141a). Im Anschluss wird der Glasposten

auf der Marbelplatte kontinuierlich gewälzt, um allmählich die Gestalt eines „abgekürzten geraden Kegels“⁸⁴³ anzunehmen (Abb. 38 Fig. 142a; Tafel 13 Fig. 1). Währenddessen bläst der Vorblaser kräftig in das Rohr, um die Hohlung, auch „Hohlung“⁸⁴⁴ genannt, im Glas zu vergrößern. Da die äußere Fläche durch das Marbeln bereits ziemlich abgekühlt ist, dehnt sich die Hohlung mehr in der Länge als in der Breite⁸⁴⁵ (Abb. 38 Fig. 143a). An dieser Stelle weist Tabor auf das hohe Maß an Geschicklichkeit der Glasmacher hin:

„Es gehört übrigens eine starke Uebung dazu, bis man blasen, und zugleich die Pfeife umdrehen lernt, die Lippen müssen daher sehr genau an das Mundstück angeschlossen werden, damit der Wind nicht eben vorbeigeht, auch muß der Arbeiter nie vergessen, die Zunge vor die Oeffnung des Rohrs zu halten, wenn er Athem holet, sonst könnte ihm die aus dem Rohr zurücktretende heiße Luft böse Zufälle verursachen.“⁸⁴⁶

839 TAVOR 1818, 140

840 Ebd.

841 Ebd., 140, 141.

842 TAVOR 1818, 141.

843 TAVOR 1818, Ebd., 142.

844 Ebd.

845 TAVOR 1818, 142.

846 Ebd.

„Hitze geben“

Das nächste Erwärmen im Ofen wird in der Fachsprache der Glasmacher als „die erste Hitze geben“⁸⁴⁷ bezeichnet. Unter permanentem Drehen wird das Glas erhitzt, um danach ganz behutsam auf der Marbelpatte gewendet zu werden. Gleichzeitig wird wieder stark in die Glasmacherpfeife geblasen. Dieses Mal weitet sich die Hohlung in die Breite (Abb. 38 Fig. 144a).

Bei der zweiten Hitze werden nur der vordere und der mittlere Teil des Glases erwärmt, nicht der Kopf der Pfeife. Indem der Vorblaser die Pfeife senkrecht schwingt, verlängern sich Glasmasse und Hohlung weiter, damit sich am Kegel eine leichte Spitze bildet (Abb. 38 Fig. 145a; Tafel 13 Fig. 2). Danach wird das Glas auf der Marbelpatte bei mäßigem Einblasen und gleichzeitigem Rollen langgestreckt (Tafel 14 Fig. 1). Der Vorblaser achtet darauf, dass am Hals Richtung Pfeifenkopf die entsprechende Glasdicke beibehalten wird, da diese Partie später den Rand der Mondscheibe bildet.⁸⁴⁸

Schränkung

Im nächsten Arbeitsschritt wird in Vorbereitung für das Abschlagen der Pfeife der Hals nahe am Pfeifenkopf ringförmig vertieft bzw. *geschränkt*. Im Gegensatz zum Zylinderblasverfahren erfolgt dies durch Wälzen des Glaspostens auf einem Schneideisen (Abb. 38 Fig. 146a; Tafel 14 Fig. 2).

Ausbildung eines Knopfes

Die Spitze des Glaspostens wird gegen das Schneideisen gedrückt, um einen Knopf genau an der Stelle auszubilden, an der später das Heftisen angebracht wird und der Nabel der Scheibe entsteht (Tafel 15 Fig. 1). Dieser Bereich muss wegen des beträchtlichen Durchmessers der endgültigen Scheibe vorbereitend verstärkt werden. Zugleich bläst der Vorblaser kraftvoll in das Rohr, so dass sich das Glas nun zu einer „etwas eingedrückten Kugel“⁸⁴⁹ ausdehnt.

„Dritte Hitze“

Bei der dritten Hitze wird der Glasposten nicht mehr ganz in den Ofen gehalten, da der Hals bereits geformt ist. Ist das Glas erweicht, nimmt der Vorblaser es heraus und stützt die Pfeife auf das Schneideisen. Danach setzt er sich auf einen Schemel und bläst das Glas mit

erheblicher Lungenkraft zu einer vollkommenen „Kugel von 15-16 Zoll im Durchmesser“⁸⁵⁰ auf (Abb. 38 Fig. 148a; Tafel 15 Fig. 2). Gleichzeitig ebnet ein Gehilfe oder Pontiljunge mit einem Plätteisen die hervorstehende Spitze ein, indem er damit „beständig gegen den Knopf“⁸⁵¹ drückt, bis diese Partie in der Glaswand eingearbeitet ist (Abb. 38 Fig. 148a). Dieser Vorgang wird in der französischen Enzyklopädie nicht gezeigt. Der Vorblaser übergibt nun die Pfeife dem Gehilfen, der sie dem Fertigmacher aufrecht haltend bringt (Abb. 38 Fig. 149a).

Abflachen der Kugel am Auslaufofen

Der Fertigmacher bzw. Werkmeister übernimmt den Glasballon vor dem *Auslaufofen*, einem speziellen Ofen mit einem extra großen, verschließbaren Ofenloch von 1 m Durchmesser.⁸⁵² Für die Mondglasherstellung war dieser Spezialofen nützlich, stand jedoch nicht in allen Mondglashütten zur Verfügung.⁸⁵³ Nahe der Öffnung wird der inzwischen sehr große Glasballon erwärmt, während die Pfeife in einem Haken ruht, um das kontinuierliche Drehen zu erleichtern.⁸⁵⁴ Um sich vor der Hitze zu schützen, steht der Fertigmacher hinter einem Schirm (Tafel 16 Fig. 1). Durch die partielle Erwärmung und durch die Zentrifugalkraft flacht die Kugel ab, ähnlich wie es die Firma Trumpf im Kleinen bei der Herstellung der Tellerscheiben beschrieben hat. In den Worten von Tabor heißt es: „Die Kugelgestalt verliert sich, sie plattet sich an ihrem vorderen Theil ab.“⁸⁵⁵ Dann wird der Hals des Glases vom Glasmacher eingekerbt (Abb. 38 Fig. 150; Tafel 16 Fig. 2).

Anbringen des Heftisens

Unterdessen wird vom Gehilfen etwas Glasmasse an das vorgewärmte Heftisen angebracht und, während die Pfeife „horizontal in die Gabel des Abschlagstockes“⁸⁵⁶ gelegt wird, an der Stelle an die vorbereitete Mitte der kreisrunden Fläche gedrückt, an der die „Spur des Knopfes“⁸⁵⁷ noch wahrnehmbar ist. Einen Moment lang

847 Ebd.

848 TABOR 1818, 143.

849 Ebd.

850 Ebd. 144.

851 Ebd., 145.

852 LOIBL 2012b, 482 f.

853 Ebd., 483.

854 TABOR 1818, 145.

855 Ebd.

856 Ebd.

857 Ebd.

befinden sich zwei Stangen am Glas, die Pfeife und an der abgeflachten Seite das Hefteisen. Diesen Arbeitsschritt zeigt die Enzyklopädie von Diderot nicht, bei Tabor aber wird er dargestellt (Abb. 38 Fig. 150).

Abschlagen der Pfeife

Um die Pfeife zu entfernen, lässt der Fertigmacher ein paar Tropfen Wasser mit einem nassen Abschlageisen auf die heiße Einkerbung am Hals der Pfeife fallen (Abb. 32 Fig. 151a). Unregelmäßigkeiten am Rand des entstandenen Loches werden mit einer Schere ausgeglichen. Auch dieser heikle Moment des Abschlagens der Pfeife und die Übergabe von der Glaspfeife zum Hefteisen werden bei Diderot nicht dargestellt.⁸⁵⁸ Anhand der französischen Abbildungen ist der Ablauf der Herstellung ohne ergänzende Erläuterungen daher nicht zu verstehen (Tafel 17). Noch trägt der Gehilfe das gesamte Gewicht des Glaspostens am Hefteisen (Abb. 38 Fig. 152a). Dann übernimmt der Fertigmacher und schiebt die geöffnete Glaskugel in den Ofen, um den Glasposten zu erwärmen und gezielt die Öffnung des Glaspostens, auch Maul⁸⁵⁹ genannt, in der Nähe der Ofenöffnung zu erweichen und eventuell geradezurichten (Abb. 38 Fig. 153a). Erst danach wird die Drehgeschwindigkeit erhöht. Durch die Zentrifugalkraft weitet sich das Maul und „*bauchet*“⁸⁶⁰ nach vorne hin (Abb. 38 Fig. 154a; Tafel 18 Fig. 1). Hat das Maul eine Weite von etwa 8-9 Zoll (ca. 20-23 cm) erreicht, wird es von einem Gehilfen außerhalb des Ofens mit einem nassen Brett weiter gedehnt, (Abb. 38 Fig. 155a; Tafel 18 Fig. 2) oder in eine sogenannte *Erweiterungszunge*⁸⁶¹ gelegt (Abb. 38 rechts neben Fig. 155a) und dabei der Rand umgelegt (Abb. 38 Fig. 157a).

Ausbildung einer großen Scheibe durch Schleudern

Beim nächsten Erwärmen im Auslaufofen flacht das Maul weiter ab (Tafel 19 Fig. 1).

„Wenn der Rand des Mauls sich so weit ausgedehnt hat, daß er beynahe die Größe des großen Lochs erreicht hat; hier ist der Augenblick, wo er [der Fertigmacher, Anm. d. Verf.] die Scheibe zurückziehen muß; etwas später würde sie nicht mehr aus dem Loch heraus gehen, und also verloren seyn“.⁸⁶²

Sobald das Glas die notwendige Viskosität erreicht hat, wird es vor der Öffnung des Ofens durch sehr starke Rotation bzw. durch Schleudern in eine flache Scheibe verwandelt (Abb. 38 Fig. 158a; Tafel 19 Fig. 2). Dieser Augenblick gilt als der Höhepunkt der

Mondglasherstellung und wird bei Diderot entsprechend elegant und idealisiert dargestellt.

Abschlagen des Hefteisens

Unter weiterem kontinuierlichen Drehen muss der Glasmacher die Scheibe so lange vertikal halten, bis sie etwas abgekühlt ist und „*nur der Knopf noch dunkelroth glühet*“.⁸⁶³ Erst dann kann er sie auf einer Aschenmulde oder Kohlplatte ablegen, damit auch das Hefteisen durch leichte Hin- und Herbewegung abgetrennt werden kann (Tafel 20 Fig. 1).

Tempern

Der Gehilfe hebt die etwas abgekühlte Scheibe mit einem Brett leicht an, so dass der Fertigmacher mit seiner Scheibengabel darunter gelangen kann,⁸⁶⁴ ohne das Glas zu verkratzen. Auf der Gabel liegend, wird die Scheibe zum Kühllofen gebracht, dessen Öffnung entsprechend breit sein muss (Abb. 38 Fig. 159a; Tafel 20 Fig. 2). Im Ofen, der 150-200 Scheiben auf einmal fassen konnte,⁸⁶⁵ werden die Scheiben senkrecht aneinander gelehnt, wobei der Nabel als Abstandshalter dient. Im Winter dauerte das Temperieren der Mondscheiben 48 Stunden, im Sommer bis zu vier Tage.⁸⁶⁶

Mondglaszuschnitt

Die produzierten Mondscheiben hatten unterschiedliche Durchmesser, die von 1 m bis maximal 1,5 m reichten.

Der Zuschnitt der Mondscheibe erfolgte laut Tabor nach vorgegebenen Mustern zunächst in zwei Halbmonde. Die verdickte Mitte⁸⁶⁷, die an die 6 Zoll betrug, war für „*Fensterscheiben nicht tauglich*“⁸⁶⁸ und wurde

858 TABOR 1818, 146 weist allerdings darauf hin, dass dieser Arbeitsschritt in Frankreich anders vollzogen wird.

859 Ebd.

860 Ebd.

861 TABOR 1818, 147.

862 TABOR 1818, 146; LOIBL 2012b, 491.

863 TABOR 1818, 147; LOIBL 2012b, 494.

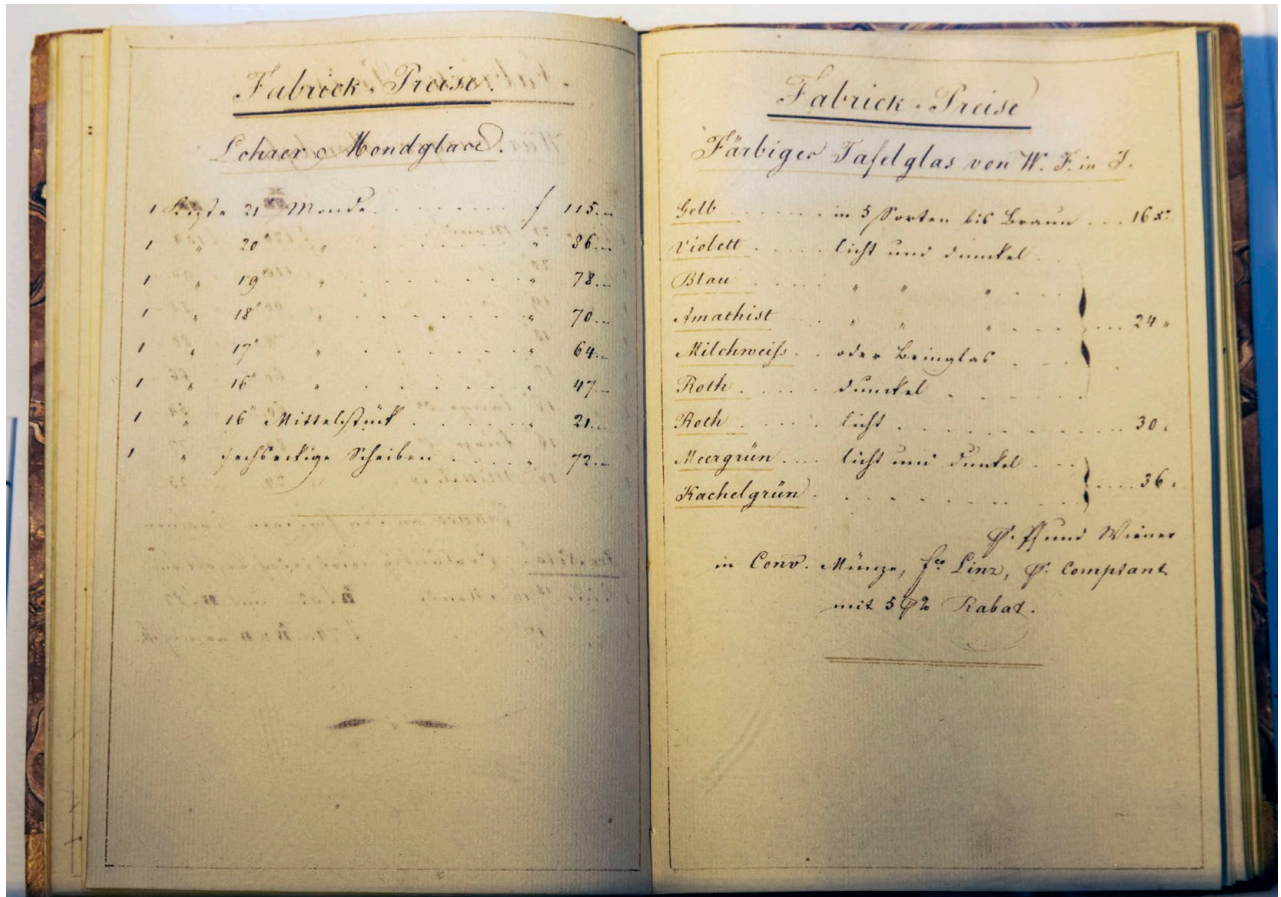
864 LOIBL 2012b, 495.

865 TABOR 1818, 148.

866 Ebd., 149.

867 KRÜNITZ 1801; 21807 nennt beim Mondglas die Verdickung „Galle“.

868 TABOR 1818, 111.



40 Preisliste für Lohrer Mondglasprodukte, links unten Erwähnung „sechseckige Scheiben“

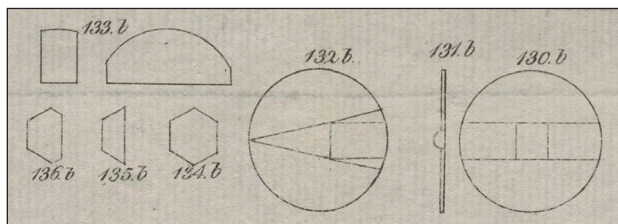
wieder eingeschmolzen. In manchen Fällen scheinen sie jedoch in Laternen Einsatz gefunden zu haben.⁸⁶⁹

Tabor zeigt im Anhang seines Werkes zwei Zuschnitte. Unter Aussparung der dicken Heftnarbe führten entweder zwei parallele oder aber zwei spitz zulaufende Schnitte durch die Scheibe. Dies ergab entweder zwei Halbmonde mit einem Rechteck oder mit zwei größeren Rechtecken, die im Spessart als „Mittelstücke“ bezeichnet wurden⁸⁷⁰ (Abb. 39). Die Halbmonde und die Mittelstücke kamen in den Handel, wobei erstere begehrter waren, da sie größere Flexibilität bei der weiteren Aufteilung erlaubten. Ziel war es, möglichst viele große makellose Glaspartien zu gewinnen. Für 1735 ist vermerkt, dass „400 Stück, franz. tafeln“, also Tafeln nach der französischen Mondglasmethode, aus dem Steigerwald zum Katharinenspital nach Bamberg gebracht wurden.⁸⁷¹ Wenn Fehler in der Scheibe den

Zuschnitt in Halbmonde nicht erlaubten, wurden aus dem Glas noch Sechsecke geschnitten, die gerade im 18. Jahrhundert weit verbreitet waren. Tabor berichtet, dass aus 23-24 Mondscheiben 1.000 Sechsecke hergestellt werden konnten,⁸⁷² d.h. etwa 40 Sechsecke aus einer einzigen ganzen Mondscheibe.

Ein Eintrag in der Preisliste eines Glashändlers aus der Zeit um 1835 dokumentiert die verschiedenen Glasformate, die in Lohr zum Verkauf kamen, darunter „sechseckige Scheiben“⁸⁷³ (Abb. 40). Ausgehend von einer runden Form entstehen bei dieser Herstellungsmethode am Ende lauter eckige Glasformate.⁸⁷⁴

In Deutschland wurden die Mondscheiben in Halbmonden und Mittelstücken verkauft. Dies scheint auch in den Niederlanden üblich gewesen zu sein, wie ein holländischer Stich aus dem Jahre 1694 von Jan Luyken belegt. Er zeigt einen Glaser bei der Arbeit neben



39 Mondglasverfahren, Zuschnitt

869 KAUFMANN 2010, 38; KOBLER 2003, 459.

870 TABOR 1818, 506.

871 LOIBL 2006b, 734.

872 TABOR 1818, 151, 152.

873 Spessartmuseum Lohr.

874 TABOR 1818, 506.



41 Verarbeitung von Mondglasscheiben, die sich im Korb des Glasers befinden. Kupferstich aus dem Ständebuch von Christoph Weigel, 1698. Bei CAEN 2009, 305 ist eine ähnliche Abbildung von Jan Luyken aus seinem 1694 veröffentlichten Buch *Het menselyk bedryf* zu sehen. Es ist möglich, dass Weigel Anregung von Luyken erhalten hat, da das Mondglasverfahren in Deutschland gerade erst angekommen war

einem Korb mit halbmondförmigem Mondglas⁸⁷⁵ (Abb. 41). In Frankreich hingegen wurden die Mondscheiben in gedörrtes Schilfgras verpackt und im Ganzen verkauft, vielleicht weil sie insgesamt kleiner ausfielen als die in Deutschland produzierten (Tafel 1 Fig. 2 u. 3).⁸⁷⁶

Wie wenig differenziert die Kenntnis von der Aufteilung eines Mondglases verbreitet war, zeigt eine Abbildung in dem Buch des ansonsten sachkundigen Otto Völckers. Hier wird die Mondscheibe dekorativ in Rauten und Butzenscheiben zerteilt⁸⁷⁷ (Abb. 42). Vielleicht war Völckers von einer in England publizierten Aufteilung inspiriert worden, die Cooper 1835 als Variation des üblichen Zuschnitts in Rechtecke veröffentlicht hatte⁸⁷⁸ (Abb. 43c). Interessanterweise findet sich bei Cooper kein Hinweis auf einen wabenförmigen Zuschnitt (Abb. 43a, 43b), wie er in Deutschland hingegen verbreitet scheint.

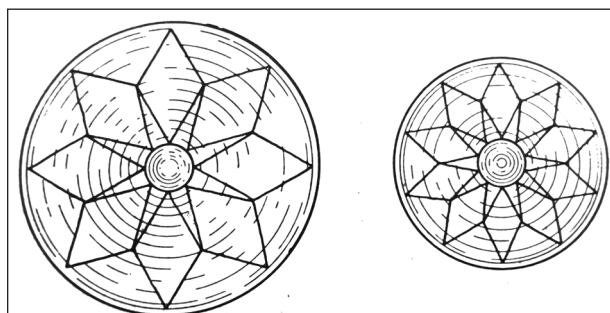


Bild 2: Aufteilung einer größeren Rundscheibe („Mondglas“) in Rauten- gläser und Butzenscheiben; links Achter-, rechts Zehnertheilung

42 Mondglaszuschnitt nach Völckers

4.1.4.2 Glasqualität

Der Vorteil der Mondglasherstellung lag vor allem darin, dass rechteckige oder wabenförmige Formate in hoher Qualität entstehen konnten. Das Glas war laut Tabor, der sich für das Verfahren einsetzte, „vollkommen durchsichtig und von den [...] concentrischen Reifen größtentheils befreiet“⁸⁷⁹. Im Gegensatz zu Zylinderglas besaß Mondglas durch die Feuerpolitur einen Glanz auf beiden Seiten.⁸⁸⁰ Mit der Mondglastechnik wurde eine gleichförmige Oberfläche mit einer „besonders gearteten Reflexions = Fähigkeit“⁸⁸¹ erzielt, die „die Eigenschaft hat, daß man aus einem Zimmer recht gut die äußeren Gegenstände, von Aussen aber bey weitem nicht so gut in ein Zimmer sehen kann“⁸⁸². In anderen Worten: Die Mondscheiben waren glatt, und ihre leichte Krümmung brachte laut Tabor noch einen zusätzlichen positiven Effekt, wenn der Glaser darauf achtete, die gewölbte Seite nach außen zu nehmen.⁸⁸³ Es gibt Mondglas aus dem 18. Jahrhundert, das noch heute wie neu erscheint, nachdem es nur leicht poliert wurde.⁸⁸⁴

Die Qualität des Mondglases wurde hoch eingestuft und seine Herkunft aus dem Spessart, insbesondere aus der Gegend um Lohr, als Gütebegriff verstanden. Johann Wolfgang von Goethe bemerkte in einem gern zitierten Tagebucheintrag, dass die Fensterscheiben in einem Heilbronner Gasthaus aus „Lohrer Glas“ seien.⁸⁸⁵

875 LERNER 1981, 162.

876 TABOR 1818, 153.

877 VÖLCKERS 1944, 15.

878 COOPER 1835, 47 f.

879 TABOR 1818, 112.

880 Ebd.

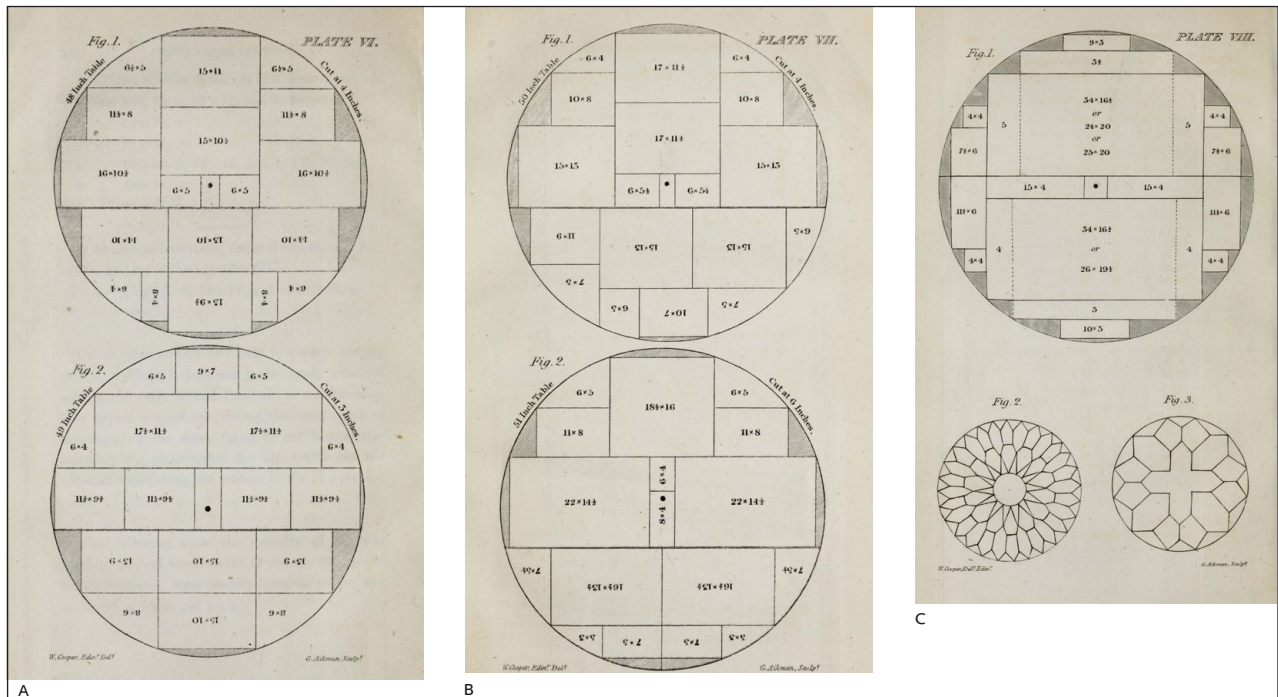
881 TABOR 1818, 112.

882 Ebd.

883 LOIBL 2012a, 43.

884 Freundlicher Hinweis von Josef Ganka, verantwortlicher Glasermeister bei der Restaurierung von St. Michael, Bamberg.

885 Ebd., XIX.



43 Mondglaszuschnitt nach COOPER 1835. a), b) Der Zuschnitt erfolgte in erster Linie in rechteckigen Glasformaten, nur bei c) davon abweichend mit zwei dekorativen Aufteilungen

In der Enzyklopädie von Krünitz werden die „Lohrglas“ oder die „Lohrer“ hingegen als ein Mondglas definiert, das nicht aus einer heimischen Produktion stammte: „[...]so nennt man ein englisches oder venezianisches Kronglas“⁸⁸⁶. Die Unkenntnis geht so weit, dass angenommen wurde, es handle sich nicht um mundgeblasenes Glas: „Dieses wird nicht geblasen, sondern in der Luft geschwungen, wodurch es die Gestalt einer großen Scheibe bekommt.“⁸⁸⁷ Allerdings wird dem Glas die Qualität von Kreidenglas zugesprochen.⁸⁸⁸

Laut Tabor wurde Mondglas mit Pottasche und Soda oder einer Kombination aus beiden hergestellt.⁸⁸⁹ Die Hütten im Spessart und im Steigerwald verwendeten unterschiedliche Flussmittel, was sich vor allem in der Glasfarbe und in der Glasqualität ausgewirkt haben soll. Angeblich war die Verwendung von Soda, wie bei den Franzosen üblich, besonders vorteilhaft, weil das Glas dauerhafter sei, dünner hergestellt werden könne und zu einer grünlichen Farbe führe, die Tabor als angenehm empfand, da es „in ein Fenster gesetzt, dem Auge sehr wohl“⁸⁹⁰ tue. Das „deutsche Mondglas von sehr hellgrüner Farbe“⁸⁹¹ aus dem Spessart kam diesem Ideal sehr nahe. Dagegen kam die Glasqualität aus der Steigerwälder Hütte nicht an, denn

„[...] diese fabricirt das eigentliche Mondglas auch nicht, indem dieses Schleichacher Glas mit dem eigentlichen Mondglas nichts, wie die Form gemein hat, denn es ist ein ganz weißes sogenanntes Kreidenglas, es ist zwar anfänglich sehr schön, allein wegen der dazu gebrauchten Materialien kann es 1. nicht so dünn und leicht wie

das gewöhnliche Mondglas gearbeitet werden, auch ist es 2. bey weitem so dauerhaft nicht, sondern es ist dem Absterben mit der Zeit unterworfen.“⁸⁹²

Die Meinungen hinsichtlich der Qualität bleiben kontrovers. In einer Akte im Bayerischen Staatsministerium für Finanzen wird gerade das Steigerwälder Mondglas „wegen seiner Farblosigkeit, Weiße und Härte“⁸⁹³ mit der Qualität von englischem Flintglas verglichen, das sich sogar für optisches Glas eignete. Ungeachtet der Herkunft war Mondglas für seine hohe Qualität gefragt. Das erst kürzlich in St. Michael in Bamberg entdeckte Konvolut an Mondglas in Form von Waben bestätigt die hohe Qualität: wenige Bläschen, leicht gebogene, aber sehr glatte Oberfläche, wenige Schlieren und hoher Glanz⁸⁹⁴ (Abb. 44)

886 KRÜNITZ ¹1801; ²1807, 243.

887 Ebd.

888 TABOR 1818, 113.

889 Ebd., 125 f.

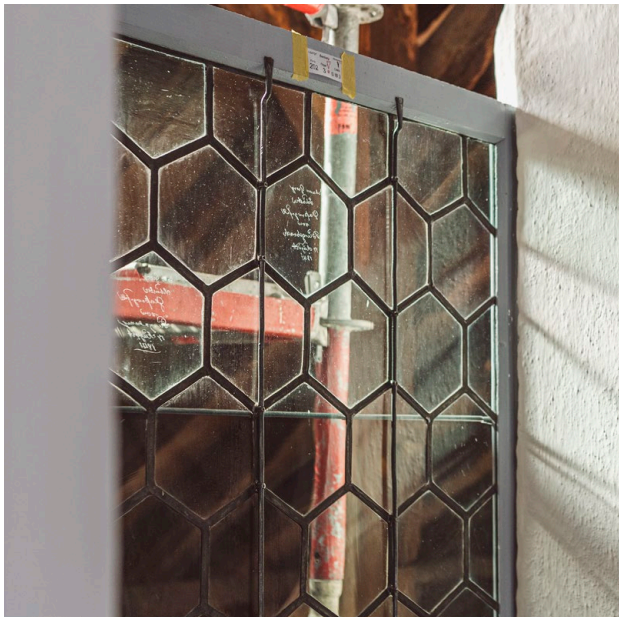
890 Ebd., 112.

891 Ebd., 113.

892 TABOR 1818, 113.

893 Zitiert nach LOIBL 2006b, 112, 113.

894 Freundliche Mitteilung von Glasermeister Josef Ganka.



44 Mondglas in Wabenform auf der Südseite des Chors in St. Michael, Bamberg

4.1.4.3 Geschichtliche Einordnung

Da bis in die jüngste Zeit hinein die Technik der Mondglasherstellung in der deutschsprachigen Fachliteratur irrtümlich mit der Herstellung von Butzenscheiben gleichgesetzt bzw. die Butzenscheibe als Teil einer Mondscheibe betrachtet wurde, werden auch die Anfänge der Mondglasherstellung unterschiedlich beschrieben.

Ende des 17. Jahrhunderts wurde in Frankreich die These in Umlauf gebrachte, das Mondglasverfahren sei im 14. Jahrhundert erfunden worden.⁸⁹⁵ Danach erteilte König Philippe VI. 1330 dem *Squire* Philippe de Caqueray (auch Cacqueray) die Erlaubnis, in Bézu in der Normandie eine Glashütte zu gründen, die La Haye genannt wurde. Jean Lafond konnte jedoch belegen, dass die Familie Caqueray erst im 15. Jahrhundert nach La Haye kam und sich kein Patent oder Privileg von Philippe VI. in den Archiven befindet.⁸⁹⁶ Heute gilt die Caqueray-These daher als überholt.⁸⁹⁷

Die Entwicklung von Mondscheiben im Sinne von großen klaren Glasscheiben wird dennoch in der Normandie gesehen,⁸⁹⁸ von wo aus die Technik nachweislich nach Deutschland kam und dort sogar übertroffen wurde, da größere Scheiben als in Frankreich hergestellt werden konnten. Laut Tabor ist die Mondglasherstellung als eine Weiterentwicklung der Butzenscheibenherstellung zu verstehen, die deren Nachteile überwand.⁸⁹⁹

„Sie [die französischen Glasmacher, Anm. d. Verf.] brachten es dahin, Scheiben von 34-36 Zollen im Durchmesser zu machen, die vollkommen durchsichtig und von den oben angeführten concentrischen Reifen [bezogen

auf Butzenscheiben, Anm. d. Verf.] größtentheils befreiet waren. Einige von ihnen begaben sich zu Ende des 17. Jahrhunderts nach Deutschland, legten anfänglich in dem Brandenburgischen Hütten an, da diese aber keinen Fortgang hatten, so versuchten sie ihr Heil in dem damals kurmainzischen Spessart mit weit besserem Erfolg, wo diese Fabricationsart noch bis auf den heutigen Tag mit Vortheil betrieben wird, und dem berühmten Lohrer Scheiben- oder Mondglas die Entstehung gab. Hier wurde sie auf einen sehr großen Grad der Vollkommenheit gebracht. Nicht allein wurde das Glas viel reiner, ebener, und von angenehmerer Farbe, dargestellt, sondern man machte auch die Scheiben viel größer, von 42-52 Brabanter Zollen, so daß man auch weit größere Tafeln daraus schneiden konnte.“⁹⁰⁰

In Deutschland etablierte sich das Mondglasverfahren zu Beginn des 18. Jahrhunderts durch französische Glasmacher (Abb. E).⁹⁰¹ Das fortschrittliche Mondglasverfahren aus der Normandie kam über Brandenburg in den Spessart. Landgraf Friedrich II. von Hessen-Homburg (1681-1708) hatte 1695 eine Gruppe französischer Glasspezialisten engagiert, die in seiner neu gegründeten Glashütte in Neustadt an der Dosse Spiegelglas nach französischem Vorbild herstellen sollten.⁹⁰² Nach nur drei Jahren musste die Spiegelglashütte in Neustadt an der Dosse aus politischen Gründen schließen. Einige der französischen Glasmacher übernahmen zusammen mit einer Gruppe weiterer Glasspezialisten daraufhin die verwaiste Glashütte in Rechtenbach bei Lohr im Spessart mit dem Ziel, den fürstbischöflichen Bedarf an Spiegelglas und Fensterglas zu decken. Wann genau dort das erste Mondglas produziert wurde, ist unklar, vermutlich war es kurz nach 1700.⁹⁰³ 1716/17 erfolgte in Weibersbrunn, ebenfalls in der Nähe von Lohr, der Ausbau für eine ganz auf Mondglas spezialisierte Glashütte. Mehr als 100 Jahre lang wurde *Lohrer Glas* bzw. wurden *Franzen-Scheiben*⁹⁰⁴ als hochwertiges Fensterglas produziert. Konkurrenz erfuhren die Glashütten im Spessart, als unter der Ägide von Balthasar Neumann, dem fürstbischöflichen *Baudirektor* der Würzburger Residenz, 1733/34 Lohrer Glasspezialisten, darunter der Franzose Anton Herteux,⁹⁰⁵ nach (Fabrik-)Schleichach

895 CHAMBON 1963, 167 vertritt diese Ansicht, siehe dazu auch LAFOND 1969, 37 f.

896 Ebd. 1969, 37 f.

897 STROBL 1990, 62; LOIBL 2003b, 104.

898 TABOR 1818, 111; STEIN 1862, 149.

899 TABOR 1818, 111.

900 Ebd., 111 f.

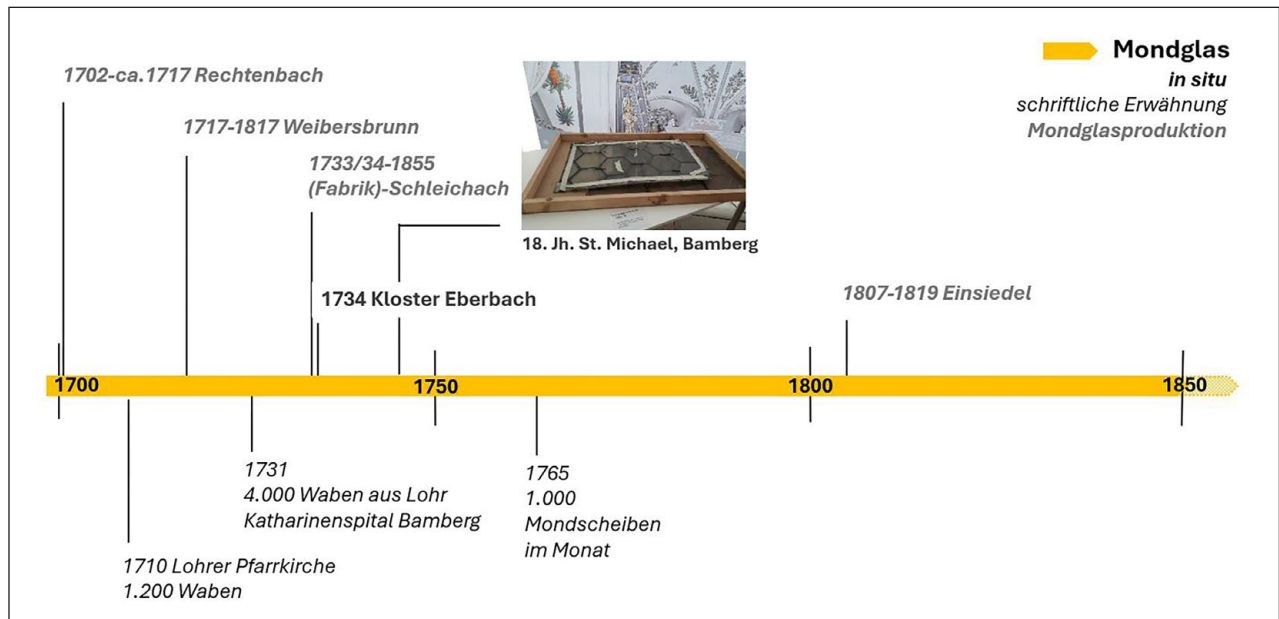
901 SCHMÖLDER 2024.

902 LOIBL 2012a, 87.

903 LOIBL 2012a, 292.

904 Ders. 2002, 216 f. Siehe auch ders. 2006b, 734.

905 Ebd., 82 f.



E Eckpunkte zum Einsatz von Mondglas (Zusammenstellung A. Schmölder)

im fränkischen Steigerwald geholt wurden. Ein Jahr später wurde Heinrich Georg Beyer hinzugezogen, der eine Zeitlang in England die Mondglasherstellung kennengelernt hatte.⁹⁰⁶ Fürstbischof Friedrich Karl von Schönborn⁹⁰⁷ erhoffte sich durch die Etablierung einer eigenen Mondglashütte finanzielle Vorteile für seine Bauvorhaben in Würzburg.⁹⁰⁸ Bis 1755 belieferte die Steigerwälder Hütte auch die von Balthasar Neumann entworfenen Schlösser im Rheinland mit Mondglas.⁹⁰⁹

Durch die intensiven Recherchen von Werner Loibl ist heute bekannt, dass im 18. Jahrhundert für kurze Zeit weitere Mondglashütten in Altengronau und in Kahl im Spessart bestanden und vorübergehend auch in Klarenthal bei Wiesbaden sowie in Spiegelberg und bei Schönthal in Württemberg.⁹¹⁰ 1807 stieg die Glashütte in Einsiedel für 12 Jahre auf die Produktion von Mondglas um.⁹¹¹ Als sie in den Besitz der Grafen von Löwenstein kam, wurde sie in Karlshütte umbenannt und die Mondglasproduktion zugunsten der Flaschen- und farbigen Butzenscheibenherstellung eingestellt. Um 1818 kannte Tabor in Deutschland nur noch die Mondglashütten im Spessart und im Steigerwald.⁹¹² Die Schleichacher Hütte gab als wahrscheinlich letzte Mondglashütte 1855 die Produktion auf.⁹¹³ In Ludwig Lobmeyers ausführlichem Verzeichnis von 1874 ist sie nicht mehr aufgeführt.⁹¹⁴

Ein Blick nach England zeigt, dass dort etwa zur selben Zeit wie in Deutschland das Mondglasverfahren eingeführt wurde. Die Glashütte Bear Garden in Vauxhall in der Nähe von London übernahm die Technik Ende des 17. Jahrhunderts. Der Glasmacher John Bowles soll sie eingeführt haben, entweder durch Kenntnisse, die er in Frankreich erworben hatte, oder aber durch französische Immigranten. Auf Bowles geht

die englische Bezeichnung *crown glass* zurück, da er alle Mondscheiben, die seine Hütte verließen, mit einer Krone kennzeichnete haben soll.⁹¹⁵ Die deutsche Übersetzung *Kronglas* oder *Kronenglas*⁹¹⁶ rührt daher nicht, wie gelegentlich behauptet, von einem bestimmten Herstellungsprozess her und auch nicht von einer gewissen Ähnlichkeit des geöffneten Glasballon mit einem Kelch oder einer Krone.⁹¹⁷

4.1.4.4 Resümee Mondglasherstellung

Hinsichtlich der Technik und der Verwendung von Mondglas besteht aufgrund der fehlerhaften Gleichsetzung der Begriffe Mondglas und Butzenscheibe große Verwirrung. Bislang gibt es keinen direkten Beleg dafür,

906 Ebd., 112.

907 Friedrich Karl von Schönborn war Fürstbischof von Bamberg und Würzburg von 1729-1746.

908 Ebd., 714.

909 Ders. 2012a, 546.

910 Ders. 2003b, 105.

911 LOBMEYR et al. 1874, 252.

912 TABOR 1818, 113.

913 Die Hütte selbst bestand noch bis 1869 LOIBL 1995d, 24; STEIN 1862, 149 kennt um 1862 noch Mondglashütten in „Hannover, Bremen und Baiern“, ohne jedoch nähere Angaben zu machen. Im ausführlichen Verzeichnis von LOBMEYR et al. 1874, 145–169 erscheinen sie nicht.

914 LOBMEYR et al. 1874, 145–169.

915 McGRATH / FROST 1961, 42; BARKER 1960, 51.

916 JACOBSSON 1782, 109; THIENE 1931, 1939, 797; KÖNIG et al. 1934, 113.

917 SPRINGER 1963, 24; SCHAEFFER 1999, 194; KOBLE 2003, 549.

dass in Deutschland vor dem 17. Jahrhundert rechteckige Formate aus einer großen Butzenscheibe herausgeschnitten wurden. Das Mondglasverfahren, das im späten 17. Jahrhundert aus Frankreich importiert wurde, hat sich nach heutigem Kenntnisstand vor allem im süddeutschen Raum entwickelt und dort insbesondere in den Regionen Spessart und Steigerwald. Die hohe Qualität der Produkte aus dem Spessart verdichtet sich im Namen *Lohrer Glas*. Aufgrund der Schleudertechnik erhält das Glas auf beiden Seiten eine Feuerpolitur, die den besonderen Glanz des Glases ausmacht. Damit hob es sich vom Zylinderglas ab, dessen Oberfläche durch den Streckvorgang auf einer Seite stumpfer war. Es war wohl die Glasqualität, die Fürstbischof Friedrich Karl von Schönborn bewog, die Gründung einer eigenen Mondglashütte in (Fabrik-)Schleichach im Steigerwald zu unterstützen, um so seine Bauvorhaben mit besonders hochwertigem Fensterglas ausstatten zu können. Unklar ist, wie verbreitet Mondglas zu dieser Zeit war, da bislang kaum Kenntnis von der Herstellungstechnik genommen wurde.

In einem arbeitsteiligen und komplexen Herstellungsprozess mit einer Vielzahl von Einzelschritten setzt sich das Mondglasverfahren deutlich von der Butzenscheibenherstellung ab. Die Glasmacher mussten nicht nur äußerst geschickt und kräftig sein, sondern auch die Fähigkeit besitzen, im Team zusammenzuarbeiten. Ein einzelner Glasmacher war nicht in der Lage, Mondglasscheiben mit einem Durchmesser von über 1 m herzustellen. Die Größe der Mondscheiben erforderte außerdem eine Anpassung der Ofenöffnungen und der Kühlöfen. Allein durch diese Faktoren unterscheidet sich die Mondglasherstellung von der einfachen, schnellen Produktion von Butzenscheiben. Außerdem waren die fertigen Produkte stets eckig, auch wenn sie aus den flächigen Seitenteilen der ursprünglich runden großen Scheibe stammten.

Der Niedergang der Mondglasproduktion setzte im frühen 19. Jahrhundert ein, als ein verbessertes Zylinderblasverfahren größere Glasformate erlaubte. Die Produktion von Mondglas hielt sich daher nur bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts.

4.2 Mechanische Herstellungsverfahren

Mit Einführung der Mechanisierung verlagerte sich das Handwerk zur Ingenieurskunst und damit in einen Bereich, der in Bezug auf die Fensterglasherstellung bislang wenig in die Denkmalpflege einbezogen wurde. Die mechanischen Ziehverfahren, die zunächst noch den Weg über die Herstellung eines Zylinders nahmen, bis dann eine Technik entwickelt wurde, die es

ermöglichte, Glastafeln direkt aus der Glasschmelze zu ziehen, wurden im Vergleich zu den mundgeblasenen Verfahren nur über einen kurzen Zeitraum von wenigen Jahrzehnten angewandt. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel die geschichtliche Einordnung in den Abschnitt Verfügbarkeit integriert. Mit Blick auf die denkmalpflegerische Relevanz liegt hier der Fokus nicht auf der technischen Entwicklung der einzelnen Herstellungsprozesse, sondern darauf, ab wann die jeweiligen Glasprodukte auf dem Markt verfügbar waren.

4.2.1 Mechanische Zylinderziehverfahren

Das Zylinderziehverfahren entwickelte sich aus der Idee, den manuellen Prozess des Zylinderblasverfahrens zu mechanisieren. Vor allem galt es, die Grenzen, die durch die menschliche Lungenkraft gesetzt waren, zu überwinden, um die Zylindergröße weiter zu steigern. Zu diesem Zweck wurden bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Frankreich Versuche unternommen, größere Tafeln durch die Nutzung eines Blasebalgs und durch Pressluft zu erzielen.⁹¹⁸ Die größte Schwierigkeit bestand darin, eine gute Verbindung zwischen Blasmechanismus und Pfeife zu erreichen.⁹¹⁹ In Belgien gelang dies schon in den 1870er Jahren.

*„In neuester Zeit wird in Belgien, um aussergewöhnlich grosse Tafelwalzen zu erzeugen, mechanisches Gebläse angewendet, durch welches auch ein verhältnissmässig schwächerer Arbeiter dieselben ohne Anstrengung herzustellen vermag.“*⁹²⁰

In Deutschland gründete sich gegen Ende des 18. Jahrhunderts die *Deutsche Glasgesellschaft m. b. H.*, um *„alle Neuerungen und Patente im Bereich der Tafelglasherstellung zu prüfen und die technische Entwicklung zu überwachen.“*⁹²¹ Ziel war eine mechanische Lösung für das Mundblasverfahren, um das Blasen, den schwierigsten Teil des Prozesses, zu erleichtern und somit größere Glastafeln herzustellen. Außerdem erhoffte man sich eine zusätzliche Einsparung an Zeit, Kraft und Material.

4.2.1.1 Sievert-Verfahren 1901

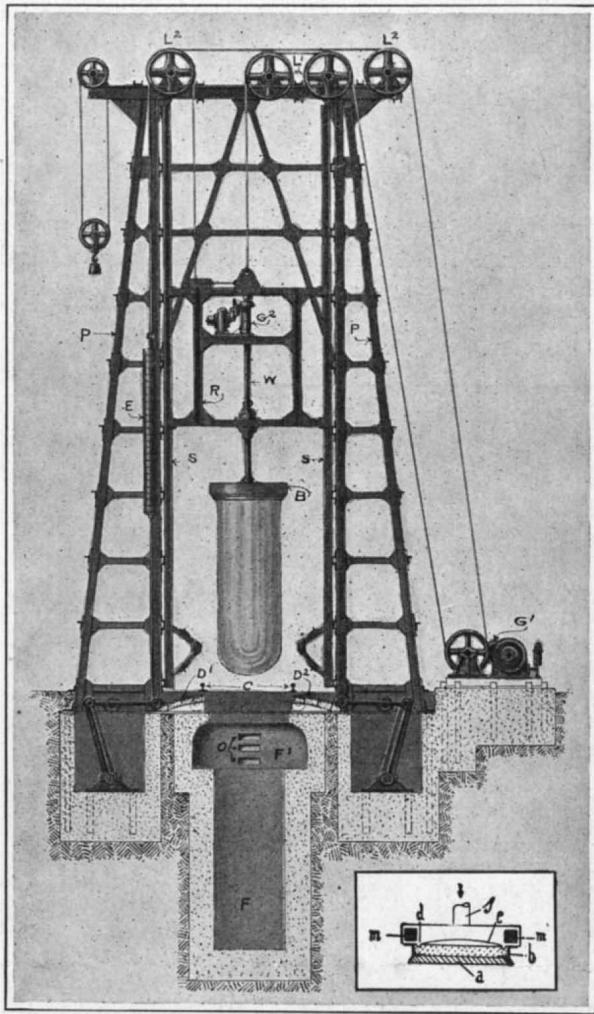
1901 starteten in der Hütte Saxonia in Brand, Sachsen, Versuche der mechanischen Zylinderglasherstellung mit einer sogenannten Sievert-Maschine des Ingenieurs Paul Theodor Sievert aus Dresden. Sievert hatte

918 LENG 1854, 294; WENDLER 1911, 837.

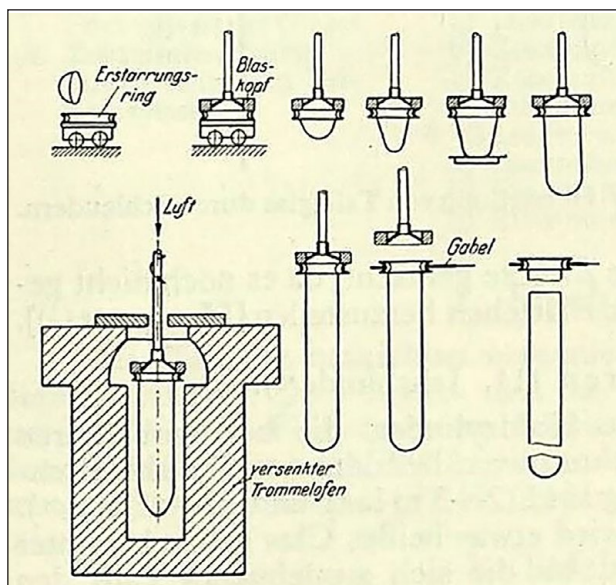
919 LENG 1854, 294.

920 LOBMEYR et al. 1874, 160.

921 FESTSCHRIFT 1951, 30.



45 Sievert-Verfahren, Darstellung mit hohem Ziehgerüst und einem Trommelofen im Schacht



46 Sievert-Verfahren, schematische Darstellung. Oben links Abbildung beweglicher Wagen mit Eisenring, in den heißes Glas gegossen wird

sich einen Namen mit pressluftbetriebenen Apparaten zur Herstellung von Hohlglasgefäßen gemacht.⁹²² Die Versuche mit der auch als „Fensterglas-Blasmaschine von P. T. Sievert“⁹²³ bekannten Maschine wurden 1909 eingestellt. Dennoch stellte Alfred Wendler das Verfahren 1911 im Standardwerk von Robert Dralle noch einmal ausführlich vor.⁹²⁴

Das Verfahren ist aufwendig und die erforderliche Maschine kompliziert (Abb. 45). Zunächst wird flüssiges Glas aus einer Wanne geschöpft und in eine von einem Eisenring umschlossene Form gegossen. Dieser liegt auf einer Metallplatte auf einem beweglichen Wagen (Abb. 46). Das ausgegossene Glas breitet sich dort gleichmäßig aus. Nach ersten Versuchen wurde das Verfahren verbessert, indem eine vorgefertigte Rille zwischen Ring und Metallplatte eingefügt wurde. In diesen Zwischenraum dringt dann das flüssige Glas ein, um den späteren Zylinderrand zu bilden. Das fahrbare Gestell wird nun unter ein etwa 9 m hohes Ziehgerüst geschoben, an dem ein metallener *Blaskopf* mit einer Pressluftzuleitung installiert ist. Der Kontakt mit der kalten Metallplatte lässt das Glas nach wenigen Sekunden fest werden, so dass der fahrbare Gießtisch entfernt werden kann. Das Glas löst sich sodann von der Platte, da es nicht am Metall haftet, wird aber am Rand durch die Rille gehalten und beginnt durch das Eigengewicht in der Mitte nach unten durchzuhängen. Von oben dockt der heruntergesenkte metallene Blaskopf mit seiner Pressluftleitung am Eisenring an, unterstützt durch die elektromagnetische Wirkung von Metall, die auch eine dichte Verbindung zwischen Blaskopf und Rand bewirkt. Im Formungsprozess wird der Zylinder zum Teil mit Hilfe einer Holzplatte gestaut. Um das schnell erkaltende Glas formen zu können, muss der werdende Zylinder zwischendurch in einem sogenannten *Trommelofen*⁹²⁵, einem Schacht mit entsprechender Tiefe, erwärmt werden. Durch wiederholtes Einsenken und Erwärmen unter kontinuierlichem Einblasen von Pressluft dehnt sich das Glas bis zur gewünschten Zylindergröße aus.

Hat das Glas die gewünschte Größe erreicht, wird der Ring zusammen mit dem Zylinder vom Blaskopf gelöst, indem die elektromagnetische Wirkung durch Ausschalten des Stroms gestoppt wird. Eine in einer Laufkatze aufgehängte Gabel nimmt den Zylinder auf. Im nächsten Schritt wird die Kappe, die auch Kalotte genannt wird, abgesprengt. Dazu bedient man sich

922 Festschrift 1951, 30; Wendler 1911, 837.

923 Ebd., 967.

924 Ebd., 967–983.

925 Ebd., 974 spricht von Feuertrömmel.

eines heißen Glasfadens.⁹²⁶ Das Aufschneiden des Zylinders wird weder im Polytechnischen Journal noch bei Wendler oder Thiene erwähnt. Thiene konstatiert ganz allgemein, dass die weiteren Prozessschritte des Streckvorgangs mit dem „Mundglasverfahren“⁹²⁷, hier ist das Zylinderblasverfahren gemeint, vergleichbar seien. In Dralles Standardwerk hingegen beschreibt Alfred Wendler das Strecken. Dafür werden, im Unterschied zum üblichen Zylinderblasverfahren, die Zylinder vor dem Strecken je nach Größe in zwei oder drei Segmente zerteilt (Zylinder von bis zu 62 cm in zwei Teile, größere in drei Segmente). Erwähnt wird auch die Möglichkeit, bei Bedarf eine „62-cm-Walze“ in ein großes Blatt und einen Streifen zu zerlegen.⁹²⁸ Wendler berichtet weiter, dass sich die „muldenförmigen“ Teile von selbst auseinanderlegen, ohne dass ein Glattbügeln nötig sei, wodurch Kratzspuren auf der Glasoberfläche vermieden werden. Da das Bügeln entfällt, behalte das Glas eine „schöne Feuerpolitur“⁹²⁹.

Insgesamt resümiert Wendler, dass nicht nur die Qualität eine bessere sei als bei mundgeblasenen Zylindern, sondern der Prozess erheblich beschleunigt und dadurch kostengünstiger werde. Wendler führt an, während

*„in der selben Zeit, in welcher 130 rheinische, mit dem Munde geblasene Walzen gestreckt werden, können 160 bis 180 Segmente, die unter Umständen größer sind als eine mundgeblasene Walze, gestreckt werden.“*⁹³⁰

Diesen Argumenten zum Trotz setzte sich dieses Verfahren nicht durch.

Die Experimentierfreudigkeit Sieverts zeigt sich in der Erprobung eines weiteren, ungewöhnlich anmutenden Vorgangs für die Herstellung von Glastafeln, der der Vollständigkeit halber aufgeführt sei. Dabei werden Tafeln aus den Seitenflächen einer sehr großen, rechteckigen Hohlform an den Kanten auseinandergeschnitten. Das Verfahren erinnert an eine ähnliche Methode aus der Zeit der Römer, bei der eckige Flaschenseiten für Flachglas hergenommen wurden.⁹³¹ Sievert hat seine Idee zwar patentieren lassen, aber sie wurde allem Anschein nach nicht weiter verfolgt.⁹³²

Glasqualität

Abgesehen von der erwähnten Feuerpolitur werden bei Wendler keine weiteren Aussagen zur Glasqualität getroffen. Da bislang kein Referenzmaterial bekannt ist, ist es nicht möglich, sich ein eigenes Bild zu machen.

Verfügbarkeit

Die Sievert-Maschine fand zunächst keinen Anklang in Deutschland, sondern nur im französischen Jeumont, nahe der belgischen Grenze.⁹³³ Erst als sich die *Deutsche Glasgesellschaft* auf Initiative der Tafelglashütte Gebr. Müllensiefen, Crengeldanz, gegründet hatte, gelang es 1901, eine Lizenz zu erwerben und eine Sievert-Maschine in der Glashütte *Saxonia* in Brand bei Freiberg in Betrieb zu nehmen. Die komplizierte Anlage war jedoch störanfällig und letztlich doch nicht wirtschaftlich. Insgesamt waren die Versuche nicht so erfolgreich, wie man es sich erhofft hatte. Nach nur acht Jahren Betriebszeit wurde das Sievert-Verfahren 1909 aufgegeben und stattdessen das Lubbers-Verfahren übernommen.⁹³⁴ Nur in Russland wurde, noch vor 1917, in Sudimir eine Anlage für den Grafen Orlov Davidov errichtet.⁹³⁵

4.2.1.2 Lubbers-Verfahren 1911

Etwa zur selben Zeit, zu der Sievert in Europa experimentierte, wurden in den USA Versuche zur Mechanisierung des Zylinderblasverfahrens durchgeführt. Das nach dem Erfinder John Henry Lubbers benannte Lubbers-Verfahren erlangte 1905 Wettbewerbsfähigkeit⁹³⁶ und fand 1911 auch in Deutschland Einsatz.

Das Lubbers-Verfahren ähnelt im Prinzip dem Sievert-Verfahren, denn auch hier wird mit Pressluft zunächst ein Zylinder hergestellt und in einem weiteren Prozess zu Flachglas gestreckt. Während sich beim Sievert-Verfahren der Glasposten vertikal nach unten ausdehnt, wird der Glasposten beim Lubbers-Verfahren durch eine maschinell geführte, kreisrunde Fangkappe senkrecht und mit kontrollierter Luftdruckzuführung aus der Glasschmelze in die Höhe gezogen. In der Literatur wird das Verfahren daher auch als „Lubbers'sches Walzen-Aushebeverfahren“ bezeichnet.⁹³⁷ Das damals brandneue Verfahren wird 1911 in Dralles Fachbuch *Die Glasfabrikation*⁹³⁸ aufgenommen und beschrieben.

926 WENDLER 1911, 979.

927 THIENE 1931, 1939, 798.

928 WENDLER 1911, 980.

929 Ebd.

930 Ebd.

931 LEE et al. 1987, 181.

932 WENDLER 1901, 279–283.

933 RIEPEN 1929, 25.

934 FESTSCHRIFT 1951, 33.

935 GLOCKER / GERHEUSER 2017, 53; GOERK 1969, 449.

936 THIENE 1931, 1939, 799, laut SPOERER et al. 1988, 87 bereits 1903.

937 SPRINGER 1963, 127.

938 WENDLER 1911, 984–998.

Der Prozess beginnt, indem heißes Glas mit einem großen Gießlöffel aus der Wanne in einen separaten sogenannten Ziehhafen gekippt und dort auf Temperatur gehalten wird.⁹³⁹ Dann senkt sich eine auf Rotglut erhitzte Ziehpfefie mit einem Fangring im Durchmesser des späteren Zylinders in das heiße Glasgemenge. Durch gezielte Steuerung des Luftdrucks aus der Ziehpfefie wird zunächst ein schmaler Flaschenhals ausgebildet, um das spätere Abtrennen des Zylinders zu vereinfachen. Dann wird das Glas auf den Durchmesser des Fangrings geblasen und gleichzeitig in die Höhe gezogen, wobei die Ziehgeschwindigkeit die Glasstärke der Zylinderwand mitbestimmt.⁹⁴⁰

Eine der Schwierigkeiten bestand darin, *„die Glasmasse im Hafen zum Ziehen in solcher Beschaffenheit bereitzustellen, daß sie auch nur ein und dieselbe bestimmte Temperatur in allen ihren Teilen aufweist.“*⁹⁴¹ Die Temperatur des Glasbades hatte Einfluss auf die Wandstärke, die umso dicker wurde, je kälter das Glas war. Mit der Temperatur konnte auch die Ziehgeschwindigkeit reguliert werden. Je niedriger sie war, desto schneller konnte gezogen werden.⁹⁴² Sobald eine Zylinderlänge von etwa 7 m erreicht war, wurde die Ziehgeschwindigkeit kurzfristig stark erhöht, um den Ziehprozess zu beenden. Dadurch zog sich das Glas an dieser Stelle zu einem Glasstrang zusammen, der leicht zu durchtrennen oder abzuschlagen war.⁹⁴³ Danach musste der Zylinder mit einer besonderen Vorrichtung, einer Art Seilbahn,⁹⁴⁴ in die Waagerechte gebracht werden. Wie beim Sievert-Verfahren war es üblich, die Zylinder in Segmente zu zerlegen. Laut Wendler waren es fünf kurze Abschnitte mit einer Länge von 0,56 m.⁹⁴⁵ Die Anzahl der Segmente erscheint in Anbetracht einer Gesamtlänge von über 7 m allerdings gering und kann nur mit einem beträchtlichen Längenverlust durch das Abschlagen der Pfeife und des unteren Zylinderteils, der Kalotte, erklärt werden kann. Thiene vermerkt, dass die Segmente zusätzlich in Halbschalen getrennt wurden. Dies bedeutet in anderen Worten, dass die endgültige Scheibengröße erheblich kleiner ausfiel, als die langen Zylinder vermuten lassen. In nur 15 Minuten konnte so ein Zylinder hergestellt werden. Vorteilhaft war auch der Einsatz von ungelerten Arbeitern zur Bedienung der Maschinen.⁹⁴⁶ Laut Spoerer waren die Zylinder sogar knapp 10 m lang und hatten einen Durchmesser von 0,5 m.⁹⁴⁷ Später wurden Durchmesser von 75-85 cm (unter Umständen sogar 130 cm) bei einer Länge von 13 m erreicht.⁹⁴⁸ Die Dicke konnte von 0,8-4,7 mm variieren,⁹⁴⁹ was als Vorteil betrachtet wurde. Hingegen waren die hohen Schmelzkosten, die durch das Schöpfen aus einer Wanne entstanden, nachteilig. Auch der Glasverlust durch die Rückstände in den Häfen musste in die wirtschaftliche Kalkulation einbezogen werden.

Glasqualität

Anfangs wurde die Glasqualität beanstandet. Das Glas sei zwar rein und frei von Knoten und Steinen und habe auch wenig oder keine *„Rampen“*⁹⁵⁰, aber es sei *„derartig von Luftblasen durchsetzt, daß es [...] nur als Glas fünfter Wahl gehen würde.“*⁹⁵¹ Später beschreibt Wendler das Glas als *„recht gut“*⁹⁵². Zwei Dekaden später wird die Qualität sogar als *„ausgezeichnet“* bewertet.⁹⁵³

Verfügbarkeit

Die Lizenz für das Lubbers-Verfahren hatte in den USA die American Window Glass Co. übernommen. Nach Europa kamen die ersten Lubbers-Maschinen 1909 und wurden in den Hütten von Pilkington Brothers in St. Helens in England aufgestellt.⁹⁵⁴ Über die Empire Machine Co., Pittsburgh,⁹⁵⁵ wurde die Maschinen 1910 auch der Deutschen Glasgesellschaft angeboten, zu der u. a. die Glashütte Witten-Crengeldanz gehörte. Am 11.11.1911 ging dort mit großer Erwartung die erste Lubbers-Maschine in Betrieb.⁹⁵⁶ Auch die Vopelius-Wentzel-Gruppe hatte als Teil der Deutschen Glasgesellschaft eine Lizenz für Sulzbach / Saar erworben, wo 1911 zunächst zwei, später sechs Lubbers-Maschinen in Betrieb genommen wurden.⁹⁵⁷

Die *„wirtschaftliche Überlegenheit über die Handarbeit“*⁹⁵⁸ kam jedoch mit Ausbruch des Ersten Weltkrieges zeitweise zum Erliegen, als die Beschaffung von Maschinenzubehör, z. B. Teeröl, erschwert oder

939 Ebd., 993.

940 Ebd., 896.

941 Ebd., 989.

942 Ebd., 988.

943 Ebd., 994.

944 THIENE 1931, 1939, 799, 800.

945 WENDLER 1911, 994.

946 Ebd.

947 SPOERER et al. 1988, 87.

948 GLOCKER / GERHEUSER 2017, 52; THIENE 1931, 1939, 800.

949 Ebd.

950 WENDLER 1911, 995. „Rampe“ ist ein Glasmacherausdruck für flächenhafte und nicht scharf begrenzte Unregelmäßigkeiten im Glas wie beispielsweise Ziehstreifen. Vgl. JESEN-MARWEDDEL 1960, 62.

951 WENDLER 1911, 995.

952 Ders. 1929, 218.

953 THIENE 1931, 1939, 800.

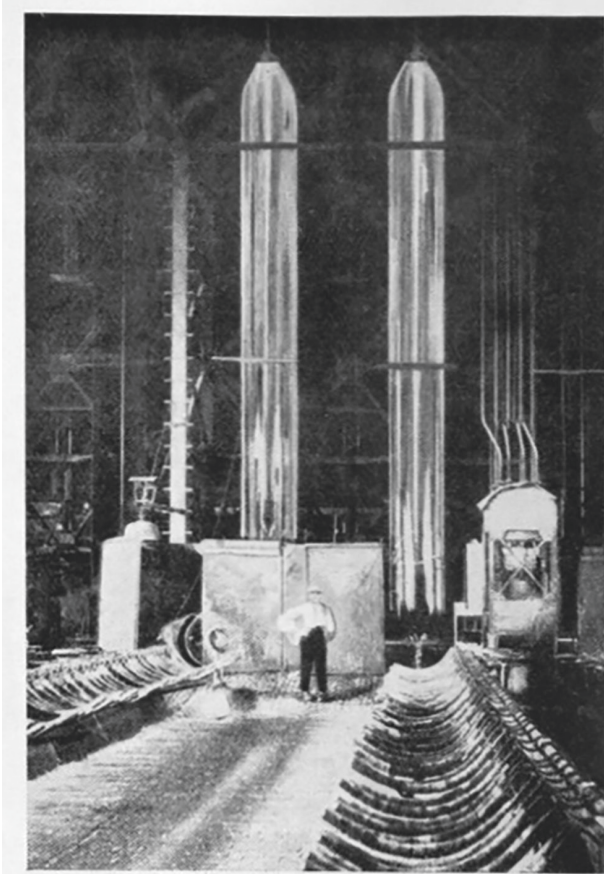
954 WENDLER 1911, 997 f.

955 Wird auch Pittsburgh geschrieben, vgl. GEBR. MÜLLENSIEFEN 1925, 84.

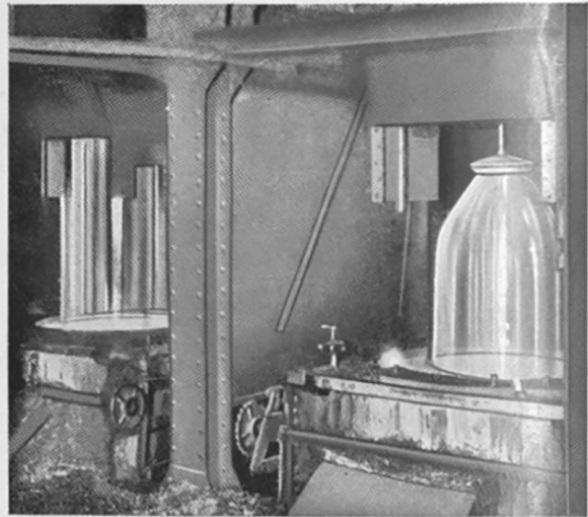
956 Ebd., FESTSCHRIFT 1951, 33.

957 SPOERER et al. 1988, 87.

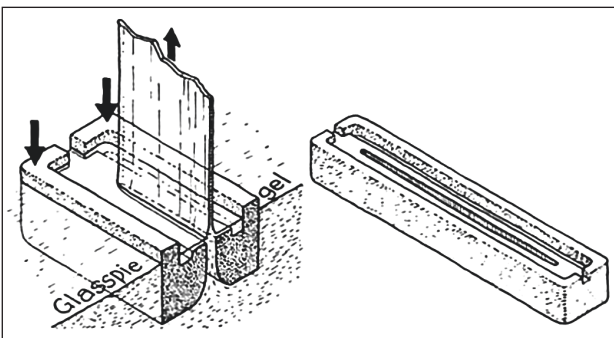
958 WENDLER 1929, 218.



34–35 Mechanisches Zylinder-Ziehverfahren nach Sievert und Lubbers. Nach älteren Lichtbildern aus „Glaces et Verres“, 1929. Rechts: Beginn des Ziehens aus der Wanne; das Mundstück der Druckluftleitung bewegt sich nach oben. Links: Gezogene Zylinder, davor die fahrbaren Gestelle, auf denen sie in den Kühllofen befördert werden, nachdem sie abgelöst und umgelegt worden sind



47 Zylinderziehverfahren, Missverständnis wird nicht zwischen dem Sievert- und dem Lubbers-Verfahren differenziert. Die Halterung zum Hochziehen des Zylinders links entspricht dem Lubbers-Verfahren, wie sie rechts im Detail gut zur erkennen ist



48 Fourcault-Verfahren, Schlitzdüse, die unter die Oberfläche der heißen Glasgemenge gedrückt wird

Material sogar beschlagnahmt wurde. Nach dem Ersten Weltkrieg musste sich das Lubbers-Verfahren außerdem der Konkurrenz durch die Einführung neuer, sehr effektiver Flachglastechniken stellen, mit der Folge, dass das Lubbers-Verfahren bereits Ende der 1920er Jahre in Europa nicht mehr üblich war.⁹⁵⁹ In den Vereinigten Staaten hingegen konnte es sich besser behaupten, da hier der hohe Brennstoffeinsatz durch große Braunkohlevorkommen finanziell nicht so sehr ins Gewicht fiel. Um 1920 wurde in den USA sogar ein Großteil des Fensterglases nach diesem Verfahren hergestellt.⁹⁶⁰

4.2.1.3 Resümee Zylinderziehverfahren

Die Flachglasindustrie versuchte zunächst, das traditionelle Herstellungsverfahren zu mechanisieren. Dafür wurden Maschinen entwickelt, die den handwerklichen Prozess nachahmten und daher für die Flachglasherstellung weiterhin den Umweg über einen Zylinder nahmen. Mit dem Sievert- und dem Lubbers-Verfahren gelang es zum ersten Mal, mit Pressluft und einer mechanisierten Formgebung in kurzer Zeit besonders große Zylinder herzustellen. Während beim Sievert-Verfahren der Zylinder an der Pfeife hängend ausgeblasen wurde, erfolgte die Herstellung des Zylinders beim Lubbers-Verfahren in umgekehrter Richtung, indem das Glas vertikal aus dem Hafen herausgezogen wurde. Der Fortschrittsglaube der Firma Crengeldanz führte dazu, dass das Lubbers-Verfahren übernommen wurde, da man von der Überlegenheit der neuen amerikanischen Methode überzeugt war.

Die Ähnlichkeit der beiden Verfahren hat dazu geführt, dass zwischen ihnen nicht immer differenziert wird. Bei Völckers werden Fotos aus einer französischen Publikation gezeigt, die den beiden Zylinderziehverfahren

959 WENDLER 1929, 217.

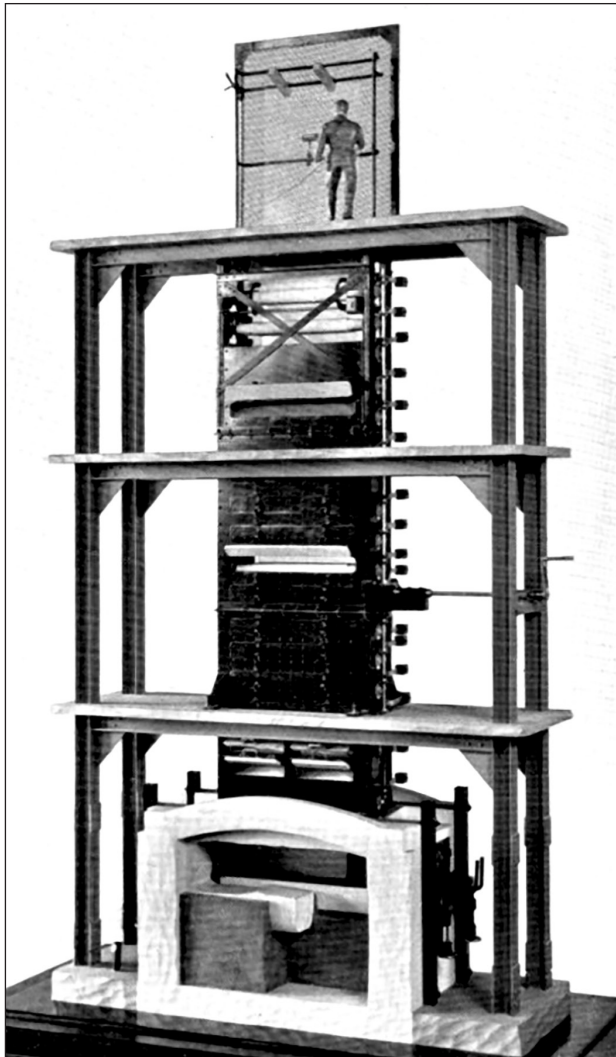
960 SPRINGER 1963, 128.

zugeschrieben werden (Abb. 47),⁹⁶¹ obwohl die Halterung zum Hochziehen des Glases dem Lubbers-Verfahren entspricht, wie sie auch in der Detailaufnahme erkennbar ist.

Die Verfahren nach Sievert und Lubbers haben in der Denkmalpflege keine Beachtung gefunden. Die bisherige Unkenntnis der Verfahren und ihre sehr kurze Anwendungszeit erklären dies, ebenso die fehlende Befundlage.

4.2.2 Tafelziehverfahren

Obwohl die Idee, Glastafeln direkt aus der heißen Glasmasse zu ziehen, um so den Umweg über die Herstellung eines Zylinders zu vermeiden, bereits Anfang des 20. Jahrhundert in Belgien patentiert wurde, fand die Markteinführung erst nach einer langen Experimentierphase statt. Die größte Herausforderung galt der Überwindung der Glaseigenschaft, sich beim Ziehen zu einem Faden zusammenzuziehen. Neben



49 Fourcault-Verfahren. Model einer Fourcault-Anlage. Das Glas wird in einem Band durch seitliche Rollen in eine Höhe von ca. 8 m gezogen, dabei kühlt es so weit ab, dass es geschnitten werden kann

dem belgischen Fourcault-Verfahren entwickelten sich in den USA parallel ähnliche Ziehverfahren wie das Libbey-Owens-Verfahren und später das Pittsburgh-Verfahren. Alle drei Ziehverfahren wurden relativ bald nach der Marktreife auch in Deutschland eingeführt.

4.2.2.1 Fourcault-Verfahren 1924

In Belgien entwickelte Émile Fourcault für sein Ziehverfahren eine besondere Schlitzdüse aus Schamotte, *Débiteuse* genannt, die auf der Oberfläche des heißen Glasgemenges schwimmt (Abb. 48). Wird sie unter die Oberfläche gedrückt, so quillt das Glas aufgrund des hydrostatischen Drucks durch den Schlitz in einem flachen Band nach oben. Oberhalb der Schmelze wird das Glas von seitlichen Führungsrollen erfasst, die verhindern, dass sich das Glasband zusammenzieht (Abb. 49). Insgesamt 16-18 paarweise angeordnete Rollen ziehen das Glasband dann in einem Kühlturm senkrecht empor. Während des Ziehprozesses kühlt das Glasband so weit ab, dass es auf oberster Arbeitsebene, in einer Höhe von ca. 8 m, in einzelne Tafeln zerlegt werden kann. Die Ränder des Bandes, die sogenannten Borten, werden abgeschnitten und später dem Glasgemenge als Glasbruch wieder hinzugefügt.

Für den Beginn des Ziehprozesses hilft eine Fangtafel mit Nägeln, an denen das Glas im Schlitz der *Débiteuse* anhaftet.⁹⁶² Eine Herausforderung stellt die Einhaltung der richtigen Temperatur in der Wanne dar, denn die durch das Herausziehen des Glases entstehenden Strömungen an der sogenannten Tafelzwickel beeinflussen das Schmelzverhalten des Glases.

Die Wannen hatten eine Lebensdauer von 7-8 Jahren. Die Düse, ein besonders empfindlicher Teil der Anlage, musste alle 2-3 Monate⁹⁶³ ausgewechselt werden.

Die Maschinen konnten pro Minute ein 2 mm dickes Glas in einer Länge von 85 cm bis 112 cm ziehen.⁹⁶⁴ Als vorteilhaft galt, dass an einer Wanne bis zu 9 Ziehmaschinen installiert werden konnten.⁹⁶⁵ Eine Glashütte mit 6 Ziehmaschinen konnte an einem Tag in etwa die Jahresleistung von 8 mittelalterlichen Hütten erreichen.⁹⁶⁶

961 VÖLCKERS 1939, 38.

962 KÖNIG 1934, 12.

963 SCHAEFFER 1999, 206.

964 THIENE 1931, 1939, 801.

965 SPOERER 1993, 84.

966 SPOERER et al. 1988, 169.

Die Breite des Glasbandes wurde durch die Länge der Schlitzdüse bestimmt. Üblich waren anfänglich Bandbreiten von 1 m oder 1,5 m.⁹⁶⁷ 1934 berichtet König, dass die größte gesäumte Tafelbreite 2,50 m betrug.⁹⁶⁸ Später soll sie sogar bis zu 2,70 m betragen haben.⁹⁶⁹ Die Glasdicke konnte über die Ziehgeschwindigkeit von 0,5 mm bis 10 mm variiert werden.⁹⁷⁰ Besonders gut eignete sich das Fourcault-Verfahren für Dünnglas unter 1 mm Dicke.⁹⁷¹

Glasqualität

Bereits 1911, als das Fourcault-Glas noch nicht marktreif war, erkannte Wendler das Potenzial des neuen Ziehglases, das er als „*viel ebener als gestrecktes Glas*“⁹⁷² einstufte. Er hielt die Feuerpolitur für vollkommen, „*weil das Glas, bevor es das unterste Walzenpaar erreicht, bereits völlig erstarrt ist*“.⁹⁷³ Aber schon damals wurden Ziehsteifen im Glas bemerkt, die sich als ein typisches Problem des Fourcault-Verfahrens erwiesen und entsprechend diskutiert wurden.

Einen Grund dafür sieht man „*in kleinen Entglasungen, die sich dicht nebeneinander an der Schlitzkante ansetzten*“⁹⁷⁴. An der Düse bilden sich feine Zacken, die sich später als Streifen oder Rillen bemerkbar machen. Der Grund für die Entglasung liegt in Temperaturschwankungen, die durch das längere Verbleiben größerer Mengen zuströmenden Glases unterhalb der Düse entstehen.⁹⁷⁵ Als Gegenmaßnahme wird eine Anpassung der Glaszusammensetzung empfohlen und eine mechanische Entfernung der Zacken vom Schlitzrand.⁹⁷⁶

Der Sodagehalt wurde erhöht und gleichzeitig der Kalkgehalt verringert, wodurch das Endprodukt etwas weniger witterungsbeständig wurde.⁹⁷⁷ Andere Rezepturen versuchten, das Problem mit Magnesiumoxid oder dem Zusatz von etwas Aluminium zu lösen.⁹⁷⁸

Die Ausprägung der Ziehstreifen ist bei dünnen Glas weniger stark. Beim Durchsehen rufen sie jedoch infolge der Linsenwirkung Verzerrungen hervor, die, „*wenn auch schwach, bei jedem gezogenen Glas zu bemerken sind und als ‚Optik‘ des Glases bezeichnet werden*“⁹⁷⁹. Die natürliche Ziehstruktur wird wegen ihrer feinen Wellen als „*Kämmung*“⁹⁸⁰ bezeichnet, bei Schaeffer als „*Zschacke-Linien*“⁹⁸¹. In der 1960er Jahren verbesserte sich die anfänglich unzulängliche optische Qualität des Fourcault-Glases durch patentgeschützte Weiterentwicklungen, deren Lizenzen auch ins Ausland verkauft wurden.⁹⁸²

Um die Oberflächenstruktur zu verbessern, konnten die Glasoberflächen nachträglich veredelt werden, was König bereits 1934 anspricht, aber nicht genauer beschreibt.⁹⁸³

Datierbares Referenzmaterial von Fourcault-Glas in den verschiedenen Qualitätsstufen ist nicht bekannt, so dass diese Entwicklungen im Einzelnen nicht nachvollzogen werden können.⁹⁸⁴

Verfügbarkeit

In Fachkreisen war das Prinzip des Glasziehen schon länger bekannt. Um 1900 beschäftigte sich auch der Glasofenkonstrukteur Émile Gobbe mit dieser Technik. Er fragte bei Émile Fourcault, dem Leiter der belgischen Glasfabrik Frison & Cie. in Charleroi an, ob er Ziehversuche in seiner Glashütte durchführen dürfe.⁹⁸⁵ Unter Verwendung einer speziellen Düse und besonderer Technik gelang es 1904 erstmals, ein Glasband zu ziehen. Obwohl Fourcault die Mitwirkung von Gobbe nie leugnete, wurde das Verfahren unter dem Namen Fourcault bekannt.⁹⁸⁶ Es sollte das erste voll mechanisierte und kontinuierliche Verfahren zur Flachglasfertigung werden.

In der vorhandenen Literatur wird die Einführung des Fourcault-Verfahrens mit dem Einreichen der frühen Patente 1902⁹⁸⁷ und 1904⁹⁸⁸ gleichgesetzt. Häufig wird noch das Jahr 1905 aufgeführt.⁹⁸⁹ Tatsächlich aber lagen zwischen dem Einreichen des ersten Patents bis zur Marktreife weitere 10 Jahre⁹⁹⁰, denn die Marktreife

- 967 SPOERER et al. 1988, 91; nur THIENE 1931, 1939, 801 spricht von 2,5 m.
- 968 KÖNIG 1934, 15.
- 969 SCHAEFFER 1999, 204.
- 970 KÖNIG 1934, 15.
- 971 SCHAEFFER 1999, 205.
- 972 WENDLER 1911, 1014.
- 973 WENDLER 1911, 1014.
- 974 KÖNIG 1934, 18.
- 975 KÖNIG 1934, 30.
- 976 Ebd., 18.
- 977 Vgl. SCHMÖLDER et al. 2019a, 35 f.
- 978 KÖNIG 1934, 16 f.
- 979 Ebd., 18.
- 980 JEBSEN-MARWEDEL / BRÜCKNER 2011, 454.
- 981 SCHAEFFER 1999, 206.
- 982 SPOERER et al. 1988, 176.
- 983 KÖNIG 1934, 40.
- 984 Im Zuge des DFG MatGlas Projektes wurde dieser Aspekt näher untersucht.
- 985 SPOERER et al. 1988, 90–91. Das Verfahren wird ausführlich bei WENDLER 1911, 998–1015 beschrieben. Eine Zusammenfassung ist bei KÖNIG 1934, 3–19 zu finden.
- 986 SPOERER et al. 1988, 91.
- 987 FOURCAULT 1902.
- 988 KRAUTER / FRITZ 2017, 716; THIENE 1931, 1939, 800; SCHAEFFER 1999, 201.,
- 989 LAURIKS et al. 2012, 470; LAUFER 1994, 110 auch im Kleinen Glaslexikon PATURI 1986, 133 wird 1905 angegeben.
- 990 SPOERER 1993, 83 f.; GOERK 1969, 449.

wurde erst 1914 erreicht. Fourcaults Versuche benötigten viel Kapital, so dass er 1910 einwilligte, dem Internationalen Spiegelglaskartell (C.I.) vorzeitig das Patentrecht zum Ziehen von Glas mit einer Dicke über 4 mm zu verkaufen.⁹⁹¹ Die Patentrechte für das dünnere, bis zu 4 mm dicke Glas, behielt Fourcault zunächst. Für sie interessierte sich jedoch ein Kreis deutscher, böhmischer und österreichischer Fensterhersteller. Dies führte 1912 zu einem Vertrag mit Fourcault und zur Gründung der Aktiengesellschaft Verreries de Dampremy. Daneben entstand die Firma Fourcault & Cie., die Inhaberin der Patente in den einzelnen Ländern blieb.⁹⁹²

Gestärkt durch den ausländischen Kapitalfluss der Aktiengesellschaft wurden in Dampremy 8 Ziehmaschinen gebaut, 7 für ein Glasband mit 1 m und eine etwas breitere Maschine für eine Breite von 1,25 m. Die Anlage nahm im Frühjahr 1914 den Betrieb auf, musste aber wegen des Ausbruchs des Ersten Weltkrieges bald wieder stillgelegt werden.⁹⁹³ Auf Betreiben des böhmischen Industriellen Mühlig konnte die Produktion 1916 wieder aufgenommen werden. Für die deutsche Denkmalpflege ist relevant, dass Fourcault-Glas frühestens zu diesem Zeitpunkt erhältlich war und zunächst nur aus Belgien bezogen werden konnte.

Durch den Versailler Vertrag wurden die bestehenden Verträge zwischen Deutschland und Belgien aufgehoben, darunter auch die Lizenzverträge mit Fourcault. Alle nicht-belgischen Patente (das Fourcault-Verfahren betreffend) wurden von einer englischen Gesellschaft erworben und mussten zurückgekauft werden.⁹⁹⁴ Nach Kriegsende gründete die Mühlig Union AG mit Sitz im böhmisch-tschechischen Teplitz 1919 eine Fourcault-Anlage im nahegelegenen Hostomitz.⁹⁹⁵ In Deutschland erwarben im Mai 1921 die Gebr. Müllensiefen, die Vereinigte Vopelius'sche und Wentzel'sche Glashütten GmbH und die Lautzentel Glashütten GmbH gemeinsam eine Lizenz und brachten sie in die neu gegründete Saartafelglas GmbH ein. Ein Jahr später ging eine Fourcault-Anlage in Sulzbach in Betrieb. Technische Schwierigkeiten und die Inflation veranlassten jedoch Gebr. Müllensiefen und Lautzentel, sich aus dem Projekt zurückzuziehen, so dass die Hütte im Oktober wieder stillgelegt werden musste. Erst im April 1924 konnte sie wieder hochgefahren werden, nachdem Vopelius-Wentzel mit der Ersten Böhmisches Glasindustrie AG im Saargebiet die Richardhütte AG für Glasfabrikation gegründet hatte.⁹⁹⁶ Da das Saargebiet damals noch dem Völkerbund unterstellt war, zählt es eigentlich nicht zu Deutschland.⁹⁹⁷ Die erste deutsche Anlage mit vier Maschinen entstand somit 1925 in der alteingesessenen Glasfabrik Crengeldanz in Witten im Ruhrgebiet.⁹⁹⁸ Das Fourcault-Verfahren wurde schnell

von weiteren zahlungskräftigen Konsortien übernommen und der Markt mit Flachglas überschwemmt mit der Folge, dass erste Hütten die Herstellung von mundgeblasenem Fensterglas einstellten, weil sich ihre Produktion nicht mehr lohnte.⁹⁹⁹ 1930 waren die Mundblashütten verdrängt.¹⁰⁰⁰ Aber auch die Anzahl der Fourcault-Betriebe halbierte sich innerhalb weniger Jahre. Der Grund lag in einer Kombination aus fallenden Preisen auf dem Fensterglasmarkt wegen einer Überproduktion, aus daraus resultierenden finanziellen Problemen sowie wegen der Weltwirtschaftskrise. 1932 gab es in Deutschland nur noch sieben Anlagen: St. Ingbert (Saargebiet), Witten-Crengeldanz (Westfalen), Porz (Rheinprovinz), Weiden (Oberpfalz), Kundendorf (Niederlausitz), Czarnowanz (Oberschlesien) und Uhmansdorf (Oberlausitz).¹⁰⁰¹

Zudem waren in Deutschland 1929 die Fourcault-Patente ausgelaufen, so dass die hohen Lizenzgebühren entfielen und die Konkurrenz auf dem Flachglasmarkt sich weiter verschärfte.¹⁰⁰² Um den Absatzmarkt für Flachglas zu regulieren, wurden Kartellabsprachen und Kontingentzuweisungen verabredet. Die gleichzeitig ansteigende Inflation und die sich abzeichnende Weltwirtschaftskrise führten zu einem Preisverfall für Fensterglas.¹⁰⁰³

4.2.2.2 Libbey-Owens-Verfahren 1927

Fast zeitgleich zum Fourcault-Verfahren entwickelte sich in Amerika Anfang des 20. Jahrhunderts das Libbey-Owens-Verfahren, das nach seinem Erfinder auch als Colburn-Verfahren benannt wird.¹⁰⁰⁴ Irving Wightman Colburn¹⁰⁰⁵ hatte ein Ziehverfahren konstruiert, bei dem die Glasmasse frei, d.h. ohne Ziehdüse aus der Wanne gezogen werden konnte.

991 Ebd.

992 Ebd.

993 Ebd.

994 GEHR. MÜLLENSIEFEN 1925, 91; SPOERER et al. 1988, 113–114.

995 Dies. 1988, 114.

996 Ebd., 114–115.

997 Vgl. ebd., 91, 114.

998 Ebd., 91, 93.

999 GOERK 1969, 450; SPOERER 1993, 87 f.

1000 Ebd., 103. Die Glashütte Lamberts wurde erst später wieder in Betrieb genommen.

1001 Ebd., 89, 99.

1002 Ebd., 85, 94–95.

1003 Ebd., 95.

1004 KÖNIG 1934, 19–31; SPOERER et al. 1988, 116–120 und SCHAEFFER 1999, 209 f.

1005 Bei SPOERER et al. 1988, 119 „Waightman“, wahrscheinlich ein Schreibfehler, laut Wikipedia 2023 Wightman.

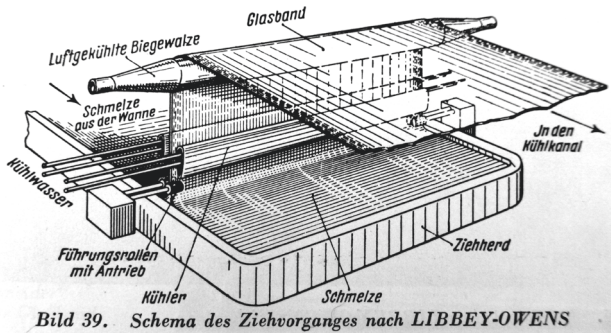


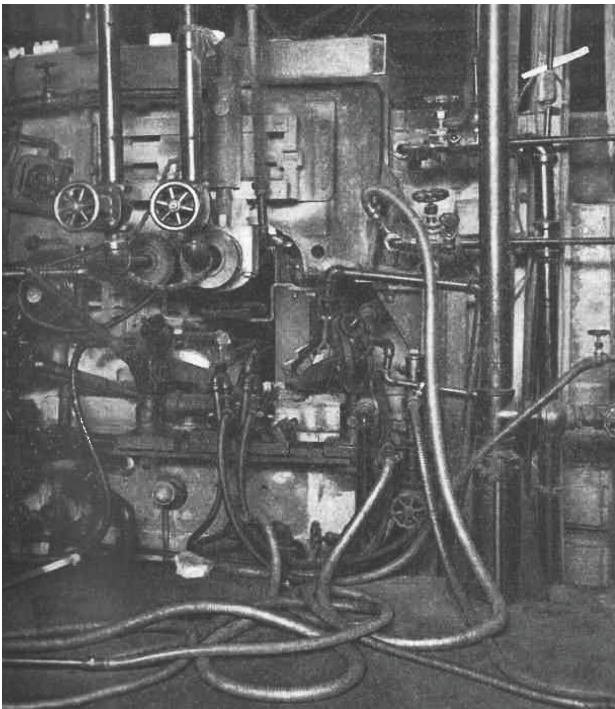
Bild 39. Schema des Ziehvorganges nach LIBBEY-OWENS

50 Libbey-Owens-Verfahren, das Glasband wird aus der Wanne gezogen, unten durch den Bortenhalter geführt und in die Horizontale gezogen

Anders als beim Fourcault-Verfahren wird das Glas nur bis etwa 1 m¹⁰⁰⁶ senkrecht nach oben gezogen und danach über eine Biegewalze¹⁰⁰⁷ in die Waagerechte umgelenkt (Abb. 50). Hohlwalzen, sogenannte Bortenhalter, stabilisieren das Glasband beim Herausziehen.

Mit einem speziellen Zugmechanismus erhält das Glas die gewünschte Dicke und wird anschließend mit einem Förderband durch einen etwa 60-65 m langen Kühlkanal transportiert¹⁰⁰⁸ (Abb. 51). Dabei regulieren seitliche Gasbrenner den allmählichen Temperaturabfall. Am Ende des Förderbandes ist das Glasband soweit erkaltet, dass es sofort auf einem Tisch in gleichlange Stücke zerteilt werden kann.

Nur um den Prozess in Gang zu bringen, wird ein an Ketten befestigter Fangstab verwendet, an dem das



52 Libbey-Owens-Maschine, ein komplexes System von Schläuchen für Kühlwasser, Kühlluft und Heizgas machte die Maschine anfällig



51 Libbey-Owens-Verfahren, waagrecht geführter Kühlkanal

Glas haften bleibt. Er wird wieder entfernt, sobald er die Biegewalze und den Zugmechanismus passiert hat.¹⁰⁰⁹ Das Glasband wird direkt an der Schmelzoberfläche durch zwei geriffelte und wassergekühlte Hohlwalzen, auch Bortenhalter genannt, abgekühlt, damit es sich auf ca. 70 cm Höhe in die Horizontale umbiegen lässt.¹⁰¹⁰ Am Rand des Glasbandes treten Entglasungen auf, die später abgeschnitten werden. Durch die vielen Schläuche für Kühlwasser, Kühlluft und Heizgas war die Maschine komplizierter als eine Fourcault-Anlage (Abb. 52). Die durchschnittliche Laufdauer betrug lediglich drei Monate. Die Biegewalze musste sogar alle zwei bis drei Tage zum Nachpolieren ausgewechselt werden.¹⁰¹¹ Außerdem ließen sich nur zwei Ziehmaschinen an eine Wanne anschließen. Dennoch hatte die Libbey-Owens-Maschine fast die doppelte Leistungstärke wie die von Fourcault.¹⁰¹²

Da das Gewicht des Glasbandes nicht wie beim Fourcault-Verfahren senkrecht, sondern waagrecht befördert wird, konnten erheblich größere Dicken von bis zu 30 mm erzielt werden.¹⁰¹³ Die Glasbandbreite wurde von der lichten Breite des Ziehherdes begrenzt und lag aus technischen Gründen und wegen der Abtrennung der seitlichen Glasborten immer etwas darunter. Bei Einführung des Verfahrens waren die Glastafeln 2,00-2,10 m¹⁰¹⁴ breit, später sollen auch 3,60 m¹⁰¹⁵ möglich gewesen sein.

1006 SPOERER et al. 1988, 116; JEBSEN-MARWEDEL / BRÜCKNER 2011, 454; SCHAEFFER 1999, 208 hier 70 cm über dem Glasspiegel.

1007 KÖNIG 1934, 25. Laut König besteht die Biegewalze aus einem „zunderfesten Legierung oder rostfreiem Stahl“. SCHAEFFER 1999, 209 beschreibt die Oberfläche als hitzebeständige Chromnickellegierung.

1008 KÖNIG 1934, 26; SPOERER et al. 1988, 119.

1009 KÖNIG 1934, 26 f.

1010 Ebd., 23 f.

1011 KÖNIG 1934, 28.

1012 Ebd., 29; SPOERER et al. 1988, 116.

1013 KÖNIG 1934, 29; SPOERER 1993, 84.

1014 KÖNIG 1934, 21; vgl. SCHMÖLDER et al. 2019b, 21.

1015 SCHAEFFER 1999, 209.

Glasqualität

Die Glaszusammensetzung spielte eine weniger wichtige Rolle als beim Fourcault-Verfahren, da die Entglasungsgefahr insgesamt geringer war.¹⁰¹⁶ Der Anteil an Flussmittel war beim Libbey-Owens-Verfahren niedriger als beim Fourcault-Glas.¹⁰¹⁷ Fehler, die beim Fourcault-Verfahren durch die Düse auftreten konnten, fielen hier weg. Dafür konnten Beeinträchtigungen durch die Biegewalze und durch den Fördermechanismus entstehen. Bei der Glasstärke waren Ungleichmäßigkeiten quer zur Ziehrichtung über die Breite der Tafel festzustellen. Bei der *Optik* zeigte sich eine geringe Welligkeit in der Querrichtung, so dass die Ziehrichtung insgesamt weniger deutlich sichtbar wurde als beim Fourcault-Verfahren.¹⁰¹⁸ Durch Einwirkung von Hitze mittels Flammen war es möglich, die Oberfläche zu glätten.¹⁰¹⁹

Verfügbarkeit

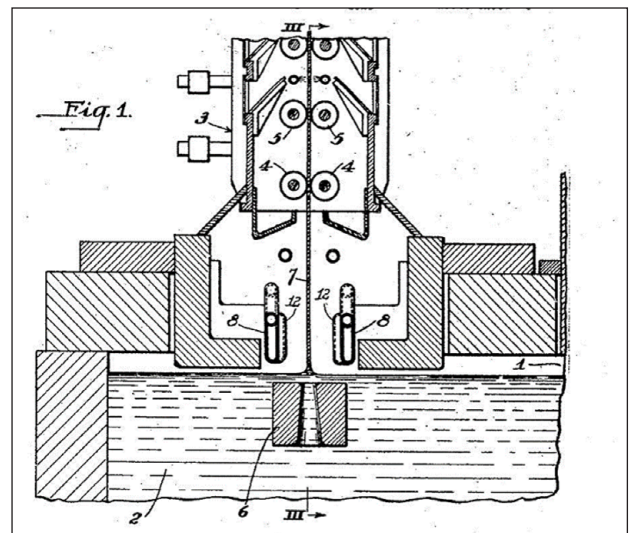
Der Entwicklungsprozess beim Libbey-Owens-Verfahren verlief ungefähr parallel zum Fourcault-Verfahren und dauerte fast genauso lang. Colburns Idee, eine flache Glasscheibe direkt aus der Glasschmelze zu ziehen, reifte bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Inspiriert von einer Maschine zur Papierherstellung, unternahm er erste Versuche.¹⁰²⁰ Ähnlich wie Fourcault bewogen ihn finanzielle Gründe, sein Patent frühzeitig zu veräußern. 1912 ging es an die Toledo Glass Company. Die in Ohio, USA, ansässige Firma benannte sich später um in die Libbey-Owens-Sheet Glass Company. 1921 erteilte sie dem belgischen Konsortium Mécaniver eine Lizenz für alle europäischen Länder.¹⁰²¹ 1925 gründeten die Belgier in Deutschland ein eigenes Unternehmen, die Libbey-Owens-Gesellschaft für maschinelle Glasherstellung, kurz DELOG, mit Sitz in Gelsenkirchen-Rotthausen. Auf diese Weise wurden Zollschranken umgangen, die durch den Export belgischer Ware entstanden wären. Die DELOG war an dem Verfahren für die Spiegelglasproduktion interessiert, für die sie 7 mm dickes Glas benötigten.¹⁰²² Rechtsstreitigkeiten verhinderten jedoch die Umsetzung der Pläne bis 1927.

4.2.2.3 Pittsburgh-Verfahren 1931

Das Pittsburgh-Verfahren kombinierte die Vorteile des Fourcault-Verfahrens mit denen des Libbey-Owens-Verfahrens. Die Schlitzdüse von Fourcault entfiel zugunsten des Fangmechanismus von Libbey-Owens. Dafür entschied man sich für die einfachere

Fourcault-Ziehmaschine anstelle des komplizierten Umbiegens mit einer Biegewalze nach dem Libbey-Owens-Verfahren.¹⁰²³ Diese Weiterentwicklung fand unter Leitung von I. S. Gregorius in der Pittsburgh Plate Glass Company in den USA statt und wurde dort 1928 eingeführt (Abb. 53).

Walther König berichtet ausführlich über den Entwicklungsstand der Pittsburgh-Maschine von 1932.¹⁰²⁴ Anders als beim Libbey-Owens-Verfahren, bei dem lediglich zwei Maschinen an einer Wanne angebaut werden konnten, endet die Wanne beim Pittsburgh-Verfahren in vier Ziehkammern. Dort befinden sich zwar auch Schamottebalken mit einem Schlitz, die eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Fourcault-Düse aufweisen, die aber einem völlig anderen Zweck dienen und nicht am Ziehen des Glases beteiligt sind. Vielmehr liegen sie 7 cm unter dem Glasspiegel und sorgen für eine gleichmäßige Kühlung und Strömung in dem Bereich der Glasmasse, die zur Tafel gezogen wird. Sie mindern dadurch auch die Gefahr der Entglasung. Ähnlich wie beim Libbey-Owens-Verfahren haftet das Glasband an seitlichen Bortenhaltern. Der sich direkt oberhalb des Glasspiegels bildende Randwulst tritt in den Schlitz des Bortenhalters ein.¹⁰²⁵ Als Ziehmaschine



53 Pittsburgh-Verfahren, es vereint die Düse des Libbey-Owens-Verfahrens mit der Fourcault-Maschine. Die Balken (6) dienen zum Ausgleich der Strömung in der Wanne und sind keine Schlitzdüsen

1016 KÖNIG 1934, 29.

1017 JEBSEN-MARWEDEL 1960, 99 listet typische Werte für *Tafelglas* auf.

1018 KÖNIG 1934, 31.

1019 KNAPP 1958, 30-31.

1020 SPOERER et al. 1988, 118.

1021 Ebd., 120.

1022 SPOERER et al. 1988, 120.

1023 KÖNIG 1934, 31.

1024 Ebd.

1025 KÖNIG 1934, 35.

sind die üblichen Fourcault-Maschinen einsetzbar, die höchstens ein paar zusätzliche Walzenpaare erhalten, um die Kühlzeit zu verlängern.

Die Laufzeit einer Maschine betrug um die drei Monate. Schon 3 Stunden nach dem Sturz¹⁰²⁶ einer Maschine konnte das Ziehen des Glasbandes wieder aufgenommen werden. Das Verfahren eignete sich besonders gut für die Produktion von Dickglas bis 8 mm, konnte aber relativ einfach auf andere Glasdicken umgestellt werden.¹⁰²⁷

Glasqualität

Bei der Glaszusammensetzung wurde darauf geachtet, dass sie sich günstig auf die Ziehgeschwindigkeit auswirkte. Insgesamt wird die Optik ähnlich gut bewertet wie beim Libbey-Owens-Verfahren, wenn nicht sogar besser aufgrund der Kombination zweier Verfahren.¹⁰²⁸ Vor allem später konnte die Verbesserung der optischen Qualität bzw. konnten *„die optischen Unzulänglichkeiten, die in den 1920er Jahren noch als unvermeidlich hingenommen wurden, [...] weitgehend behoben werden“*.¹⁰²⁹ Da es auch hier kein Referenzmaterial gibt, bleiben Aussagen zur Glasqualität sehr unspezifisch.

Verfügbarkeit

In Europa wurden die ersten Pittsburgh-Anlagen 1930 errichtet, in Deutschland ein Jahr später in Porz bei Köln von der Rheinischen Ziehglas AG (REZAG).¹⁰³⁰ Weitere Anlagen entstanden 1957 am Standort Wesel der Deutschen Libbey-Owens-Gesellschaft (DELOG). Dort befand sich 1965 die *„größte Fensterglaswanne Deutschlands“*.¹⁰³¹

4.2.2.4 Resümee Tafelziehverfahren

Mit der Einführung dreier neuer Ziehverfahren in Deutschland – 1924 das Fourcault-Verfahren, 1927 das Libbey-Owens-Verfahren und 1931 schließlich das Pittsburgh-Verfahren – wurde die Fensterglasherstellung innerhalb von einem Jahrzehnt hierzulande völlig revolutioniert und dem traditionellen, mundgeblasenem Zylinderblasverfahren ein Ende gesetzt (Abb. F). Diese tiefgreifende Veränderung im Flachglassektor wurde z. T. positiv bewertet: *„Der Mensch wurde von der schweren und auch gesundheitsschädlichen Arbeit des Glasblasens befreit. An seine Stelle trat die Maschine, über deren Funktion er nunmehr die Aufsicht führte.“*¹⁰³²

Unter den Ziehverfahren nimmt das belgische Fourcault-Verfahren einen besonderen Platz ein, da es zum ersten Mal gelang, Glastafeln direkt aus der Schmelze zu ziehen und den Umweg über einen Zylinder zu vermeiden. Die beiden nachfolgenden amerikanischen Verfahren können als Weiterentwicklungen betrachtet werden. Gezogenes Maschinenglas¹⁰³³ erreichte bereits 1934 eine *„einwandfreie“*¹⁰³⁴ Qualität, nachdem auch die Optik, d.h. die Verzerrungen durch Ziehstreifen, immer weniger ins Gewicht fielen. Vorteilhaft waren die große Flexibilität bei der Dickenveränderung und die Spannweite an Formaten, die nur durch die Breite der Ziehbänder begrenzt war. Die Maschinen konnten vielseitig eingesetzt werden und waren sowohl für die Fenster- als auch für die Spiegelglasindustrie interessant.¹⁰³⁵ Die Ebenheit der Glasflächen brachte nur bei der Lagerung einen Nachteil, der jedoch leicht behoben werden konnte. Es musste lediglich vermieden werden, dass Feuchtigkeit zwischen die Glasplatten eindrang, da dies zum Erblinden des Glases geführt hätte.

Beim jetzigen Stand der Forschung ist eine Zuordnung zu den verschiedenen Verfahren nicht möglich, weil Vergleichsmaterial fehlt. Daher sind individuelle Aussagen zur Glasqualität der drei verschiedenen Tafelziehverfahren kaum möglich und noch weniger zur Qualitätsverbesserung innerhalb der einzelnen Verfahren. Zum jetzigen Zeitpunkt gelingt es lediglich, mit einiger Gewissheit zwischen mundgeblasenem und gezogenem Glas zu unterscheiden.¹⁰³⁶

Inzwischen gelten die Tafelziehverfahren selbst als historische Herstellungstechniken, denn sie werden nicht mehr zur Herstellung für Fensterglas angewandt. In Deutschland betreibt nur noch die Firma Schott in Grünenthal eine Fourcault-Anlage, mit der verschiedene Fenstergläser für Restaurierungszwecke gezogen werden.¹⁰³⁷

1026 Ebd., 36.

1027 SPOERER et al. 1988, 170.

1028 SPOERER et al. 1988, 170.

1029 Ebd., 176.

1030 Ebd., 169–170.

1031 Ebd., 179, 237.

1032 GOERK 1969, 450 f.

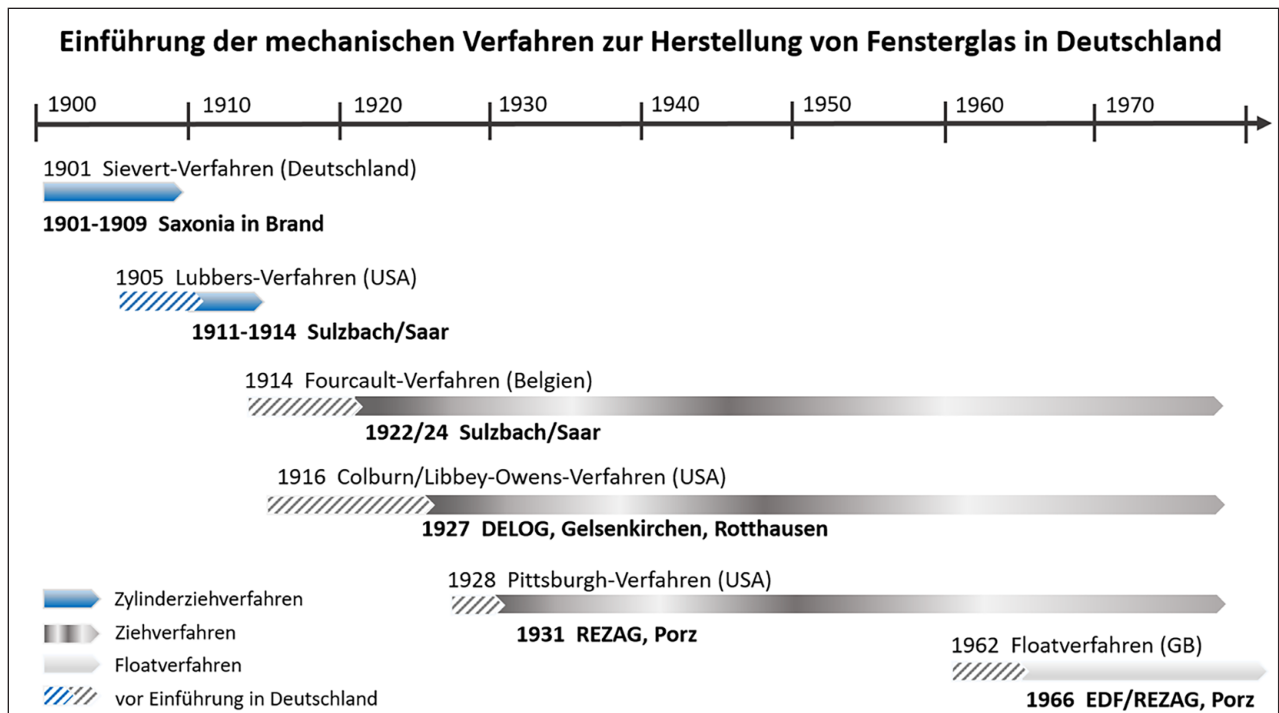
1033 VÖLCKERS 1939, 42.

1034 KÖNIG 1934, 40.

1035 Die REZAG nahm 1928 eine Wanne mit 9 Fourcault-Maschinen in Betrieb, um Dickglas (ab 4 mm) herzustellen. Die DELOG produzierte ab 1928 Fensterglas nach dem Libbey-Owens-Verfahren, um es zu Spiegelglas zu veredeln. SPOERER et al. 1988, 120.

1036 Wie bereits oben angemerkt, beschäftigte sich das MatGlas mit dieser Fragestellung, DFG-Projekt 2021-2024.

1037 SCHOTT



F Einführung der mechanischen Verfahren zur Herstellung von Fensterglas in Deutschland (Zusammenstellung A. Schmölder)

Den Ziehverfahren widerfuhr in den 1970er Jahren dasselbe Schicksal wie in den 1920er Jahren dem traditionellen Zylinderblasverfahren. So produktiv sie auch waren, sie wurden von dem in Großbritannien entwickelte Floatglasverfahren abgelöst. Schnell erkannte man das Potential dieser neuen Gusstechnik, bei der durch das Ausgießen von heißem Glas auf ein Zinnbad eine perfekte Planparallelität in der Glasoberfläche und damit Spiegelglasqualität erzielt wurde, ohne dass Schleif- und Polierprozesse nötig waren. In Deutschland wurde die *Erste Deutsche Floatglas GmbH (EDF)* 1966 in den Werken der REZAG in Porz bei Köln in Betrieb genommen.¹⁰³⁸

1038 HISTORISCHES ARCHIV PORZ SAINT-GOBAIN.

5 Fensterglas im historischen Kontext

Die vorgestellten Herstellungstechniken dienten vor allem dem Zweck, Fensterscheiben für Fenster in Wohngebäuden zu produzieren. Eine Verglasung der Fenster bot einen Wetterschutz gegen Wind, Nässe und Kälte und sorgte gleichzeitig für Belichtung in den Gebäuden. Über einen langen Zeitraum, von den Anfängen im 14. Jahrhundert bis weit ins 18. Jahrhundert, wurden relative kleine Glasformate in einem Bleinetz zu großflächige Einheiten zusammengefügt. Die Form der einzelnen Glassegmente konnte aus gestalterischen Gründen dem jeweiligen Zeitgeist angepasst werden. Sie variierte von rund zu eckig, was für die Funktion der Verglasung allerdings unerheblich war. Die Kleinteiligkeit verlor sich, als mit der Einführung der Holzspresse auch größere Verglasungseinheiten ermöglicht wurden. Abgesehen von vorübergehenden Modeerscheinungen, die die Unterteilung des Fensters durch Sprossen bevorzugten, füllten zunehmend große rechteckige Glasformate ganze Fensterflächen ohne Unterteilung aus. Im 20. Jahrhundert wurde die dazugewonnene Helligkeit sogar als gesundheitlicher Vorteil betrachtet¹⁰³⁹ und argumentiert, dass eine Fensterteilung wegen der damit einhergehenden „Lichtminderung“ zu vermeiden sei (Abb. 54).¹⁰⁴⁰

5.1 Anfänge der profanen Fensterverglasung

Die Verarbeitung von flachen Glasteilen zu einem Fenster gehörte zum Handwerk der Glaser, die zunächst aus einer Gruppe von Glasmalern bzw. Künstlern bestand, die auf die Herstellung von Buntglasfenstern spezialisiert war. Sie beherrschten neben den verschiedenen Glasmaltechniken wie Grisaille- und Schwarzlotmalerei und später noch die Handhabung von Silbergelb und Ätzmethode auch die Verarbeitung von Bleiruten, um die einzelnen Glaspatrien für einen gestalterischen Gesamteindruck sinnvoll zusammenzufügen. Für die Herstellung profaner ungestalteter Fensterverglasungen aus Glassegmenten war ebenfalls der Umgang mit Bleiruten erforderlich, doch stand nun eher das handwerkliche und nicht mehr das künstlerische Geschick im Vordergrund.

Über den Beginn eines rein funktionalen Fensterverschlusses im städtischen Umfeld ist wenig bekannt. Es etablierten sich sogenannte Fenstermacher, die in Bürgerbüchern in Hannover in den Jahren 1344, 1363 und 1410 aufgeführt werden.¹⁰⁴¹ Inwieweit sie sich von Glasern unterscheiden, ist nicht erforscht. Auch in Hildesheim tauchen Fenstermacher 1384 auf.¹⁰⁴² In Niedersachsen und norddeutschen Städten ist um 1400

ein fester Abnehmerkreis für Fenster in Bürgerhäusern dokumentiert.¹⁰⁴³ Diese frühen Hinweise auf das Glaserhandwerk in Städten aus dem 14. Jahrhundert geben allerdings keine Auskunft über das Aussehen der Glasscheiben. Es wird nicht beschrieben, ob es sich um farbiges oder entfärbtes Glas handelte und welche Glasformen verwendet wurden.

In Wien wird 1410 zwischen einem Bleiglasler als einfachem, eher schlichten Glaser und einem Glasmaler unterschieden,¹⁰⁴⁴ was darauf hindeutet, dass sich ein neuer Berufszweig entwickelte. Auch die Erwähnung in den Prager Statuten der Maler- und Glaserinnung um 1400 passt in dieses Bild. Die Regeln erforderten, dass ein Glasergehilfe 56 ganze Rundscheiben in einen Fensterrahmen einsetzen können musste.¹⁰⁴⁵ Die ausdrückliche Anforderung an einen Lehrling könnte zudem als Hinweis auf eine neuartige, leicht zu bewerkstellende Verglasung verstanden werden, die offenbar nachgefragt war. Wieder bleibt ungewiss, um welche Art der Scheiben es sich handelte. Die allgemeine Nachfrage nach Fensterverglasung und damit auch die Existenzgrundlage der einfachen Glaser stieg erst im Laufe des 15. Jahrhunderts.¹⁰⁴⁶ In manchen Städten wie in Speyer wurde den Glasern die Herstellung von Holzrahmen erlaubt, obwohl sie damit in den Kompetenzbereich der Tischler eingriffen.¹⁰⁴⁷ Die sehr späte Gründung einer Glaserzunft in Nürnberg 1569¹⁰⁴⁸ lässt sich darauf zurückführen, dass die Glaser zuvor einer freien Zunft angehörten.

Obwohl diese archivalischen Hinweise eine neue Tendenz hin zu einer generellen Verglasung der Gebäude in den Städten aufzeigen, war ein Glasfenster in Bürgerhäusern noch im 16. Jahrhundert nicht selbstverständlich, wie die besondere Erwähnung eines gläsernen Fensterverschlusses für das Schlafgemach Martin Luthers in seiner Gastwohnung in Eisleben belegt.¹⁰⁴⁹

5.2 Farblosigkeit und Transparenz

Heute wird von einer Fensterscheibe selbstverständlich ein durchsichtiges, farbloses und fehlerfreies Glas erwartet. Dies war in der Vergangenheit selten

1039 VÖLCKERS 1939, 80.

1040 Ebd., 88.

1041 LERNER 1981, 83.

1042 Ebd.

1043 BLOSS 1977, 9.

1044 LERNER 1981, 82.

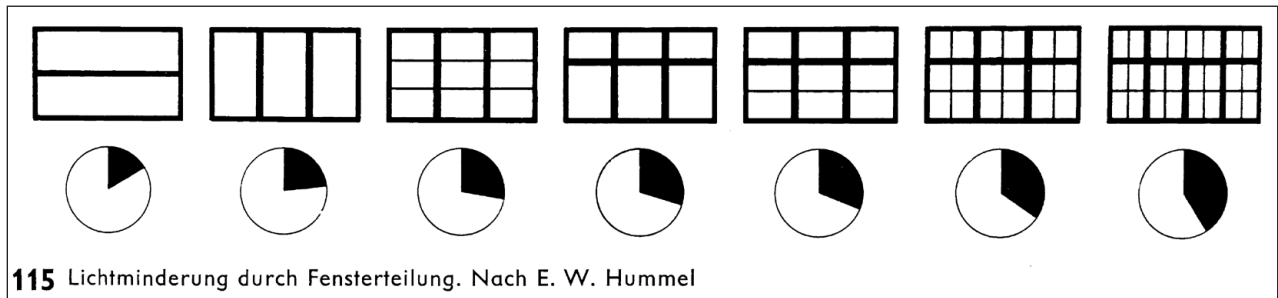
1045 KOBLE 2003, 591

1046 LERNER 1981, 83.

1047 Ebd., 140 f.

1048 ZEDLER 1731-1754, 1589.

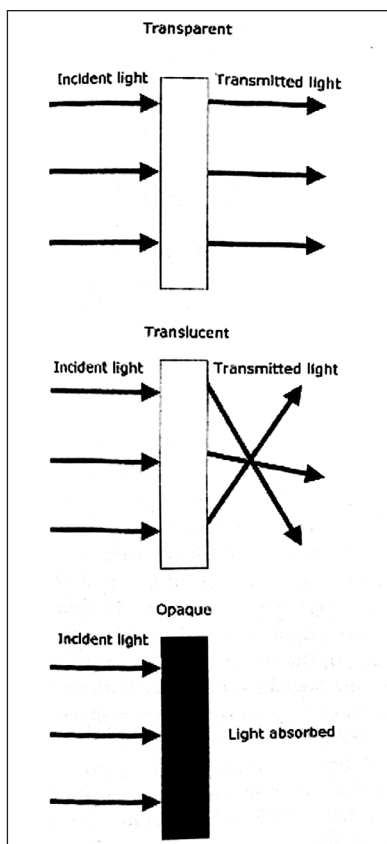
1049 BENRATH 1880, 366.



54 Beeinträchtigung des Lichteinfalls durch Fensterteilung

gegeben, auch wenn es als Ziel angestrebt wurde. Die besonderen Eigenschaften von Glas, seine Durchsichtigkeit und seine Farblosigkeit, hielt bereits Plinius d. Ä. für begehrenswert: „Höchste Schätzung aber genießt das farblos-transparente Glas, denn es kommt dem Bergkristall am nächsten.“¹⁰⁵⁰ Der Vergleich mit Bergkristall legt zudem nahe, dass Plinius d. Ä. nicht nur farbloses, sondern zugleich auch durchsichtiges Glas meinte.¹⁰⁵¹

Von Durchsichtigkeit bzw. Transparenz spricht man, wenn Licht ungehindert durch das Glas hindurchgehen kann und die Umwelt dahinter erkennbar ist.¹⁰⁵² Physikalisch betrachtet sind es elektromagnetische Wellen, die den Werkstoff durchdringen. „Gewöhnliches Fensterglas läßt 80 bis 90 % des Lichtes durch.“¹⁰⁵³ Das restliche Licht wird reflektiert und als Glanz wahrgenommen.¹⁰⁵⁴



55 Lichtdurchlässigkeit von Glas, oben: Transparenz, Mitte: Durchscheinen des Lichtes ohne Durchsichtigkeit, unten links: Absorption des Lichtes, daher opakes Glas

Werden die Lichtstrahlen abgelenkt, kommt es zu Verzerrungen, so dass die Umgebung hinter dem Glas nur noch schemenhaft erkennbar ist (Abb. 55).¹⁰⁵⁵ Das Glas ist dann noch lichtdurchlässig und durchscheinend, aber nicht durchsichtig. Dieser Zustand tritt bei korrodierten Scheiben auf. Auch Fehler in der Glasmasse, wie sie beispielsweise durch Ziehstreifen entstehen, können das Licht partiell ablenken und Verzerrungen hervorrufen. Kann kein Licht das Glas durchdringen, weil es absorbiert wird, ist das Glas lichtundurchlässig und wird als opak bezeichnet.¹⁰⁵⁶

Ab wann die Durchsichtigkeit von Fensterglas allgemein üblich wurde, ist unklar. Bislang wird angenommen, dass Glas im Mittelalter zwar farblos sein konnte, aber gleichzeitig trüb war.¹⁰⁵⁷ Auch die sogenannte Blankverglasung der Zisterzienser wird nicht als durchsichtig bezeichnet.¹⁰⁵⁸ Da der farblose Untergrund oft mit ornamentaler Schwarzlotbemalung in Grisailletechnik versehen wurde,¹⁰⁵⁹ scheint der Wunsch nach Helligkeit im Vordergrund gestanden zu haben.¹⁰⁶⁰ Die fehlende Transparenz von mittelalterlichem Fensterglas wird laut Brepohl mit dem Vorhandensein vieler Bläschen und Schlieren in der Glasstruktur begründet.¹⁰⁶¹ Ihm zufolge war das von Theophilus als „weiß“¹⁰⁶² bezeichnete Glas nicht durchsichtig.

1050 Plinius d. Ä., Buch XXXVI, § 198 in Knoll 1979, 266.

1051 Ebd., 268–269. In den Anmerkungen wird darauf hingewiesen, dass die Übersetzung von „candido“ sowohl „weiß“ als auch „(farblos) glänzend“ bedeuten kann.

1052 Das Wort Transparenz setzt sich zusammen aus den lateinischen Worten *trans* für durch und *parere* für sich zeigen und erscheinen.

1053 SPRINGER 1963, 22.

1054 Ebd.

1055 BOL 2014, 147.

1056 Diese Variante ist für die vorliegende Arbeit nicht relevant.

1057 BREPOHL 2013, 189; LYMANT 1979 43; FLEISCHMANN 2008, 19 glaubt, dass klares Glas erst Anfang des 17. Jahrhunderts aufkam.

1058 LYMANT 1979, 44.

1059 Ebd.

1060 Vgl. Katalog zur Blankverglasung und Grisailletechnik im Altenberger Dom in ebd., 63-64, 80-109.

1061 BREPOHL 2013, 189.

1062 Ebd., 149.



56a Butzenscheibenverglasung in häuslicher Umgebung mit Lichtreflexen auf der Wand. Erhard Schwetzer, Familienbild 1541, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg



56b Detailansicht

Die Gründe für die Trübheit im Fensterglas können mit der Auswahl und der mangelnden Vorbereitung der Rohstoffe begründet werden, die in Deutschland nicht überall in der gewünschten Reinheit vorhanden waren. Auch konnte es vorkommen, dass bei einem unkontrollierten oder unvollkommenen Läuterungsprozess Bläschen und Schlieren im Glasgemenge durch nicht vollständig homogenisierte Bestandteile zurückblieben, die später im erkalteten Glas die Durchsichtigkeit beeinträchtigen.¹⁰⁶³ Es stellt sich allerdings auch die Frage, ob die Annahme für eine fehlende Durchsichtigkeit von mittelalterlichem Glas nicht auch durch den schlechten Erhaltungszustand erklärt werden kann, da es durchaus möglich war, durchsichtiges Glas herzustellen.

Die Transparenz des Glases wurde oft von einem Farbstich begleitet. Trotz Entfärbungsmitteln gelang es nicht immer, eine leichte Tönung des Glases zu vermeiden.¹⁰⁶⁴ Da ein Farbstich kein Resultat eines färbenden Zusatzes war, wie oben bereits angesprochen, gehört dieses Glas in die Kategorie des entfärbten bzw. farblosen Glases. Die Schattierungen reichten von bläulichen, leicht violetten über gelbliche bis hin zu grünlichen Nuancen.¹⁰⁶⁵ Die mit Waldglas verbundene minderwertige Qualität in farblichen Abstufungen von leichter bis starker Tönung konnte dazu führen, dass es lediglich durchscheinend war, wie dies zum Gemälde

von Lukas Cranach (Abb. 29) bereits angemerkt wurde und sich auch auf dem Familienbild von Erhard Schwetzer zeigt (Abb. 56).

Abgesehen von der Materialbeschaffenheit konnte die Durchsichtigkeit durch den Herstellungsvorgang bzw. Formungsprozess beeinträchtigt werden wie im Fall der Butzenscheiben durch Heftabriss und Werkzeugspuren.¹⁰⁶⁶ Diese Merkmale sind z. B. in den Lichtreflexionen der Butzenscheibe in Albrecht Dürers Kupferstich von Hieronymus gut zu erkennen (Abb. 57). Jedoch verhinderten die Herstellungsspuren nicht zwangsläufig die Transparenz. Glaubt man der Darstellung auf dem Isenheimer Altar, so konnten farblose Butzenscheiben trotz Heftnarbe und leichten Werkzeugspuren durchaus einen klaren Durchblick gewähren. Der Dämon ist durch die noch intakten Gläser deutlich zu erkennen (Abb. 31). Ähnlich dürfte bei der Gestaltung des *Blutaltars* von Tilman Riemenschneider in Rothenburg aus derselben Zeit die

1063 Bei Lamberts wird eine Bläselung kontrolliert in das Glasgemenge eingebracht, um einen „authentischen“ Effekt zu erzielen (Glashüttenbesuch am 15. 2. 2023).

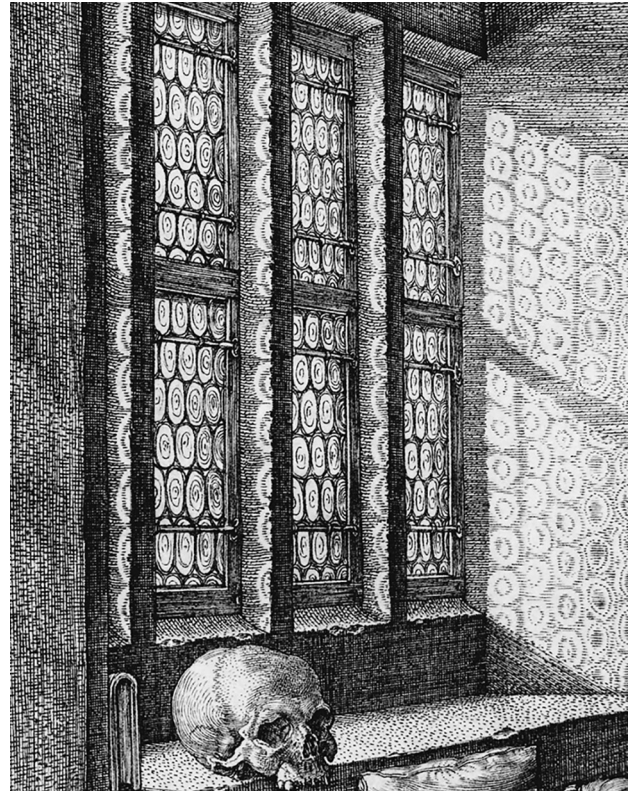
1064 Siehe Abschnitt zu Entfärbungsmitteln.

1065 In manchen Fällen tritt sie nachträglich auf, wenn das ursprünglich farblose Glas aufgrund starker Sonneneinstrahlung, der Solarisation, einen leicht violetten Farbstich erhält.

1066 Siehe Kapitel Butzenscheibenherstellung.



57a Albrecht Dürer, Der Heilige Hieronymus in Gehäus 1514, Reflexion der Butzenscheiben



57b Detailsicht

Transparenz von Scheiben eine Rolle gespielt haben. Klare Butzenscheiben wurden hier bewusst eingesetzt, um einen Durchblick auf den Kirchenraum dahinter zu gewähren.¹⁰⁶⁷ Diese beiden aus dem künstlerischen Bereich stammenden Beispiele dokumentieren, dass der Transparenz von klarem Fensterglas Anfang des 16. Jahrhunderts ein besonderer Stellenwert eingeräumt wurde. In der Kirchenarchitektur äußert sich dieser Trend in einer partiellen Farbverglasung, die das Licht durch einen großen Anteil an farblosen Scheiben ungefiltert in den Raum hineinführt (Abb. 30).

Mit der Transparenz des Fensterglases war die Möglichkeit eines Ausblicks auf die Umgebung gegeben. Es ist davon auszugehen, dass der Vorteil einer Fensterverglasung auch darin gesehen wurde, im geschlossenen Zustand und unabhängig vom Wetter hinausschauen zu können. Zunächst war der Ausblick in die nähere Umgebung durch die Vielzahl der kleinteiligen Glassegmente selbst bei klaren Glasscheiben beeinträchtigt, da die Konturen der Bleiruten und der stabilisierenden Windeisen ein zusätzliches Muster bildeten.

Spätestens das barocke Zeitalter inszenierte das Wechselspiel der Blickbeziehungen zwischen Innen und Außen mit dem Einsatz von hochwertigem Glas und bevorzugte daher große Fensterformate.

Die beste Durchsicht weist Spiegelrohglas mit seiner völlig planparallelen und fehlerfreien Glasoberfläche auf. Dieses noch nicht mit Zinn oder Silber belegte Rohglas wurde entweder im Zylinderblasverfahren hergestellt oder gegossen. In beiden Fällen schloss sich ein Schleif- und Polierprozess an, um verzerrende Unebenheiten und Fehler zu entfernen. Gussglas besaß herstellungsbedingt zunächst keine Durchsichtigkeit. Sie stellte sich erst durch den Schleif- und Polierprozess ein. Das 1688 in der Glashütte Saint-Gobain entwickelte Gussglasverfahren¹⁰⁶⁸ sollte den Wunsch des französischen Sonnenkönigs Ludwig XIV. nach großen Spiegeln für Versailles erfüllen. Es ist nicht überraschend, dass das noch nicht belegte Rohglas in Einzelfällen auch als Fensterglas in herrschaftlichen Gebäuden eingesetzt wurde, sofern es die finanziellen Mittel erlaubten.¹⁰⁶⁹

1067 GREUB 2019, 46, 55.

1068 LOIBL 2010, 73–87.

1069 Für den Neuen Flügel des Charlottenburger Schlosses 1742 von Georg Wenzelaus von Knobelsdorff ist Spiegelglas als Fensterglas belegt. EGGELING 1980, 138. Freundlicher Hinweis von Dr. Käthe Klappenbach. Im 19. Jahrhundert fand auch der bayerische König Ludwig II. Gefallen an der perfekten Qualität des Glases, das er für die Fenster im Sängersaal seines Schlosses Neuschwanstein auswählte. Ausstellungsobjekt in der Ausstellung „Du précieux au quotidien. Le verre plat dans l'architecture“, Musée Romont 6.11.2021-20.3.2022.

Ab dem frühen 20. Jahrhundert verbesserte sich mit dem Bicheroux-Verfahren der Gießprozess für die Herstellung von Spiegeln.¹⁰⁷⁰ Dieses Glas konnte mit dem in den 1930er Jahren eingeführte Twin-Verfahren von beiden Seiten gleichzeitig geschliffen und poliert werden, so dass sich die Arbeitszeit für diesen Prozess halbieren konnte.¹⁰⁷¹ Damit drängte zunehmend Spiegelglasqualität auf den Markt,¹⁰⁷² die im Bausektor vorher bei großen Formaten und Schaufenstern eingesetzt wurde.¹⁰⁷³ In der Nachkriegszeit begann das als *Kristallspiegelglas* bekannte Produkt in die Fensterglasindustrie zu drängen.¹⁰⁷⁴ Mit Einführung des Floatglases 1966 in Deutschland war der Weg für die Herstellung von Fensterglas in Spiegelglasqualität endgültig beschritten.¹⁰⁷⁵ Die Besonderheit und Kostbarkeit, die durchsichtiges klares Glas einmal als Fensterglas darstellte, hatte sich im 20. Jahrhundert zu einer erschwinglichen Massenware entwickelt.

1070 MÖLLER 2001, 58.

1071 GLOCKER / GERHEUSER 2017, 84.

1072 SPOERER et al. 1988, 120.

1073 LAUFER 1994, 42.

1074 RICHTER 1967.

1075 HISTORISCHES ARCHIV PORZ SAINT-GOBAIN.

6 Denkmalpflegerische Relevanz von Profanverglasung

Für eine denkmalpflegerische Einordnung historischer Fensterscheiben sind die Eckdaten der Herstellungstechniken dann relevant, wenn es gelingt, die Produktionsweise eines Fensterglases zu identifizieren. Dafür liefern äußere Unterscheidungsmerkmale und herstellungsbedingte Bestimmungsmerkmale wichtige Hinweise. Die Schnittmenge, die sich aus den einzelnen Erkenntnissen durch Form, Zeitgeist und Glasdicke bis hin zur Material- und Oberflächenbeschaffenheit ergibt, grenzt die Datierung ein und hilft bei der Feststellung, ob ein Glas bauzeitlich, historisch oder eine spätere Ergänzung ist. Diese Beurteilung kann schließlich in die denkmalpflegerischen Bewertungen einfließen.

6.1 Unterscheidungsmerkmale für Fenstergläser

Um eine Fensterverglasung in Augenschein zu nehmen, führt ein erster Blick auf die Anzahl und Form der eingesetzten Gläser. Zu den deutlich ersichtlichen Unterscheidungsmerkmalen zählen runde Formen, Rauten, Waben und Rechtecke. Scheiben lassen sich in Butzenscheiben mit einer mittleren Verdickung und Tellerscheiben ohne eine solche Verdickung unterscheiden und der entsprechenden Herstellungsmethode eindeutig zuordnen. Eckige Formen hingegen entstehen auf unterschiedliche Weise. Um sie einzuordnen, muss die Herstellungsart mit weiteren Kriterien wie beispielsweise gewissen Vorlieben für bestimmte Formen kombiniert werden, die sich in schriftlichen Quellen und Bildquellen belegen lassen.

Um eine Fensterfläche zu verglasen, war es über Jahrhunderte üblich, viele gleiche Glassegmente in einem Bleinetz zusammenzufügen. Erst ab etwa Mitte des 18. Jahrhunderts wurden die Formate im Profanbau zunehmend großflächiger und eine Rechteckverglasung mit wenigen Unterteilungen, meist Sprossen aus armiertem Blei oder Holz, üblich.¹⁰⁷⁶

6.1.1 Raute und kleines Quadrat

Rauten und kleine Quadrate gehören neben Scheiben zu den schon im Mittelalter anzutreffenden Formen. Dabei scheint die Raute in Deutschland etwas beliebter zu sein als das Quadrat oder kleine Rechtecke.¹⁰⁷⁷ Für die Herstellung einer Raute wie auch eines Quadrats

gilt als Ausgangsfläche eine Glastafel, aus der die entsprechende Form herausgeschnitten wurde. Welches Herstellungsverfahren zugrunde lag, wird in den schriftlichen Überlieferungen und in der Fachliteratur jedoch unterschiedlich beschrieben.

Eingängig ist die Vorstellung, dass Rauten aus Zylinder Glas bestehen. Dafür spricht Mathesius' bereits zitierte Erwähnung, dass „*man auß taffelgläß rauten*“¹⁰⁷⁸ macht und auch ein Bezug aus der Hausväterliteratur zur Verpackungseinheit Bund, die nur für eckiges Glas, nicht aber für Scheiben galt: „*Ein Bundt hält 6. Taffeln: Ein Taffel gibt 12. Rauthen/Scheibengröße. Zwo halbe Rauthen werden für eine gantze bezahlt. Vier Ecklein auch für eine gantze Rauthen.*“¹⁰⁷⁹

Dennoch findet sich in der Fachliteratur auch die Auffassung, dass Rauten aus Gussglas gefertigt wurden.¹⁰⁸⁰ Theoretisch war es möglich, Glastafeln zu gießen, allerdings hätte das Glas danach zeitaufwendig und sehr kostspielig geschliffen und poliert werden müssen, um durchsichtig zu werden. Bislang geht man davon aus, dass das Gussverfahren im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit nur für die Herstellung von Glasmosaiksteinchen angewandt wurde.¹⁰⁸¹ Erst 1688 wurde es in Saint-Gobain dahingehend weiterentwickelt, dass große Spiegelflächen hergestellt werden konnten, da man mit dem Zylinderblasverfahren beim Format an Grenzen gestoßen war.¹⁰⁸²

Einer anderen Meinung zufolge werden Rautensegmente aus *Butzenscheiben* geschnitten, die nach der hier verwendeten Definition allerdings als *Mondscheibe* zu bezeichnen wären. Joost Caen zeigt anhand eines Schemas, wie eine größere Butzenscheibe in zwei Rauten und zwei Dreiecke aufgeteilt werden kann (Abb. 58). Ähnlich versteht auch Otto Völckers die Entstehung einer Raute. Unter Aussparung der verdickten Mitte seien „*die übrigen mehr oder weniger ebenen gerateten Teile [...], meist in Rautenform und daher oft als ‚Rautenglas‘ erwähnt, zerteilt*“¹⁰⁸³ worden. Diese Annahme entspricht Franz Lerner: „*In Rautenform wurde das Mondglas vornehmlich zerlegt und verarbeitet, da es als ganze Scheibe nicht verwendbar war.*“¹⁰⁸⁴ Und auch in

1076 SCHRADER 2001, 62.

1077 Ein überliefertes Beispiel mit einer kleinteiligen quadratischen Verglasung ist eine um 1485 datierte kolorierte Federzeichnung mit Vorgängerbauten des Schlosses Geyerswörth in Bamberg. Staatl. Museen Berlin, Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Kupferstichkabinett, Inv.-Nr. 15347.

1078 MATHESIUS 1562, 278r-278v.

1079 BÖCKLER 1648, 29.

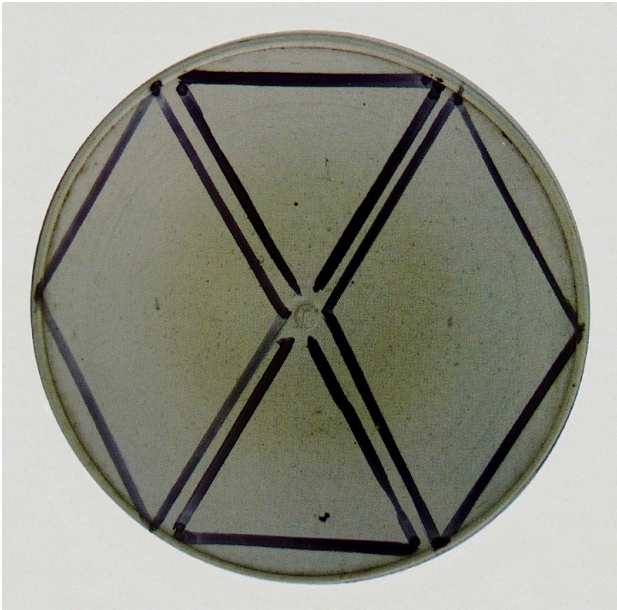
1080 KIOS 2015, 16–18.

1081 LOIBL 2010.

1082 Ebd.

1083 VÖLCKERS 1939, 25.

1084 LERNER 1981, 83.



58 Rautenzuschnitt aus einer Butzenscheibe nach Caen

der Handwerksordnung für das Herzogtum Württemberg von 1758 wird als Gesellenstück ein „*Rautenstück in gleicher Größe, der neuen Gattung, wie die jetzt bey Unsern Hof-Gebäuden gebräuchlich*“¹⁰⁸⁵, verlangt. Was unter der „*neue Gattung*“ zu verstehen ist, wird zwar nicht erklärt, aber möglicherweise bezieht sie sich auf die relativ neue Mondglasqualität.

Den schriftlichen Quellen nach konnten Rauten also sowohl aus Zylinderglas als auch aus Mondglas bestehen,¹⁰⁸⁶ je nachdem welches Verfahren für eine geschickte und sparsame Ausnutzung am effizientesten war. Da es sich bei einer Rautenverglasung um das Zusammensetzen vieler Einzelteile handelt, wird ein rationelles Arbeiten bei der Herstellung der Rauten angestrebt worden sein. Der Zuschnitt aus einer größeren Glastafel oder gegebenenfalls aus einer halben Mondscheibe war einfacher als aus einer kleinen Scheibe, wie sie Caen zeigte, da Rauten in langen geraden Linien mit wenig Verschnitt eingeritzt und herausgetrennt werden können.

Tendenziell wird die Verwendung von Rauten eher ins Mittelalter datiert. Rautenverglasung trat bereits seit dem 13. Jahrhundert im Sakralbau auf.¹⁰⁸⁷ Im Altenberger Dom hat sich in den Obergaden des Querhauses eine Blankverglasung in Rautenform erhalten, die auf den Anfang des 14. Jahrhunderts datiert wird, aber wohl keine Durchsichtigkeit besaß.¹⁰⁸⁸ Ein weiteres Beispiel aus dem Sakralbereich, das ins Ende des 15. Jahrhunderts datiert wird und gleichzeitig aus der Glasmalerei selbst stammt, zeigt ein schmales Kirchenfenster, das von einem Band länglicher Rechtecke umrandet wird, wie es von Buntglasfenster bekannt ist (Abb. 59). Die Beispiele vermitteln eine gute Vorstellung einer

schlichten Fensterverglasung, die vielleicht Pate für eine Anwendung im bürgerlichem Umfeld stand. Es ist noch nicht erforscht, ob der Einsatz von Rautenverglasung im sakralen Raum trotz fehlender Durchsichtigkeit als Vorbild für den Profanbau betrachtet werden kann.

Ein frühes Beispiel von Rauten in einem Fenster eines Wohngebäudes bezeugt eine Darstellung in der *Konstanzer Chronik* von Ulrich Richental, die um 1460 datiert wird.¹⁰⁸⁹ Interessanterweise besitzen einige der Kreuzstockfenster eine Butzenscheibenverglasung, womit im 15. Jahrhundert eine gleichzeitige Anwendung zweier Formen angenommen werden kann (Abb. 60).¹⁰⁹⁰ Dies wird knapp 90 Jahre später in der Braunschweiger Glaser-Ordnung von 1548 bestätigt, in der als Meisterstück ein Fenster aus Rauten oder Scheiben verlangt wird.¹⁰⁹¹

Eine Ähnlichkeit zu hölzernen Fenstervergitterungen erschwert in frühen Bildbeispielen die Interpretation von Rautenfenstern. So ist es nicht eindeutig, ob die lavierte Federzeichnung aus den Hausbüchern der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg eine Verglasung mit Rauten darstellt, die die Werkstatt des Messingschlagers Peter Rudel (gest. 1481) belichtet (Abb. 61).¹⁰⁹² Typische Merkmale wie Windeisen fehlen hier, anders als auf dem Altargemälde von Louis Schongauer aus derselben Zeit im Unterlinden-Museum in Colmar (Abb. 62), das jedoch eine Szene im sakralen Umfeld zeigt.

Oft werden als Nachweis für Fenster mit Rauten im Profanbereich die detailgetreuen Gemälde von Robert Campin (Abb. 63) herangezogen,¹⁰⁹³ in denen religiöse Themen in weltlichen Gemächern des gehobenen Bürgertums stattfinden. Diese Bildquellen aus dem späten 15. Jahrhundert sind, wie auch schon die Werke von van Eyck, vor allem Zeugnisse für die frühe Verwendung von Glasfenstern in den Niederlanden. Einmal abgesehen von der generellen Frage, ob die Künstler tatsächlich eine realitätstreue Wiedergabe erzielen wollten, ist noch unerforscht, inwieweit die niederländischen Werke in ihren Aussagen auf den deutschsprachigen Raum übertragbar sind.

Anders als Butzenscheiben wurden Rauten vermutlich nicht als fertige Glasprodukte von den Glashütten bezogen, sondern wurden, wie bereits angemerkt, von Glasern oder Fenstermachern aus einer größeren

1085 ANONYMER AUTOR 1758, 235 f.

1086 STROBL 1990, 63 nennt jedoch keine Beispiele.

1087 GERNER / GÄRTNER 1996, 25; STROBL 1990, 63; BÜTTNER 2010, 341.

1088 Bei LYMANT 1979 sind mehrere gute Schwarzweißaufnahmen.

1089 Vgl. RÖBER 2015, 209.

1090 RÖBER 2015, 209.

1091 LERNER 1981, 97.

1092 TREUE 1965.

1093 KAUFMANN 2010, 26,27



59b Detailansicht

59a Rauten als Teil einer Glasmalerei, Schmerzensmutter, Ende 15. Jahrhundert



60b Detailansicht

60a Rauten und Butzenscheiben in den Fenstern der Häuser von Konstanz, Konstanzer Chronik von Ulrich Richental, um 1460



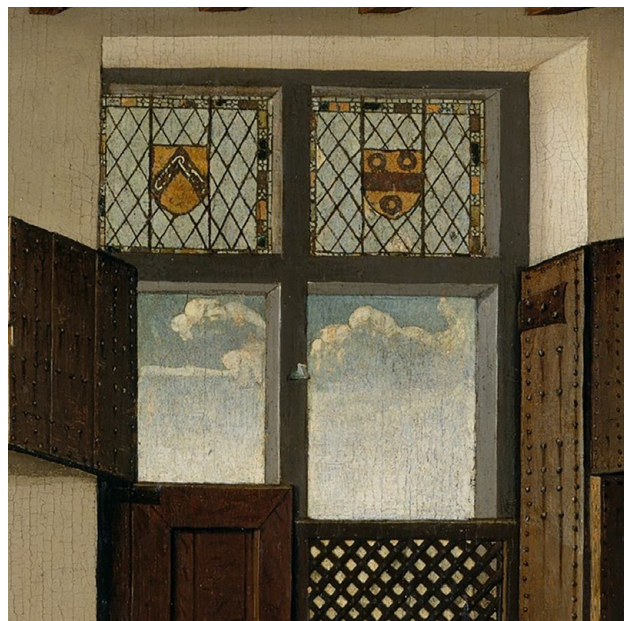
61 Rautenverglasung oder Fenstergitter, Federzeichnung aus den Hausbüchern der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg. Darstellung der Werkstatt des 1481 verstorbenen Messingschlagers Peter Rudel



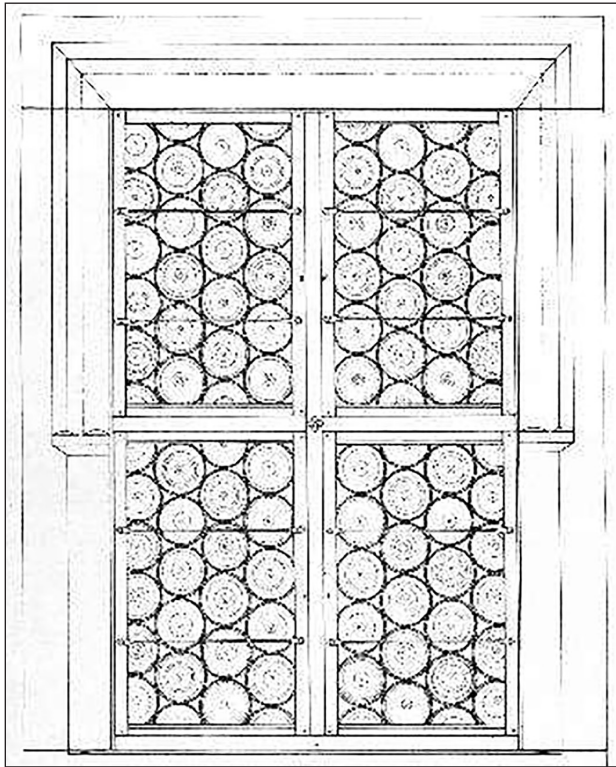
62 Louis Schongauer, Jesus im Tempel, Detail aus Flügelaltar um 1480, Rautenverglasung mit Windeisen



63a Robert Campin, Verkündigungsszene, Merode Altar 1427-32, Rautenverglasung mit eingebetteten Wappen



63b Detailansicht



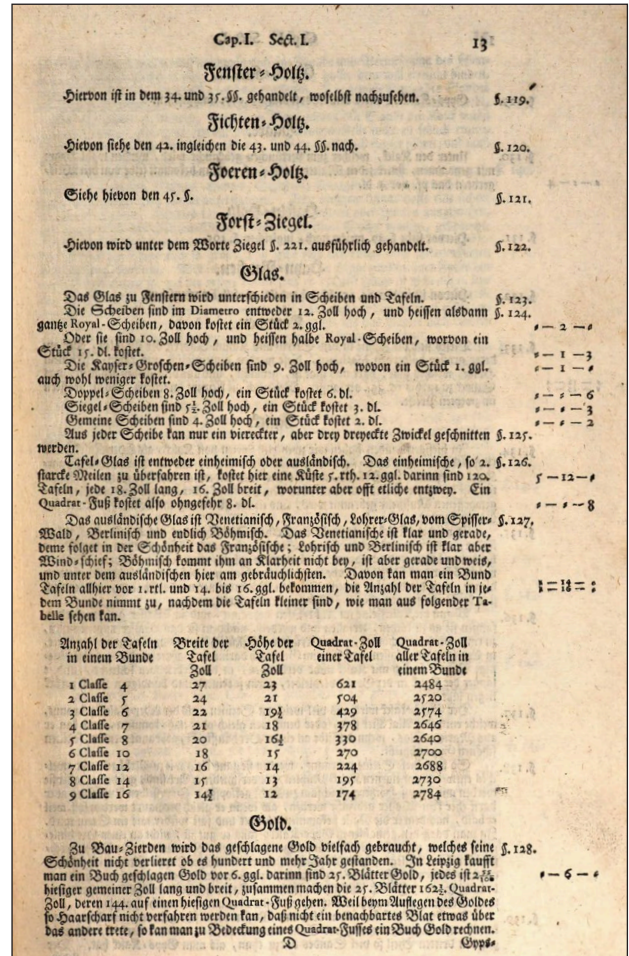
64 Butzenscheibenverglasung. Rekonstruktion eines Fensters von T. Noky, Tetzlhaus in Pirna um 1600

Glasfläche herausgeschnitten, um einheitliche Maße zu erhalten, was ihnen die Arbeit beim Zusammenfügen der Segmente erheblich erleichterte. Die Verarbeitung von Rauten war gegenüber runden Formen in jedem Fall vorteilhaft, da beim Zusammenfügen keine Zwickel benötigt wurden und lange, gerade Bleiruten verwendet werden konnten. Es ist denkbar, dass besonders letzterer Aspekt eine Rolle gespielt haben könnte, als Bleiruten noch gegossen wurden und daher insgesamt dicker und starrer ausfielen als gezogene Bleiruten. Die Benutzung eines Bleizugs soll sich in Glaserkreisen erst gegen Ende des 15. Jahrhunderts etabliert haben.¹⁰⁹⁴

Eine Datierung allein aufgrund der Rautenform ist schwierig, da diese geometrische Form über einen langen Zeitraum vom frühen 15. bis ins 18. Jahrhundert gefallen fand.

6.1.2 Runde Form

Runde Glasteile eines Fensters sind in der Regel als Butzenscheiben oder Tellerscheiben entstanden. Theoretisch konnten Tellerscheiben zwar mit Schablonen aus Tafeln geschnitten werden.¹⁰⁹⁵ Diese Möglichkeit wird hier jedoch außer Acht gelassen, denn der zusätzliche Zeitaufwand und die Menge an Verschnitt sprechen gegen eine massenhaften Anfertigung, wie sie zur Herstellung eines Fensters erforderlich war. Die



65 Ausschnitt aus Penthers Architekturweisungen zum Baumaterial Glas mit einer Klassifizierung von Glasscheiben und Glastafeln sowie dem Hinweis auf den Zwickelzuschnitt

Rekonstruktion einer Butzenscheibenverglasung eines Fensters in Pirna um 1600 zählt 60 ganze Scheiben und mehr als 30 halbe oder angeschnittene Scheiben (Abb. 64). Ein individuelles Ausschneiden ist zwar theoretisch möglich gewesen, wird daher aber eher eine Ausnahme gebildet haben.

Die Herstellung einer Verglasung mit zusammengefügt runden Scheiben, also runden Formen, ist im Vergleich zu Rauten komplexer, da beim Aneinanderreihen Zwischenräume entstehen, die mit Zwickeln geschlossen werden müssen. Die gläsernen Rundlinge konnten entweder in gleichmäßigen oder in versetzten Reihen angeordnet werden. Entsprechend fiel die Form der üblicherweise aus Restbeständen oder aus Butzenscheiben und Tellerglas geschnittenen Zwickel karoförmig oder dreieckig aus. Johann Friedrich Penther merkt an: „Aus jeder Scheibe kan nur ein viereckter, aber drey dreyeckte Zwickel geschnitten werden“¹⁰⁹⁶ (Abb. 65). Gewöhnlich

1094 LERNER 1981, 91.

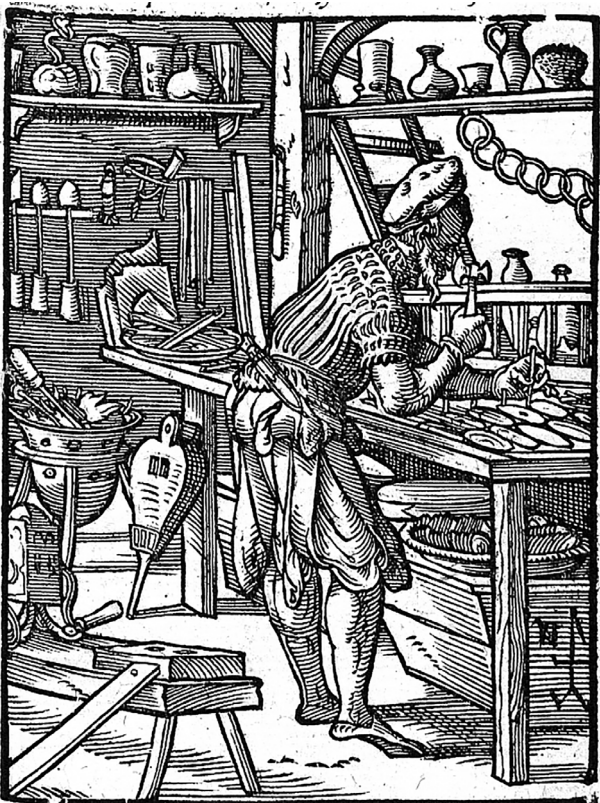
1095 KRÜNITZ 1842, 619 f.

1096 PENTHER 1765, 13.



66 Vorsortierung von Butzenscheiben heute, Glaserwerkstatt Lange in Plauen. Links ein abgeschnittener Butzenscheibenrand

bestanden diese Zwickel aus Glas, doch der alte Begriff *Hornaffe* deutet an, dass bisweilen auch dünngeschliffenes Horn verwendet wurde, wie es Laternenmacher nutzten.¹⁰⁹⁷ Dass Glaser für die Zwickel gelegentlich minderwertiges Glas verwendeten, wird indirekt angedeutet, da angemahnt wurde, gleichwertiges Glas zu nehmen.¹⁰⁹⁸ Die Beobachtung von Gottfried Frenzel in St. Wolfgang in Puschendorf bei Fürth, dass die Zwickel stärker korrodiert sind als die Butzenscheiben, die er für Importe aus Venedig hält, sprechen für die Verwendung einer anderen Glassorte bei den Zwickeln.¹⁰⁹⁹



67 Glaserwerkstatt, Holzschnitt von Jost Amman 1568. Oben rechts hängt eine Girlande, die möglicherweise aus abgeschnittenen Butzenscheibenrändern besteht

Die Nachricht von über 8.000 Zwickeln, die von der Glashütte Lauscha verschickt wurden,¹¹⁰⁰ lässt vermuten, dass sie in diesem Fall nicht erst von Glasern hergestellt wurden, sondern als Fertigware von der Hütte bezogen werden konnten. Auch die Erwähnung von sogenannten „Zwickelscheiben“¹¹⁰¹ in den Aufzeichnungen der Glasmachers Franz Poschinger könnte diese Vorstellung unterstützen, wenn mit dem Begriff nicht etwas anderes gemeint war.

Die Aufgabe des Glasmachers in der Hütte bestand darin, möglichst identische Durchmesser zu schaffen, um die Arbeit des Glasers zu erleichtern, der durch die vorgegebene Breite der Bleirute nur geringe Abweichungen im Durchmesser ausgleichen konnte. Für eine optimale Verteilung der Scheiben im Fensterrahmen mussten die Rahmenbreite und auch die Rahmenhöhe durch den Durchmesser der Scheiben teilbar sein. In der Glaserwerkstatt Lange in Plauen werden die Butzenscheiben in millimetergenauen Formen der Größe nach vorsortiert (Abb. 66). Abbildungen von Glaserwerkstätten aus dem 16. und 17. Jahrhundert zeigen eine Girlande von abgeschnittenen Glasringen (Abb. 67). Sie könnten daher rühren, dass die Scheibengröße in manchen Fällen angepasst wurde, indem der Rand kreisförmig abgeschnitten wurde.¹¹⁰² Anstelle die Ringe den Hütten als Glasbruch zurückzugeben, wurden sie offenbar eingeschlitzt, um sie dekorativ ineinanderzustecken. Ein abgeschnittener Rand einer Scheibe ist folglich nicht zwangsläufig ein Hinweis auf eine Zweitverwendung, sondern kann auch als Anpassungsmaßnahme des Glasers interpretiert werden.

Bei einer Anordnung der Scheiben in versetzten Reihen waren die Zwickel zwar kleiner, erforderten am Rand aber auch angeschnittene Scheiben (Abb. 56, 64). Befunde aus dem späten 15. Jahrhundert¹¹⁰³ und aus dem 17. Jahrhundert¹¹⁰⁴ weisen sehr flache Heftnarben von unter 1 mm auf, was die Verarbeitung erleichtert haben wird (Abb. 68). Bei Butzenscheiben versuchte man wahrscheinlich dennoch, die Teilung durch die verdickte Heftmarke zu vermeiden.

Eine chronologische Einordnung aufgrund der Scheibenanordnung ist vereinzelt versucht worden. Merten hält das Aneinandersetzen in gleichlaufenden Reihen für die früheste Form der Verbleiung, die vor allem in den südlichen Niederlanden und den rheinischen

1097 LERNER 1981, 76 f.

1098 Ebd., 94.

1099 FRENZEL 1973, 112.

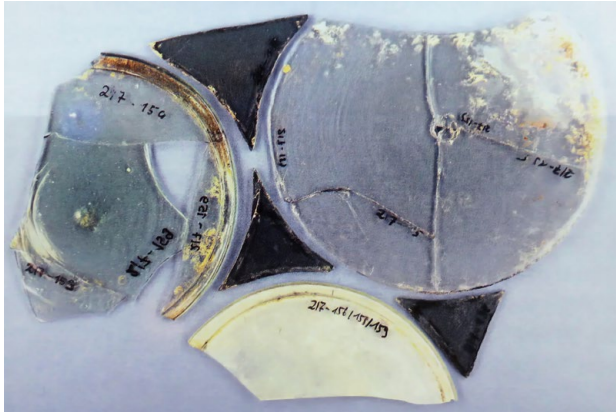
1100 LIETZ 1982, 96–98.

1101 WAGNER 1985, 68.

1102 Freundlicher Hinweis von Herrn Lange, Glaserwerkstatt in Plauen.

1103 FRENZEL 1973, 112.

1104 RING 2003, 187.



68 Butzenscheibenbefunde aus Lüneburg, 16./17. Jahrhundert

Gebieten beliebt gewesen sei.¹¹⁰⁵ Aber auch später fand diese Anordnung Gefallen. Im Begleitblatt zu *Fenster im Profanbau in Sachsen* ist zu lesen, dass die nichtversetzte Reihung der runden Gläser eine im Barock gebräuchliche Form der Verglasung mit Bleiruten war.¹¹⁰⁶

Durchmessergrößen

Es gab keine allgemeine, höchstens eine lokal bevorzugte Standardgröße für Scheiben. Die Gruppe an Butzenscheiben aus der Glaserwerkstatt in Bad Windsheim weisen Durchmesser von 6,5 cm, 10 cm und 12,5 cm mit einer Dicke von unter 1 mm auf¹¹⁰⁷ (Tabelle 2.3 im Anhang). Im 16. Jahrhundert bewegen sich die Maße der erhaltenen Butzenscheiben in der Größenordnung von 7 und 15 cm. In der Glashütte Frankenreuth wurden Anfang des 16. Jahrhunderts Waldscheiben in der Größe eines vorher festgelegten Musters in Auftrag gegeben¹¹⁰⁸, und den Hofkammerrechnungen des bayerischen Herzogs aus dem Jahr 1586 kann entnommen werden, dass Scheiben „in mannigfacher Größe und Qualität“¹¹⁰⁹ gefordert wurden. In Sachsen weisen frühe Funde aus dem 16. Jahrhundert relativ kleine Durchmesser von 9-10 cm auf.¹¹¹⁰ Dort waren die Fenstermaße auf die



69 Tellerscheiben in verschiedenen Größen, spätes 17. Jahrhundert, Marienkirche Kamenz

Tabelle B Größenbezeichnung für Scheiben in Penthers Architekturlexikon 1765

Bezeichnung	Durchmesser in Zoll	Durchmesser in cm
Gantze Royal Scheiben	12 Zoll	30,48 cm
Halbe Royal Scheiben	10 Zoll	25,40 cm
Kayser=Groschen=Scheiben	9 Zoll	22,86 cm
Doppel=Scheiben	8 Zoll	20,32 cm
Siegel=Scheiben	5½ Zoll	13,97 cm
Gemeine Scheiben	4 Zoll	10,16 cm

sächsische Elle abgestimmt, um unnötigen Verschnitt zu vermeiden.¹¹¹¹

Für das Zusammenfügen zu einer Fensterverglasung spielten die unterschiedlichen Ausprägungen der Ränder der Butzen- und Tellerscheiben eine untergeordnete Rolle, auch wenn der stabile Hohlrund einer Butzenscheibe in der Handhabung etwas einfacher gewesen sein dürfte. Möglicherweise war es hilfreich, gezogene Bleiruten zu verwenden, die schmaler ausfielen und sich leichter um die Rundung der Scheiben legen ließen.

Über den Einsatz von großen, unzertheilten Scheiben (>15 cm) ist bislang wenig bekannt, abgesehen von Quartierscheiben, in deren Mitte sich auch ein rundes Glas befindet. In Sachsen wurden Tellergräser mit Durchmessern zwischen 25 und 29 cm in der Kamenzer Marienkirche (Abb. 69) sowie in der Dorfkirche zu Trieschwitz nachgewiesen.¹¹¹² Die Scheiben aus Kamenz werden in das letzte Viertel des 17. Jahrhunderts datiert. Sie zeichnen sich durch „eine vom Heftnabel (Butzen) und von Werkzeugspuren freie Durchsicht“¹¹¹³ aus und wurden mit Zylinderglas kombiniert.¹¹¹⁴

Im südlichen Odenwald wurden im 17. Jahrhundert nachweislich Scheiben mit 18 cm Durchmesser hergestellt,¹¹¹⁵ ohne dass ihr Zweck erläutert wird. Johann Penther berichtet in seinem *Bau-Anschlag oder richtige Anweisung* über unterschiedliche Bezeichnungen bei verschiedenen Glasgrößen, obwohl Scheiben zu seiner Zeit nicht mehr ganz so üblich waren. Außerdem bleibt unklar, ob es sich dort um Butzenscheiben oder Tellergräser handelt (Abb. 65 und Tabelle B).¹¹¹⁶

1105 MERTEN 1954, Gemälde von van Eyck bestätigen diese Vorstellung.

1106 FREISTAAT SACHSEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN 1996, Begleitblatt A9.

1107 KAUFMANN 2010, 217; FRENZEL 1973, 112.

1108 SPOERER et al. 1988, 19, 23.

1109 VOPELIUS 1895, 27.

1110 Freundliche Mitteilung von Thomas Noky, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen.

1111 1 sächsische Elle = 56,64 cm, entspricht 2 Fuß (1 Fuß = 28,32 cm).

1112 NOKY 2004, 224.

1113 Ebd.

1114 Ebd.

1115 LOIBL 2013, 327.

1116 PENTHER 1765, 13.

Die im 19. Jahrhundert in vorwiegend farbigen Variationen produzierten Butzenscheiben weisen Durchmessergrößen zwischen 4,5 und 12 cm und stärkere Dicken von 2-3 mm auf.

Runde Glasformate hatten in ihren unterschiedlichen Ausformungen als Butzenscheibe oder Tellerscheibe vor allem in der Bleiverglasung ihren festen Stellenwert. Die ersten nachweislich als Fensterverglasung eingebauten Scheiben waren Butzenscheiben. Tellerscheiben scheinen erst im 17. Jahrhundert dazugekommen zu sein. Wie bereits angemerkt, verlor die runde Form im Bleinetz im 18. Jahrhundert an Bedeutung und wurde zunehmend von eckigen Formen abgelöst.¹¹¹⁷

6.1.3 Quartierfenster

Als eine besondere Fenstergestaltung gelten die sogenannten *Quartierfenster*, bei denen meist vier Glas tafeln, die Quartiere, um ein Rundglas gruppiert sind. Dafür wurde jeweils eine Ecke der Tafel entsprechend der mittleren Scheibe abgerundet.¹¹¹⁸ Das mittlere Glas konnte aus einer Butzenscheibe, aus Teller glas oder auch aus einem Stück runden Tafelglases in unterschiedlicher Größe bestehen. Bei diesem Fensterformat waren keine Zwickel nötig, und dadurch, dass ein Zuschnitt erforderlich war, konnte es den Maßen der Fensteröffnung angepasst werden.

Die Kombination von Kreis und Rechtecken ist keine neue Erfindung, da sie als Teil eines ornamentalen Glasflechtwerks schon bei den Zisterziensern vorzufinden ist.¹¹¹⁹ Seit dem 16. Jahrhundert sind Quartierfenster sowohl schriftlich als auch in Bildquellen belegt. Eine frühe Darstellung dieses Fenstertyps zeigt der auf 1524 datierte Holzschnitt von Barthel Beham. Hier belichten gleich zwei kleine Quartierfenster eine einfache Bohlenstube (Abb. 70).¹¹²⁰ Auch auf dem Erinnerungsbild an den 1554 verstorbenen Glaser Niclas Klucel befindet sich ein kleines Quartierfenster, das für die Belichtung der Werkstatt sorgt, in der gerade an Butzenscheiben gearbeitet wird (Abb. 71).¹¹²¹

Mathesius verwendet in der *Bergpostill* den Begriff *Quartierfenster*,¹¹²² der ebenso in der Heidelberger Glaser taxte von 1579 auftaucht. In beiden Fällen fehlt eine Beschreibung. In der Glaserverordnung wird der Preis erwähnt, den ein Meister für die Anzahl der Teile erhält, je nachdem wie viele Teile er aus einem Glasstück heraus schneiden konnte:¹¹²³ „*Quartierfenster da vier Viertel auß einem stück geschnitten werden / eins fünf pfennig. Wann aber sechs darauß geschnitten / eins drei pfennig ein heller*“.¹¹²⁴ Eine Architekturzeichnung von 1606 zeigt zwei Quartierfenster in einem einfachen Wohnhaus in Mögeldorf bei Ansbach (Abb. 72). Im 18. Jahrhundert

ist dieser Fenstertyp weiterhin bekannt, denn er wird in Zedlers Universallexikon beschrieben, ohne dass daraus direkt abgeleitet werden kann, dass es weiterhin üblich war, diese Art von Fenster einzusetzen:

„*Neben solchen von sauberer Riß-Arbeit gemachten Fenstern werden noch zwey andere Fenster verfertigt, eines von lauter runden Scheiben mit drey Angeln, [...] und das zweyte von der sogenannten Quartier-Arbeit, Vermöge deren 4. viereckigte Glas-Taffeln an einer Ecke also ausgeschnitten werden, daß sie in der Mitten eine runde Scheibe fassen und umschließen können.*“¹¹²⁵

In der Handwerksordnung für das Herzogtum Württemberg wird 1758 von einem Glasermeister ein Quartierstück als Sonderanfertigung mit „*acht Scheiben, und vier und zwanzig Viertel Glas, alle in einer Grösse*“¹¹²⁶ gefordert. Eine Anordnung um eine runde Mitte wird nicht erwähnt, so dass sich die Frage stellt, ob hier mit Quartierstück ein anderes Format gemeint ist.

Unter den Fensterverglasungen nimmt das Quartierfenster eine Sonderstellung ein, da runde und eckige Formen zusammengefügt werden. Es wird im frühen 16. Jahrhundert und zuletzt im 18. Jahrhundert greifbar. Funktion und Einsatzbereich sind allerdings bislang nicht weiter erforscht worden.

6.1.4 Sechsecke

Fensterverglasung aus sechseckigen Glassegmenten häufen sich im 18. Jahrhundert und sind vor dem 17. Jahrhundert selten dokumentiert.¹¹²⁷ Bei den in Duderstadt geborgenen flachen Sechsecken, die auf 1536 datiert werden, ist nicht gesichert, dass sie für eine farblose Fensterverglasung verwendet wurden.¹¹²⁸ Der früheste schriftlich greifbare Beleg für den Einsatz von Waben in der Fenstergestaltung findet sich in der Glasertaxe aus Chur in der Schweiz, in der um 1690 die Arbeit von „*sechseckigten Scheiben von Tafelglas*“ drei Pfennige kostete.¹¹²⁹ Daraus kann geschlossen werden, dass bereits gegen Ende des 17. Jahrhunderts die Wabe

1117 Siehe Kapitel Butzenscheibenscheibenherstellung.

1118 NOKY 2004, 225; GERNER / GÄRTNER 1996, 30.

1119 FRODI-KRAFT 1965, 26.

1120 Siehe KAUFMANN 2010, 28 f.

1121 Ebd., 44.

1122 MATHESIUS 1562, 278v.

1123 LERNER 1981, 146.

1124 Zitiert nach ebd.

1125 ZEDLER 1731-1754, 1589 f.

1126 ANONYMER AUTOR 1758, 235 f.

1127 GERNER / GÄRTNER 1996, 34; SCHRADER 2001, 62.

1128 Vgl. PORATH 1995, 49.

1129 FRITSCH 1690, 251.



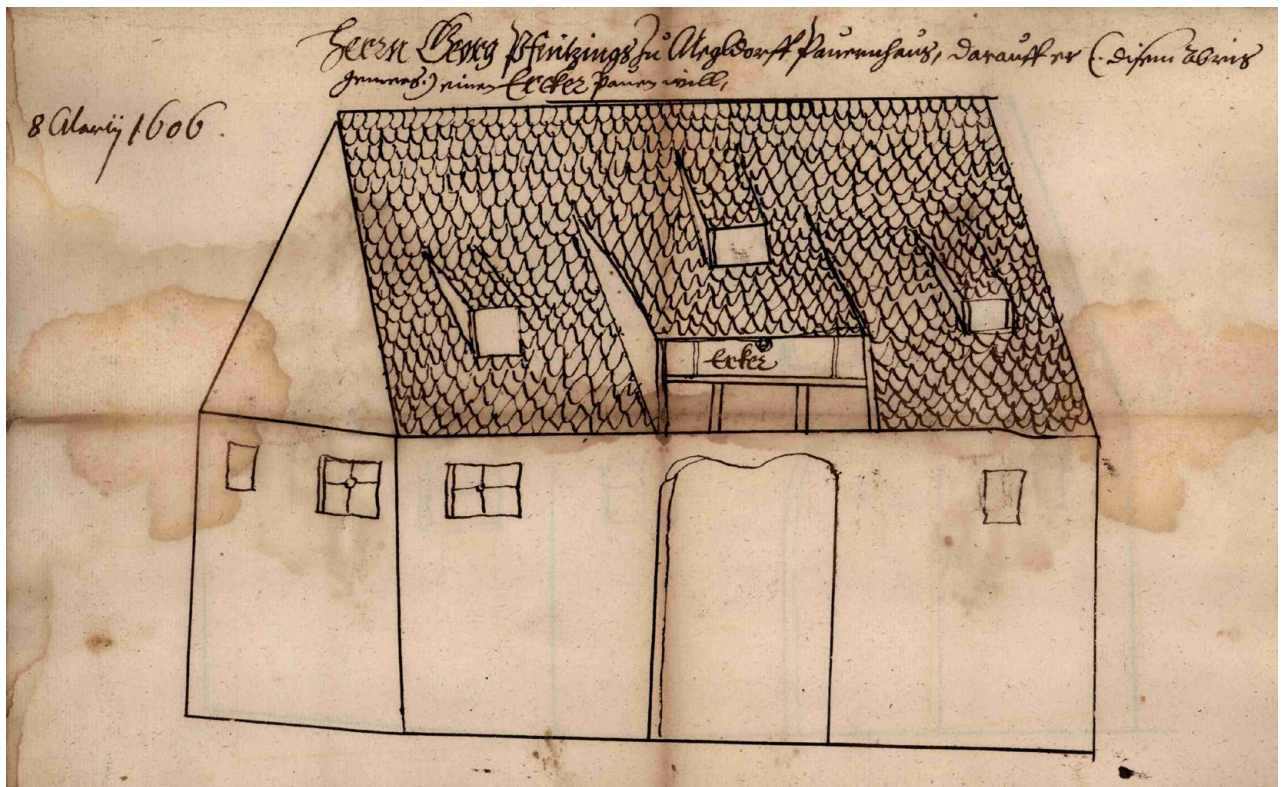
70a Zwei kleine Quartierfenster beleuchten eine Trinkstube.
Holzschnitt von Barthel Beham 1452



70b Detailsicht



71 Zwei Quartierfenster auf dem Regal einer Glaserwerkstatt, in der Niclas Klucel gerade an einer Butzenscheibenverglasung arbeitet. Aus der Landauerschen Zwölfbrüderstiftung 1554



72 Mehrere Quartierfenster auf einer Architekturzeichnung eines Bauernhauses in Mögeldorf von 1606

als Fensterglas aufgekomen war. Interessant ist die Erwähnung von Tafelglas, womit, ähnlich wie bereits im Zusammenhang mit Rauten angemerkt, das Ausgangsglas nach dem Zylinderblasverfahren gefertigt gewesen sein dürfte.

Im süddeutschen Raum standen ab 1700 für einen Wabenzuschnitt alternativ auch die großflächigen Halbmonde aus Mondglas zur Verfügung. 1710 wurde die Lohrer Pfarrkirche mit „1200 sechseckigen französischen Fensterscheiben neu gefenstert“.¹¹³⁰ Im Rechnungsjahr 1731/32 lieferte die Mondglashütte aus Lohr 4.000 sechseckige Fensterscheiben zum Katharinenspital nach Bamberg.¹¹³¹ Oft wurde beim Zuschnitt der Halbmondscheiben, dessen eigentliches Ziel es war, große, rechteckige Glastafeln zu gewinnen, aus den Restpartien Sechsecke geschnitten. Wie bereits erwähnt, konnten 23-24 Mondscheiben 1.000 Sechsecke ergeben.¹¹³²

Es ist schriftlich belegt, dass der Durchmesser von Waben aus dem Spessart von Ecke zu Ecke 6 Zoll (15,24 cm) betrug.¹¹³³ Ein Befund im Bauarchiv Thierhaupten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege entspricht mit Längen von 15 und 15,3 m in etwa diesem Maß¹¹³⁴ und könnte vielleicht einen Rückschluss auf den Herstellungsort des Glases zulassen. Die Größe der in St. Michael in Bamberg sichergestellten Waben aus Mondglas ist mit 14-15 cm etwas geringer.¹¹³⁵ Andere Waben, die sich erhalten haben, weisen mit 13 cm¹¹³⁶ wesentlich kleinere und mit 16,5 cm¹¹³⁷ besonders große Durchmesser auf.

An manchen Fenstern des Klostergebäudes in Thierhaupten befinden sich Waben mit Butzen oder konzentrischen Ringen (Abb. 73, 74). Es wäre zu prüfen, ob es sich um eine Zweitverwendung¹¹³⁸ aus älteren Butzenscheiben und Teller Glas handelt, die unter Umständen schon in der Barockzeit stattfand und mit einem veränderten Gestaltungswillen erklärt werden könnte. Vorhandenes rundes Glasmaterial konnte relativ schnell einem neuen Trend angepasst werden. Der zusätzliche Aufwand des Zuschnitts einer Wabe wurde durch eine Verglasung ohne Zwickel kompensiert. Die Verwandlung eines Kreises in ein Sechseck war bei dünnen Scheiben leicht zu bewerkstelligen. Die Wabe scheint außerdem einem neuen Zeitgeist zu entsprechen, der in zeitgenössischen Traktaten zur Mathematik aufgegriffen wird¹¹³⁹ und als „die raumigste und vollkommenste Figur“¹¹⁴⁰ galt (Abb. 75).

Wenn das Wabenglas keine Butze aufweist, kommen als Herstellungsverfahren das Zylinderblasverfahren, die Tellerscheibenherstellung sowie das Mondglasverfahren in Betracht. Weitere Bestimmungsmerkmale wie Glanz und leichte Schüsselung weisen auf Teller- oder Mondglas hin. Fraglich ist, ob eine Tellerscheibe aufgrund ihrer leichten Biegung in eine Wabe geschnitten



73 In Waben geschnittene Butzenscheiben, Klostergebäude Benediktbeuern



74a Waben aus Teller Glas mit konzentrischen Schlieren und einem Durchmesser von 13,8 cm. Klostergebäude Thierhaupten



74b Detailaufnahme

1130 LOIBL 1984, 279.

1131 PETZET 1990, 431; LOIBL 2006b, 734.

1132 TABOR 1818, 151, 152.

1133 Ebd., 150.

1134 Bauarchiv Thierhaupten, lose, ohne Inv. Nr.

1135 Freundlicher Hinweis der Restauratorin Martha Hör, Fürth im Oktober 2021.

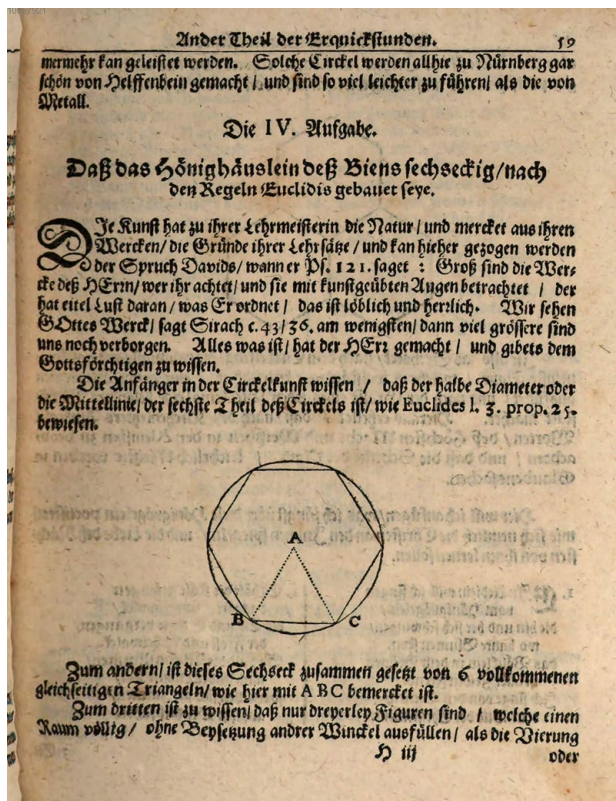
1136 Bauarchiv Thierhaupten, Inv. Nr. 1822., datiert auf 1706

1137 Bauarchiv Thierhaupten, Inv. Nr. 4998.

1138 NOKY 2004, 225. Einige Befunde sind am ehemaligen Klostergebäude Thierhaupten zu sehen, heute Bauarchiv des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege.

1139 SCHWENTER 1667, 200–202; MALCONET 1700, 360.

1140 HARSDÖRFFER 1651, 60.



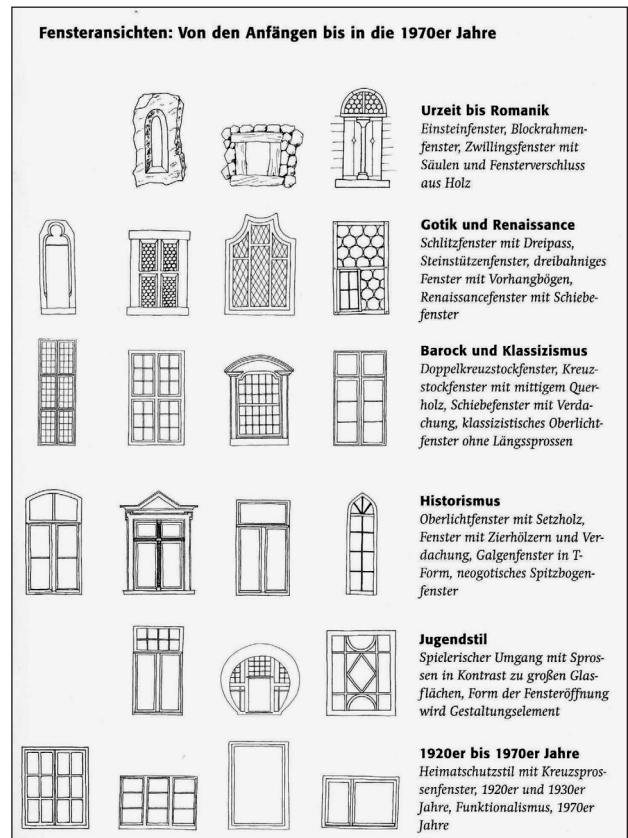
75 Mathematisches Interesse an der Wabenform 1651

werden konnte. Bei Mondglas kann die Einführung des französischen Mondglasverfahrens in Deutschland kurz vor 1700 als *terminus post quem* betrachtet werden.

Wenn eine Wabenform eine Butze aufweist, ist davon auszugehen, dass es sich ursprünglich um eine Butzenscheibe gehandelt hat, die zurechtgeschnitten wurde. Vor allem im 18. Jahrhundert, als die Wabe als Form beliebt war, ist eine Zweitverwendung aus altem Bestand wahrscheinlich, da Glas noch ein wertvolles Material darstellte. Im Rechnungsbuch der Lohrer Mondglashütte aus dem 19. Jahrhundert werden Waben aus Mondglas noch aufgeführt (Abb. 40).

6.1.5 Rechtecke

Die Formate für rechteckiges und wenig unterteiltes Fensterglas entwickelten sich erst in der Barockzeit. Das vorher übliche Bleinetz mit kleineren Formaten wurde, wie bereits erwähnt, ab Mitte des 18. Jahrhunderts allmählich zugunsten einer großflächigen und rechteckigen Fensterunterteilung abgelöst, die mit weniger und vorwiegend horizontal oder vertikal verlaufenden Sprossen auskam (Abb. 76).¹¹⁴¹ Um das höhere Gewicht der größeren Glasflächen zu halten, wurden die Bleiruten mit Eisendraht armiert oder eine Holzspresse eingesetzt.¹¹⁴² In Sachsen sind Holzspresen ab 1700 bekannt.¹¹⁴³



76 Rechteckige Glasformate vor allem seit der Barockzeit, nach Schrader

Für die Herstellung von rechteckigem Fensterglas kommen mehrere historische Verfahren in Betracht. Als ein Standardverfahren gilt bis in die 1920er Jahre das Zylinderblasverfahren. Daneben bestand von etwa 1700 bis 1850 mit dem Mondglasverfahren eine weitere Möglichkeit, große rechteckige Scheiben zu fertigen. Von den späten 1920er Jahren an übernahmen dann die Ziehverfahren die Produktion von Fensterglas, die sich durch die Dickenvariierung auch für sehr große Formate eigneten.

Auch wenn die luxuriöse Qualität des Mondglases gerne hervorgehoben wurde, so war sein Einsatz laut Tabor nicht auf herrschaftliche Gebäude beschränkt. Er sah das Absatzpotential der Mondglasproduktion aus dem Spessart durchaus im bürgerlichen Umfeld:

„Da übrigens in gewöhnlichen Gebäuden, was keine Palläste sind, nur Tafeln von mittlerer Größe gebraucht werden, so hat diese Fensterglasart deswegen, und wegen ihrer sonstigen guten Eigenschaften, allzeit in einem großen Theil von Deutschland, wo die Transportkosten und Eingangszölle nicht zu groß waren, so viel

1141 SCHRADER 2001, 295.

1142 SCHRADER 2001, 64.

1143 NOKY 1996, 40.

*Liebhaber gefunden, daß die Bestellungen kaum befriedigt werden konnten“.*¹¹⁴⁴

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts konnte sich Mondglas gegenüber dem Zylinderglas behaupten. Die Tendenz zu immer größer werdenden rechteckigen Formaten blieb mit den verbesserten Zylinderblasverfahren und schließlich mit den kontinuierlichen Ziehverfahren.

6.2 Herstellungsbedingte Bestimmungsmerkmale

Nach einer ersten Einordnung der Glasscheiben aufgrund ihrer offensichtlichen Unterscheidungsmerkmale geben herstellungsbedingte Bestimmungsmerkmale weitere Hinweise zur Datierung. In der Fachliteratur sind verstreut allgemeine charakteristische Erkennungsmerkmale zu finden, die aufgrund fehlender Referenzbefunde vorerst nicht im Einzelnen verifiziert werden können.

Zu den herstellungsbedingten Merkmalen gehören mehrere Kriterien wie die Dicke des Glases, die Material- und Oberflächenbeschaffenheit sowie typische Kennzeichen wie Bläschen, Schlieren, Glanz, Welligkeit und Ziehstreifen. Es handelt sich dabei sowohl um herstellungsbedingte Merkmale als auch um Fehler im Glas, die nicht immer ganz vermieden werden konnten oder wurden. Es muss in Betracht gezogen werden, dass in den Hütten unterschiedliche Qualitäten hergestellt werden konnten, was sich im jeweiligen Preis widerspiegelte. In manchen Fällen ist es schwierig, historisches Glas von historisierendem Glas zu unterscheiden. Gerade das heute hergestellte Ersatzglas bemüht sich um den Eindruck von Authentizität, indem Fehler bewusst, dabei oft übertrieben im Glas eingearbeitet werden. Die Zuordnung zu den Herstellungstechniken verlangt daher ein gewisses Maß an Erfahrung. Altersspuren durch Nutzung oder Korrosion werden hier nicht berücksichtigt, da sie unabhängig von der Herstellungsart auftreten.

6.2.1 Format und Glasdicke

Zylinderglas

Zusammen mit dem Format gibt auch die Dicke einen Anhaltspunkt für eine grobe zeitliche Einordnung des Fensterglases. Mittelalterliche Glastafeln weisen Dicken zwischen 2 und 4 mm auf.¹¹⁴⁵ Bei den im Nassachtal, Uhingen, geborgenen Tafeln aus dem 15. und 16. Jahrhundert lagen die Dicken zwischen 1,5 und 3,5 mm mit einer durchschnittlichen Dicke von 2,5 mm.¹¹⁴⁶ Es ist davon auszugehen, dass Glastafeln noch im späten

18. Jahrhundert tendenziell dicker ausfielen, bevor das Verfahren erheblich verbessert wurde.

Die seit dem 18. Jahrhundert zu beobachtende Tendenz zu großflächigeren Glaseinheiten bedeutet nicht, dass diese Formate schon beim Herstellungsprozess einheitlich produziert wurden. Mundgeblasene Glastafeln konnte lange Zeit nicht in gleich großen Formaten hergestellt werden, vielmehr wurden die Kanten begradigt und Fehler im Glas durch geschickten Zuschnitt entfernt.

*„Wenn das Tafelglas durchaus rein ausfiel, und die Tafeln auch gleich genau winkelrecht und geradseitig könnten gearbeitet werden, so würde das Schneiden eine beynahe überflüssige Arbeit seyn; da dieses der Fall aber nicht ist, so müssen sie unter die Hände des Glasschneiders kommen.“*¹¹⁴⁷

Daraus entstanden verschieden große Stücke, die in besonderen Verpackungseinheiten verkauft wurden. Eine Möglichkeit bestand darin, die Glastafeln ihrer Größe nach zu sortieren und im „Bund“¹¹⁴⁸, „Verbund“¹¹⁴⁹ und als „Schaub“¹¹⁵⁰ auf dem Markt zu bringen.¹¹⁵¹ Wie bereits erwähnt, ergaben 6 Tafeln einen *Bund* und 60 *Bund* einen „Wagen“¹¹⁵² oder eine „Karre“¹¹⁵³. Der Preis der *Bunde* stieg mit der Größe der Tafeln. Eine andere Verpackungseinheit, die in Böhmen und angrenzenden Ländern bevorzugt wurde, war der Verkauf in „*Schock*“¹¹⁵⁴ (Abb. 77) oder „*Pack*“¹¹⁵⁵ (Abb. 78) mit einer oder mehreren Tafeln zu einem festen Preis.¹¹⁵⁶

*„Ferner werden die Tafeln nicht nach Stücken, sondern nach Schocken gezählt, da denn nach Verschiedenheit der Größe, mehr oder weniger Stücke auf ein Schock gezählt werden. So ist z. B. eine Tafel von 36 auf 30 Zoll ein Schock, vier Stück von 26 auf 19 Zoll ist auch ein Schock, 16 Stück von 14 auf 10 Zoll sind ebenfalls ein Schock u.s.w. wie man weiter unten in dem Abschnitt von der Verwaltung ausführlicher sehen wird.“*¹¹⁵⁷

Die übliche Maßeinheit *Zoll* oder *Inch* wich je nach Region leicht voneinander ab,¹¹⁵⁸ ging aber von ganzen Zahlen aus.

1144 TABOR 1818, 112.

1145 KURZMANN 2004, 106; GRODECKI 1977, 52.

1146 LANG 1991.

1147 TABOR 1818, 189.

1148 LOIBL 2006B, 745. Siehe auch Kapitel Zylinderblasverfahren.

1149 Ebd.

1150 Ebd. dort werden als weitere Bezeichnungen „Schoof“ und „Schab“ genannt.

1151 TABOR 1818, 503.

1152 LOIBL 2006B, 745.

1153 Ebd.

1154 TABOR 1818, 503.

1155 Ebd.

1156 Ebd. Vgl. KRÜNITZ 1779, 21788, 672.

1157 TABOR 1818, 190. In Frankreich bzw. Lothringen wurde das Glas „Packweise“ zu einem einheitlichen Preis verkauft. Vgl. AVILER 1725, 236 und TABOR 1818, 503.

1158 LOIBL 2012C, 252. Für gängige Maße im 18. u. 19. Jahrhundert siehe ders. 2012a, 789. 1 Brabanter Zoll = 2,87 cm; 1 Zoll = 2,54 cm.

505

Die Schocken hingegen haben folgende Eintheilung:

60 Stück Tafeln von 8 Z. 3 Lin. auf 6 Z. 6 Lin. machen 1 Schock.
50 » » — 9 » 1 » — 7 » 2 » — 1 —
40 » » — 9 » 8 » — 7 » 8 » — 1 —
35 » » — 10 » 4 » — 8 » 2 » — 1 —
30 » » — 11 » » — 8 » 7 $\frac{1}{4}$ » — 1 —
24 » » — 11 » 11 » — 9 » 5 » — 1 —
20 » » — 12 » 8 » — 10 » 2 » — 1 —
18 » » — 13 » 4 » — 10 » 9 » — 1 —
16 » » — 14 » 6 $\frac{1}{2}$ » — 11 » 2 $\frac{1}{2}$ » — 1 —
14 » » — 15 » 6 » — 12 » 1 » — 1 —
12 » » — 16 » 6 » — 13 » 1 $\frac{1}{2}$ » — 1 —
10 » » — 18 » 3 » — 13 » 11 » — 1 —
9 » » — 19 » 4 » — 15 » 1 $\frac{1}{2}$ » — 1 —
8 » » — 20 » 5 $\frac{1}{2}$ » — 15 » 5 » — 1 —
7 » » — 21 » 5 » — 16 » 6 » — 1 —
6 » » — 22 » 4 » — 17 » 3 » — 1 —
5 » » — 25 » 2 $\frac{1}{2}$ » — 18 » 2 » — 1 —
4 » » — 27 » 2 $\frac{1}{2}$ » — 20 » 5 » — 1 —
3 » » — 29 » 8 » — 21 » 8 » — 1 —
2 » » — 32 » » — 23 » 4 » — 1 —
1 » » — 35 » 2 $\frac{1}{2}$ » — 27 » 1 » — 1 —
1 » » — 36 » 9 » — 29 » 2 » — 1 $\frac{1}{2}$ —
1 » » — 39 » 10 » — 31 » 1 » — 2 —

Beide Tarife sind in pariser Fuß-Maß berechnet. Uebrigens herrscht in Deutschland einige Differenz in dem Zoll-Maß der Tafeln, welches von beträchtlichen Unordnungen herzukommen scheint, denn es wäre doch wahre Thorheit, wenn ein jeder Hüttenberg sein eignes Maß halten wollte; wie könnte das der Fremde verstehen, und wie soll er sich darnach richten?

Wenn man obige Tarife betrachtet, so findet man daß die Preise nicht in Verhältnis der Flächen, sondern in einem weit höhern Verhältnis steigen. Gesezt in der ersten Tafel wäre der Preis eines Packs wie es wirklich ist, 5 fl. 30 kr. so würde eine Tafel von 36 Zoll hoch und 30 Zoll breit auf 1 fl. kommen, mithin ein Quadratfuß von dieser Tafel 1 fl. 28 kr.; hingegen kosten 16 Stück von 14 Z. hoch und 10 Zoll breit 5 fl. 30 kr. mithin ein Quadratfuß von dieser Sorte 21 $\frac{3}{4}$ fr.; also steigt der Preis eines Quadratfußes zwischen 14 Zoll und 36 Zolle von 21 $\frac{3}{4}$ fr. bis auf 1 fl. 28 kr. Nun ist es zwar wahr, eine große Scheibe erfordert einen geschicktern und geübtern Arbeiter, auch im Verhältnis zu den kleineren ein Drittheil, oder die Hälfte mehr Glasmasse, allein das macht doch eine so übertriebene Erhöhung des Preises nicht nöthig, und

Verfuch d. Glasmacher-Rumpff II. 24. & f f

77 Verpackungseinheit für Glastafeln, die in Böhmen nach Schocken (mehrere gleich große Tafeln) zu einem festen Preis gehandelt wurden

504

Die Packs werden folgendermaßen eingetheilt und berechnet:

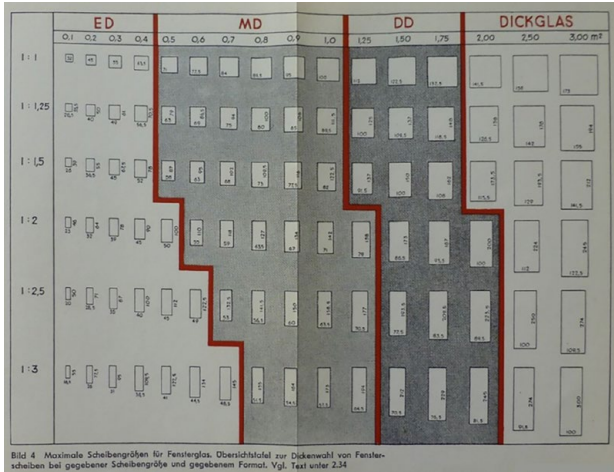
Eine Tafel von 38 Z. Höhe	30 Z. Breite	macht 3 Pack.
1 — — 36 » » 30 » » — 2 —		
5 — — 34 » » 30 » » — 9 —		
2 — — 33 » » 29 » » — 3 —		
6 — — 32 » » 28 $\frac{1}{2}$ » » — 7 —		
1 — — 32 » » 27 $\frac{1}{2}$ » » — 1 —		
6 — — 31 » » 27 » » — 5 —		
4 — — 30 » » 26 » » — 3 —		
3 — — 30 » » 25 $\frac{1}{2}$ » » — 2 —		
5 — — 30 » » 24 » » — 3 —		
2 — — 29 » » 23 » » — 1 —		
8 — — 29 » » 21 » » — 3 —		
3 — — 28 » » 21 » » — 1 —		
10 — — 28 » » 20 » » — 3 —		
7 — — 27 » » 20 » » — 2 —		
7 — — 26 » » 20 » » — 2 —		
4 — — 26 » » 19 » » — 1 —		
5 — — 24 » » 18 » » — 1 —		
6 — — 23 » » 17 » » — 1 —		
7 — — 22 » » 16 » » — 1 —		
15 — — 20 » » 15 » » — 2 —		
8 — — 19 » » 15 » » — 1 —		
9 — — 18 » » 14 » » — 1 —		
10 — — 18 » » 12 » » — 1 —		
12 — — 16 » » 12 » » — 1 —		
13 — — 15 » » 12 » » — 1 —		
14 — — 14 » » 11 $\frac{1}{2}$ » » — 1 —		
16 — — 14 » » 10 » » — 1 —		
20 — — 13 » » 9 » » — 1 —		
24 — — 12 » » 8 » » — 1 —		
30 — — 10 » » 8 » » — 1 —		
32 — — 10 » » 7 $\frac{1}{2}$ » » — 1 —		
34 — — 10 » » 7 » » — 1 —		
38 — — 9 » » 7 » » — 1 —		
40 — — 9 » » 6 $\frac{1}{2}$ » » — 1 —		
42 — — 9 » » 6 » » — 1 —		
46 — — 8 » » 6 » » — 1 —		
50 — — 7 » » 6 » » — 1 —		
55 — — 7 » » 5 » » — 1 —		

78 Verpackungseinheit Pack für unterschiedlich große Glastafeln zu einem festen Preis

Das Format, das mit dem Zylinderblasverfahren erreicht werden konnte, war durch die menschliche Lungenkraft begrenzt. Mit den rheinischen und böhmischen Methoden waren die maximalen Formate von 120 x 160 cm ausgereizt.¹¹⁵⁹

Die in der Literatur vielfach erwähnten maximalen Durchmesser und Höhen der Zylinder lenken davon ab, dass der Grund für große Dimensionen in einer möglichst rationalen Arbeitsweise lag. Es war effizienter, eine große Glasscheibe in einem Arbeitsgang

herzustellen und diese später zu zerteilen, als in mehreren Arbeitsgängen kleine Formate zu produzieren, auch wenn sie vom Format passender gewesen wären.¹¹⁶⁰ Diesem Grundgedanken entsprechend wurden auch die enorm hohen Zylinder nach dem Sievert- und dem Lubbers-Verfahren in Segmente zerteilt. Dabei ist zu bedenken, dass der spätere Zuschnitt durch die Dicke des Zylinders begrenzt war. Wurden Zylinder mit einer einfachen Dicke von 1,8-2 mm geblasen oder maschinell gezogen, war es aus Gründen der Stabilität nicht ratsam, daraus Glastafeln von über einem halben Quadratmeter herauszuschneiden. In Abhängigkeit der Flächengröße und der Seitenverhältnisse musste die Dicke erhöht werden. Bei Glasflächen ab einem halben Quadratmeter war eine mittlere Dicke von 3 mm erforderlich, bei über 2 m² sogar 4 mm¹¹⁶¹ (Abb. 79). Bei Einhaltung der üblichen Nutstärke war das maximale Glasformat eingeschränkt. Somit können das Format und seine Dicke weitere Hinweise auf den Entstehungszeitraum des Zylinderglases geben.



79 Maximale Fensterglasgröße in Abhängigkeit vom Format und von der Proportion Höhe zu Breite

1159 VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911, 83.
 1160 LENG 1854, 287; THIENE 1931, 1939, 797.
 1161 Siehe auch weiter unten. VÖLCKERS 1954 Anhang.

Butzenscheiben

Butzenscheiben sind in der Regel sehr dünn, aber ihre Dicke variiert. Die Heftnarbe und der umbördelte Rand sind herstellungsbedingt stärker ausgeprägt als die Fläche dazwischen, deren Stärke unter 1 mm liegt. Insgesamt war der Materialeinsatz niedrig. Auf diese Weise konnte ein eventuell vorhandener Farbstich abgeschwächt werden. Butzenscheiben aus dem 19. Jahrhundert und auch solche, die heute noch auf den Markt kommen, sind mit 2-3 mm erheblich dicker, so dass die Dicke als ein Indikator zur zeitlichen Einordnung dienen kann.

Tellerscheiben

Die Dicke der in Nördlingen untersuchten Tellerscheiben war annähernd gleich, konnte jedoch je nach Scheibe auch zwischen 0,6 bis knapp unter 2 mm betragen.¹¹⁶²

Mondglas

Die Größe der Rechtecke aus Mondglas war durch die Mondscheibengröße begrenzt. Die maximal erzielten rechteckigen Formate lagen bei 15 x 13 Zoll bzw. 16 x 10 Zoll. Damit waren sie etwas kleiner als die in England dokumentierten Zuschnitte (Abb. 43). Gängige Formate bei Tafeln nach dem Zylinderblasverfahren waren Anfang des 19. Jahrhunderts bereits 15 x 10 Zoll und 20 x 18 Zoll.¹¹⁶³ Über die Dicke der rechteckigen, in Deutschland produzierten Mondglasformate liegen keine Informationen vor, sie dürfte aber die einfache Dicke, die um 2 mm lag, nicht überschritten haben.

Die Dicke des in Wabenform geschnittenen Mondglases in St. Michael in Bamberg beträgt unter 1 mm.¹¹⁶⁴ Eine Besonderheit des Mondglasverfahrens lag gerade darin, das Glas sehr dünn zu schleudern. In Großbritannien begründete dieser Umstand wahrscheinlich auch die besondere Beliebtheit für diese Glassorte, da bis Mitte des 19. Jahrhunderts eine Fensterglassteuer nach Gewicht erhoben wurde.¹¹⁶⁵ Auch die Glashütte in Grünenplan nutzte das Mondglasverfahren bis in die 1960er Jahre speziell für die Herstellung dünner Deckgläser.¹¹⁶⁶

Die Formatgrößen des Mondglases wurden im 19. Jahrhundert zunehmend vom Zylinderblasverfahren überschritten. Dies begründete den Niedergang des Mondglasverfahrens.

Ziehglas

Einen besonderer Vorteil des Ziehverfahren lag aus Sicht der Glasproduzenten in der Variabilität der Glasdicken, mit der einfache dünne Fensterglasscheiben und auch große Formate gefertigt werden konnten. Der kontinuierliche Ziehprozess war lediglich in der Breite der Ziehvorrichtung begrenzt. „*Glasposten von bis dahin unerhörter Größe*“ konnten „*spielend bewältigt*“ und „*mit verhältnismäßig einfachen Mitteln eine ganz außergewöhnlich große Produktion*“ gelingen.¹¹⁶⁷

Das Fourcault-Verfahren eignete sich besonders für sogenanntes Dünnglas (<2 mm), zu dem auch Fensterglas gezählt wurde. Möglich waren jedoch auch Dicken bis zu 10 mm. Beim Libbey-Owens-Verfahren lag die Dickenspannbreite sogar zwischen 0,6 und 30 mm. Bevorzugt wurde auch hier die Herstellung von Glas in der Stärke von 2-3 mm. Mit dem Pittsburgh-Verfahren wurde vor allem Dickglas um die 8 mm produziert,¹¹⁶⁸ das für sehr große Glasflächen geeignet war, nicht aber für einfaches Fensterglas im Wohnbereich.

Ziehglas brachte eine neue Standardisierung der Dicken mit sich, die nach einer leichten Anpassung 1960 in der DIN 1249 festgelegt wurde (Tabellen C und D).¹¹⁶⁹ Die seit dem 19. Jahrhundert übliche Viertel-Bezeichnung für die Dicke von Fensterglas hatte damit endgültig ausgedient.

Zusätzlich kamen zur groben Unterscheidung die Begriffe „*Dünnglas*“¹¹⁷² für Glas unter 2 mm und „*Dickglas*“¹¹⁷³ ab 4 mm auf. Beide Dicken finden sich auch in Bezug zu Fensterglas. Die Dicke einer Fensterscheibe muss daher auch immer im Kontext mit anderen Kriterien wie Form und Format betrachtet werden. Im Anhang befindet sich eine Zusammenstellung mit datierten Formaten.

6.2.2 Materialbeschaffenheit

Die Materialbeschaffenheit von Fensterglas ist abhängig von der Zusammensetzung des Gemenges und kann nur durch eine chemische Analyse festgestellt

1162 SIEGELIN 2004, 192.

1163 LOIBL 2006B, 745. Es ist unklar, welcher Zoll als Umrechnungsgrundlage heranzuziehen ist.

1164 Freundlicher Hinweis des Glasermeisters Josef Ganka.

1165 GLOCKER / GERHUFER 2017, 48.

1166 LAUFER 1994, 225.

1167 DRALLE 1911, 967.

1168 SPOERER et al. 1988, 170.

1169 DIN 1249 ging in DIN EN 572 ein.

1170 THIENE 1931, 1939, 797.

1171 JEBSEN-MARWEDEL 1960, 22–23; Ders. 1950, 40–54.

1172 Ders. 1960, 24.

1173 Ebd., 23.

Tabelle C Glasdickenbezeichnung 1939 nach Thiene¹¹⁷⁰

Viertel-Bezeichnung	Millimeter	Glasdicke	Abweichungstoleranz
4/4 Glas	2,3 mm	ED – Einfache Dicke	+0,2; -0,1 mm
6/4 Glas	3,0 mm	MD – Mittlere Dicke	+0,3; -0,2 mm
8/4 Glas	3,8 mm	DD – Doppelte Dicke	+0,4; -0,2 mm

werden, wenn es sich um archäologische Befunde handelt oder Bruchglas. Bei Fensterglas *in situ* sind zerstörungsfreie Analysen nicht ohne weiteres möglich bzw. liefern hinsichtlich der Spurenelemente ungenügende Aussagen. Zu den zerstörungsfreien Methoden zählt hier vor allem die Inaugenscheinnahme und neuerdings auch eine Schattenprojektion.¹¹⁷⁴

Die Materialbeschaffenheit ist auch heute nicht immer einheitlich, da es im Ermessen der Hütte liegt, die Qualität zu bestimmen und gegebenenfalls anzupassen. Für historisches Fensterglas sind im Kontext der Denkmalpflege vor allem optisch sichtbare Merkmale von Bedeutung, die einen Hinweis auf den Herstellungszeitraum geben. Meistens handelt es sich um unerwünschte Eigenschaften wie Bläschen und Schlieren, die als Fehler oder Beeinträchtigungen bezeichnet werden können. Der Farbstich, der ebenfalls in diese Kategorie gehört, wurde bereits im Zusammenhang mit der Funktion der Glasscheibe als Fensterglas näher betrachtet.

Bläschen

Bläschen entstehen, wenn das Glasgemenge nicht ausreichend homogenisiert wurde und das Verhältnis der Rohstoffe in der Zusammensetzung unausgeglichen war. Sie treten vereinzelt oder flächenmäßig auf und gelten meist als Anzeichen für eine mindere oder nicht ganz perfekte Qualität. Kleine, verstreute Bläschen zwischen 1 und 3 mm werden von Glasmachern als „Gispfen“ bezeichnet.¹¹⁷⁵ Vereinzelt treten größere Bläschen mit Linsenwirkung auf, die aufgrund ihrer Größe beim Durchschauen kleine optische Verzerrungen aufweisen.

Bei Butzenscheiben und Tellerscheiben behalten die Bläschen ihre ursprüngliche rundliche Form und ordnen sich konzentrisch um den Heftnabel.

Beim Zylinderblasverfahren sind dagegen längliche Bläschen charakteristisch, die durch die Dehnung beim Aufblasen entstehen und in der Regel parallel verlaufen. Frommer und Kottmann haben beobachtet, dass die Bläschen beim Zylinderblasverfahren in Randnähe „*unterschiedliche Konfigurationen einnehmen können*.“¹¹⁷⁶ Verena Kaufmann vermutet, dass die veränderte Ausrichtung der Bläschen während des Aufweitungsprozesses des Zylinders entsteht.¹¹⁷⁷ Wahrscheinlich verstärkt der Einsatz eines Werkzeugs dieses Phänomen.

Tabelle D Glasdickenbezeichnung 1960 nach DIN 1249¹¹⁷¹

Millimeter	Glasdicke	Abweichungstoleranz
1,8 mm	ED – Einfache Dicke	+0,2; -0,05 mm
2,8 mm	MD – Mittlere Dicke	+0,2; -0,1 mm
3,8 mm	DD – Doppelte Dicke	+0,2; -0,2 mm

Nach eigener, stichprobenartiger Anschauung¹¹⁷⁸ ist die Anzahl der Bläschen bei historischem Flachglas erstaunlich gering. Die Beurteilung von Glas allein aufgrund von Bläschen birgt daher die Gefahr einer falschen Einschätzung.

Auch Ziehglas kann blasenförmige Einschlüsse enthalten, wenn auch nur vereinzelt und meistens nur am Rand.¹¹⁷⁹ Sie fallen laut Jebesen-Marwedel „*bei dem durch den Ziehvorgang bedingten Reckprozeß der Glasmasse immer lanzettförmig aus*“¹¹⁸⁰, während sie bei gegossenem Glas rundlich bis oval bleiben.¹¹⁸¹

Schlieren

Der Begriff *Schlieren* ist nicht klar umrissen. Meistens werden damit Fehler im Glas bezeichnet, die durch das Herstellungsverfahren in die Länge gezogen werden. Streng genommen zählen auch Einschlüsse wie langgezogenen Blasen darunter. Schlieren treten in unterschiedlicher Stärke auf. Bei Butzenscheiben sind die sichtbaren konzentrischen Linien Werkzeugspuren, die durch das Auseinandertreiben der geöffneten Glaskugel entstanden sind. Die bei Tellerscheiben auftretenden konzentrischen Ringe sind eher dem Aufblasprozess zuzuschreiben und verleihen dem Glas aus heutiger Sicht einen lebendigen Lichteinfall (Abb. 33, 74).

Wie bereits angemerkt besaß Mondglas laut Tabor kaum „*Riefen*“.¹¹⁸² Zylindergeblasenes Glas hingegen weist Schlieren auf, die auch als Unebenheiten im Glas zu bezeichnen wären. Leng schreibt dazu:

„*Die Streifen, Wellen, zuweilen auch Schliere, Schläure genannt, entstehen aus Mangel an Gleichartigkeit in der Glasmasse; sie sind zwar nur selten gefärbt, verhindern auch den Durchgang der Lichtstrahlen nicht, aber sie brechen diese unregelmäßig und stellen dann die Gegenstände verzerrt und unförmig dar, Glas mit diesen Fehlern ist zu Spiegeln und optischen Instrumenten*

1174 TENSCHERT / BELLENDORF 2023.

1175 JEBSEN-MARWEDEL 1960, 37.

1176 FROMMER / KOTTMANN 2004, 81 f.

1177 KAUFMANN 2010, 102.

1178 Nach mikroskopischer Untersuchung historischer Flachglasproben im Labor des KDWT am 17.2.2023.

1179 JEBSEN-MARWEDEL 1960, 17.

1180 Ders. 1950, 185 f.

1181 Ebd., 186.

1182 TABOR 1818, 112.

*ganz unbrauchbar und selbst zu Fensterscheiben sehr unangenehm.*¹¹⁸³

Die Abgrenzung zur Oberflächenbeschaffenheit ist hier fließend.

6.2.3 Oberflächenbeschaffenheit

Glanz

Wie bereits im Zusammenhang mit der Transparenz erwähnt, entsteht Glanz durch die Reflexion eines kleinen Teils des Lichtes, der das Glas nicht durchdringt. Sowohl dem Teller Glas als auch dem Mondglas wird ein besonderer Glanz nachgesagt, der dadurch entsteht, dass das Glas beim Herstellungsprozess nur mit Luft in Berührung kommt und somit eine Feuerpolitur erhält. Der Glanz beim Teller Glas spricht sehr für die von Trumpf verwendete Herstellungsmethode.

Zylinderglas hingegen erreicht nicht denselben Grad an Reflexion, da die Unterseite beim Streckprozess mit der Unterlage in Berührung kommt.

Welligkeit

Vor allem das Zylinderglas zeichnet sich durch eine belebte Oberfläche auf, die als Welligkeit bezeichnet werden kann und zu Lichtbrechungen führt, auch wenn die Fläche selbst als glatt betrachtet wird (Abb. 80).

Tellerscheiben und Mondglas werden herstellungsbedingt mit einer leichten Schüsselung in Verbindung gebracht, die in manchen Fällen bewusst genutzt wurde, indem die konvexe Seite nach außen zeigte, um so den Blick ins Innere eines Gebäudes zu verhindern.

Im Gegensatz zu mundgeblasenem Glas besitzt Ziehglas kaum und Floatglas gar keine Welligkeit.

Ziehstreifen

Genau genommen handelt es sich bei Ziehstreifen um leichte Dickenveränderungen. Sie fallen in der geraden Durchsicht meistens nicht auf und sind nur in die Schrägsicht bei den im 20. Jahrhundert eingeführten Ziehverfahren erkennbar (Abb. 81). Vor allem in der Anfangszeit sind Probleme mit Ziehstreifen bekannt, die mit der Einführung des Pittsburgh-Verfahrens weitgehend unauffällig wurden, so dass Ziehglas in der Nachkriegszeit kaum mehr Ziehstreifen aufweist.¹¹⁸⁴ Die heute bei Schott hergestellten Gläser nach dem Fourcault-Verfahren hingegen lassen Ziehstreifen erkennen.



80 Oberflächenwelligkeit eines Vitrinenglases aus dem Naturkundemuseum Bamberg

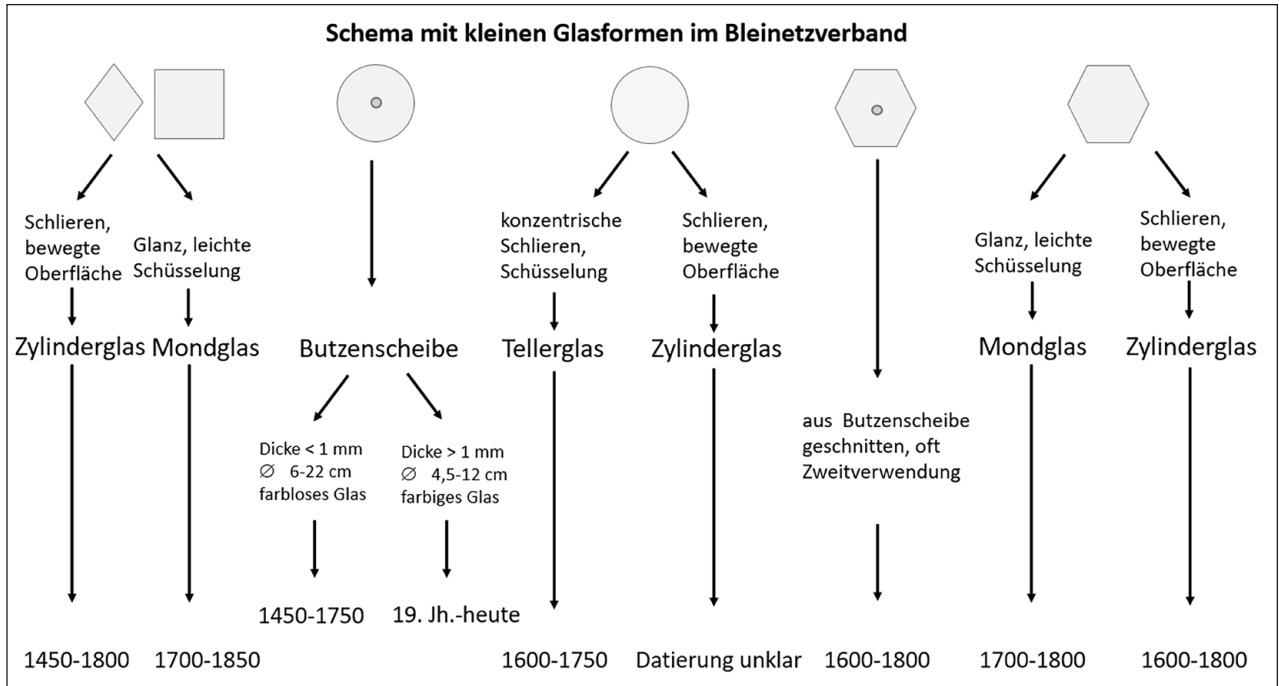
6.3 Schematische Einordnung von Fensterscheiben

Eine Kombination der Erkenntnisse aus den Unterscheidungs- und Bestimmungsmerkmalen lässt sich in zwei Baumdiagrammen veranschaulichen. Diese können der praktischen Denkmalpflege als eine erste, allgemeine Orientierung dienen. Es erscheint sinnvoll, zwischen – einer kleinteiligen Fensterverglasung (Abb. G) und einer großflächigen (Abb. H) zu unterscheiden. In den Tabellen werden die bereits erwähnten Unterscheidungs- und Bestimmungsmerkmale in Beziehung gesetzt. Daraus ergibt sich eine erste Datierung. Zeitliche Vorlieben zum Beispiel für wabenförmige anstatt runde Formen können zusätzlich in die Gesamtbetrachtung miteinfließen.

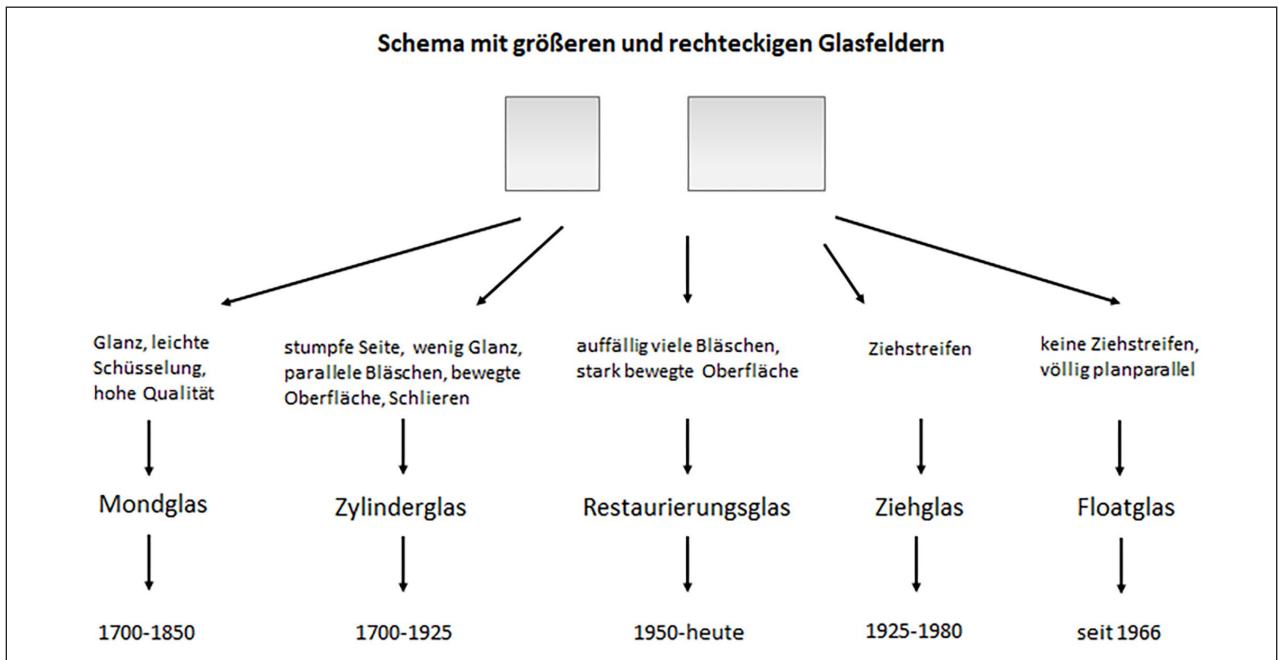
Bei der Bewertung von Rechteckscheiben kommen als Herstellungsverfahren die historischen Verfahren (Zylinderblasverfahren, Mondglasverfahren und drei verschiedene Ziehverfahren) und das heute übliche Floatglasverfahren in Betracht. Da eine Differenzierung bei den Ziehverfahren gegenwärtig nicht möglich ist und auch die Kenntnis von gezogenem Zylinderglas fehlt, stehen somit vier Glassorten zur Verfügung, die aufgrund ihrer charakteristischen Merkmalen nur eine grobe zeitliche Einordnung erlauben. Historisierende Gläser, die nach traditionellen Verfahren als Restaurierungsglas hergestellt werden, wie das bereits erwähnte Fourcault-Glas der Firma Schott oder das Zylinderglas der Glashütte Lamberts, erschweren die Identifikation des Glases.

1183 LENG 1854, 54.

1184 JEBSEN-MARWEDEL 1960, 98.



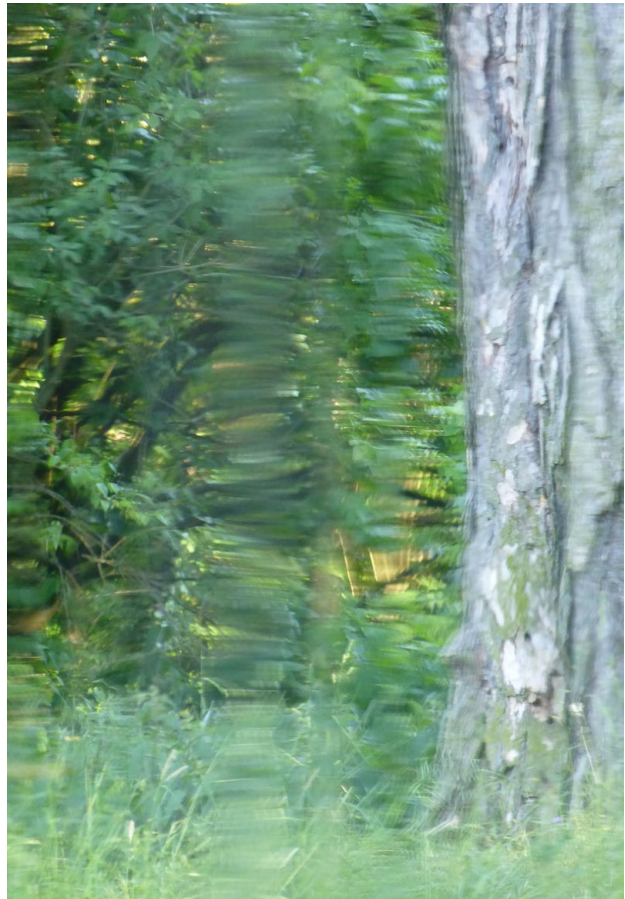
G Schema mit kleinen Glasformen im Bleinetz (Zusammenstellung A. Schmölder)



H Schema mit größeren und rechteckigen Glasfeldern (Zusammenstellung A. Schmölder)



81a Ziehstreifen eines historischen Glases, Bamberg



81b Detailaufnahme mit sichtbarer Verzerrung

6.4 Authentizität von Glas im Baudenkmal

Der Begriff der Authentizität ist in der Charta von Nara aus dem Jahr 1994¹¹⁸⁵ verankert und wird inzwischen auch als Teil des OUV (Outstanding Universal Value) eines Weltkulturerbes verstanden. Authentizität ist ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung eines historischen Gebäudes und Baudenkmals geworden und dient oft als Gradmesser für dessen Bedeutung und Erhaltungswürdigkeit. Sie manifestiert sich zum einen im äußeren Erscheinungsbild, zum anderen im historischen Material. Beides gilt es zu bewahren.

Bei Wohngebäuden sind es vor allem die Fenster, die dem Gebäude sein individuelles Gesicht geben und sein Erscheinungsbild durch Format, Anzahl, Anordnung und eingesetzte Glasscheibenart prägen. Dabei nimmt das Glas die größte Fläche des Fensters ein, ist aber gleichzeitig auch eines der fragilsten Baumaterialien. Aus der Ferne betrachtet manifestiert sich seine Besonderheit und Eigenschaft vor allem in der Reflexion und in Spiegelungen. Sie verleihen dem Gebäude Authentizität. Diese Eigenschaften zu erhalten ist eine wichtige Aufgabe der Denkmalpflege.

Dafür ist die Identifikation von authentischem bzw. bauzeitlichem oder historischem Glas notwendig, die

ohne Erfahrung eine große Herausforderung darstellt. Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, farbloses Glas fotografisch zu dokumentieren. Oft herrscht außerdem die Meinung vor, dass Fehlerhaftigkeit ein besonderes Merkmal historischer Gläser sei, obwohl Fehlerlosigkeit im Glas angestrebt wurde. Dies birgt die Gefahr, dass Glas bisweilen wegen seiner Perfektion verkannt wird, insbesondere seitdem die Spiegelglasindustrie ab den späten 1930er Jahren in die Fensterherstellung drängte.

Die Erkenntnis von Authentizität kann auch aus einem anderen Grund Schwierigkeiten bereiten, und zwar dann, wenn sie mit einer Aura, einer subjektiven Wahrnehmung, verknüpft wird. Dieser Definition nach manifestiert sich die Wahrhaftigkeit in erkennbaren Spuren der Vergangenheit.¹¹⁸⁶ Dieser Ansatz lässt sich nicht einfach mit der Materialität des Glases in Einklang bringen, denn der Erhalt von Altersspuren ist bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit des Glases oft nicht zu gewährleisten. Gemessen an anderen Materialien wie Holz, dessen Patina als

1185 DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 2007, 233–235.

1186 LINDNER 2012, 58–60.

Zeugnis des Alterungsprozesses gepflegt und erhalten bleiben kann, altert Fensterglas schlecht. Witterungsbedingte Patina äußert sich in erster Linie in Korrosionsspuren, die zur Erblindung des Glases führen und damit zum Verlust einer wichtigen Funktion der Fensterscheibe, nämlich der Durchsichtigkeit. Allenfalls mit Notblei ausgebesserte Risse und Sprünge im Glas können als Zeugnisse der Vergangenheit zu den Alterspuren gezählt werden.

Heutzutage wird der Funktionalität des Fensters als Wetter- und Wärmeschutz höhere Priorität eingeräumt als dem Substanzerhalt. Untermauert wird der Austausch mit dem Argument, dass farblosem profanen Glas jeglicher künstlerischer Wert fehlt. Dabei wird verkannt, dass der Substanzerhalt von historischem Fensterglas ein wichtiges Zeugnis einer historischen Herstellungstechnik ist und als solche bewertet werden sollte. Dies gilt sowohl für mundgeblasenes Glas als auch für maschinell gezogenes Glas, da es das Produkt einer Technik ist, die heute nicht mehr für die Fensterglasherstellung gängig ist.

Heute werden traditionelle Techniken nur noch vereinzelt für Ersatzverglasung angewandt. Vielfach sind die charakteristischen Merkmale der Herstellungstechniken, wie Welligkeit der Oberfläche und Anzahl der Bläschen, übertrieben, um Individualität und Lebendigkeit zu erzeugen, die das perfekte Floatglas vermissen lässt. Andererseits zeigt sich auch, dass bei Techniken, die gänzlich verloren gegangen sind, wie dem Mondglasverfahren, mit den heute zur Verfügung stehenden technischen Mitteln¹¹⁸⁷ täuschend ähnliches Ersatzglas geschaffen werden kann. Das Erkennen einer authentischen Glasscheibe wird hier in Zukunft selbst für Experten fast unmöglich sein, wenn die ergänzten Produkte nicht gekennzeichnet sind.

Um die Authentizität eines Gebäudes zu wahren, steht der Substanzerhalt an oberster Stelle, gefolgt von dem Bestreben, den Gesamteindruck eines Fensters oder einer Fenstergestaltung zu wahren, die sich in der Reflexion des Lichtes zeigt. Ist die Lichtbrechung der Ersatzscheiben an die der historischen Fensterscheiben angepasst, so stellt sich bei der Betrachtung aus der Ferne eine harmonische Wirkung ein. Der Grad der Unterscheidung zwischen Original und Rekonstruktion ist einer der wesentlichen Diskussionspunkte der Denkmalpflege.

1187 Dünnes mundgeblasenes Zylinderglas wird thermisch verformt, um der leichten Biegung des Mondglases zu entsprechen. Freundlicher Hinweis von Josef Ganka; vgl. Video der BÜRGERSPITALSTIFTUNG.

7 Schlussbetrachtung und Ausblick

Die erarbeiteten Eckpunkte zum Anwendungszeitraum der verschiedenen Flussmittel und Herstellungstechniken ergeben ein vielschichtiges Bild der Entwicklungsgeschichte klaren Fensterglases. Auf der einen Seite zeichnet sich mit dem Zylinderblasverfahren eine jahrhundertelange Kontinuität ab, die erst im frühen 20. Jahrhundert abbrach und zu völlig neuen Wegen führte. Auf der anderen Seite entwickelten sich parallel dazu weitere Verfahren in dem Bestreben, mit neuen Herstellungsprozessen die Produktivität und Effektivität der Arbeitsabläufe zu erhöhen bzw. zu steigern. Insgesamt lässt sich eine Technikveränderung mit mehreren Meilensteinen bzw. Innovationsschüben nachzeichnen (Abb. J).

Etlliche begriffliche Widersprüche im Bereich der Flussmittel und der Glasprodukte konnten aufgezeigt und aufgelöst werden sowie die Anfangs- und Endpunkte der verschiedenen Herstellungsverfahren durch belastbare Daten erstmals deutlich herausgearbeitet werden. Die Zusammenführung der Anwendungszeiträume veranschaulicht die Veränderungen bei den Herstellungsverfahren für klares Fensterglas von der Ersterwähnung des Zylinderblasverfahren Anfang des 12. Jahrhunderts bis zur Einführung des Floatglases in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Abb. I).

Damit ist eine wichtige Voraussetzung für die Einordnung und Datierung von Fensterglas geschaffen worden, die der praktischen Denkmalpflege als Referenzgrundlage zugutekommt. Zudem konnten einige Unterscheidungsmerkmale in einen historischen Kontext gesetzt werden, so dass nun neue Anhaltspunkte zur Einordnung zur Verfügung stehen. Darüber hinaus tragen Bestimmungsmerkmale, die zum Teil herstellungsbedingt sind, zur Identifikation des Fensterglases bei. In zwei als Bestimmungsbaum angelegten differenzierten Schemata sind die Merkmale übersichtlich angeordnet.

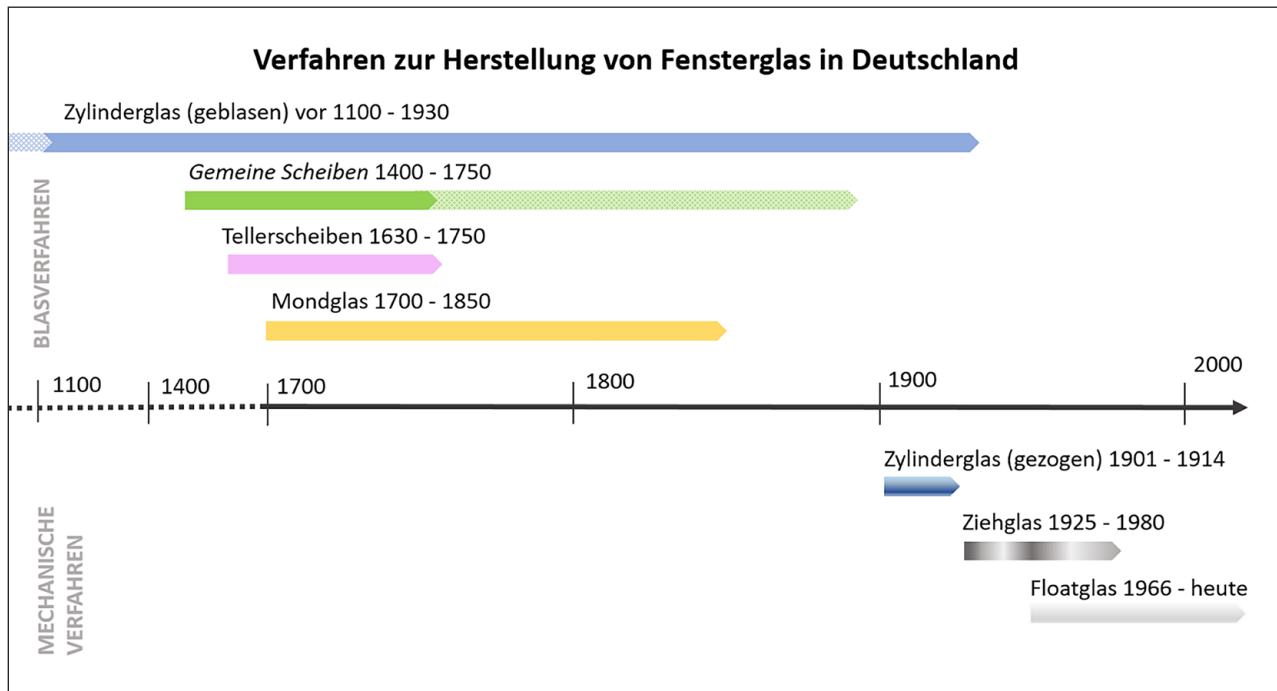
Die Ausgangsfrage war nicht, seit wann die Produktion von ungefärbtem Fensterglas möglich war, sondern vielmehr ab wann klares Glas Einzug in Wohngebäude hielt. Die Tatsache, dass bereits im 12. Jahrhundert das Zylinderblasverfahren im Zusammenhang mit *weißem* Glas erwähnt wird, legt die Vermutung nahe, dass zu dieser Zeit entfärbtes Fensterglas hergestellt wurde, belegt jedoch nicht, dass es bereits damals als einfache Fensterverglasung verbreitet war. Die ersten Nachweise für Fensterglas im bürgerlichen Umfeld sind indirekter Natur und lassen sich erst erheblich später im Zuge des Stadtwachstums festmachen. Dies bestätigt sich, als sich im

14. Jahrhundert aus der Zunft der Glasmaler der Beruf der Fenstermacher als eigenständiges Handwerk entwickelte. Dabei bleibt offen, ob farbiges oder auch großflächig entfärbtes bzw. ganz klares Fensterglas eingesetzt wurde. Die Entdeckung der Italiener von hochwertigem *crystallino* setzte ab Mitte des 15. Jahrhunderts sicherlich einen neuen Akzent zugunsten von Durchsichtigkeit und Klarheit, die sich vermutlich auch auf die Fensterglasproduktion auswirkten.

In der Anfangszeit weisen Bildquellen auf eine parallele Verwendung von Rauten und Scheiben bei der Bleiverglasung hin, so dass zu diesem Zeitpunkt die Kenntnis zweier ganz unterschiedlicher Herstellungsmethoden angenommen werden kann: das für Buntglasfenster vertraute Zylinderblasverfahren und die Butzenscheibenherstellung. Anders als der rückwärtsgerichtete Blick des 19. Jahrhunderts vermuten lassen könnte, wurde die Butzenscheibentechnik im ausgehenden 15. Jahrhundert offenbar als moderne, effiziente Alternative gesehen.

Die Anfänge von ungefärbten Butzenscheiben als Fensterverglasung im deutschsprachigen Raum sind wenig erforscht. Vieles deutet darauf hin, dass die schon in römischer Zeit bekannte Technik in Süddeutschland durch italienische Ware einen neuen Impuls bekam. In den nördlichen Regionen Deutschlands hingegen könnte der Einfluss der Zisterzienser für einen Wissenstransfer aus Frankreich verantwortlich gewesen sein oder die Handelsbeziehungen zu den Niederlanden. Im Gegensatz zu den Niederlanden scheint die Butzenverglasung im deutschsprachigen Raum erst im späten 15. Jahrhundert populär geworden zu sein. Diese These wird unterstützt durch Darstellungen bedeutender deutscher Künstler wie Dürer, Grünewald und Cranach, die Butzenscheiben als Motiv aufgriffen. Gleichzeitig offenbart sich bei der Fensterglasgestaltung eine Abkehr von der Polychromie, die auch aus der Bildhauerkunst bekannt ist und in Wohnhäusern zu einem erhöhten Lichteinfall geführt haben muss. In der Entwicklung der Fensterglasgeschichte im profanen Bereich stellt die Butzenscheibenherstellung in jedem Fall eine vorindustrielle Massenproduktion dar, die durchaus als ein erster Meilenstein betrachtet werden kann (Meilenstein 1, Abb. J).

Vor dem Hintergrund der Butzenscheiben mit ihrer störenden mittleren Verdickung lassen sich Tellerscheiben als die *besseren Schwestern* ohne Heftmarke und mit größeren Durchmesser leicht als Weiterentwicklung und Verbesserung des Fensterglases erklären, wobei sie die Butzenscheiben nicht ablösten, sondern ergänzten. Die frühesten bekannten Befunde an Tellerscheiben lassen sich um 1630 festmachen.



I Übersicht über die Herstellungsverfahren von Fensterglas in Deutschland (Zusammenstellung A. Schmölder)

Ähnlich wie die Butzenscheiben fanden Tellerscheiben bis ins 18. Jahrhundert Anwendung. Über den eigentlichen Herstellungsprozess geben lediglich Rekonstruktionsversuche Auskunft. Es könnte Aufgabe der experimentellen Archäologie sein, die Technik der Tellerscheiben wissenschaftlich zu ergründen.

In das 17. Jahrhundert fällt auch eine maßgebliche Veränderung in der Rohstoffzubereitung, da die Einführung neuer Praktiken wie das Extraktionsverfahren zu größerer Reinheit der Flussmittel führte (Meilenstein 2, Abb. J). Um die Glasqualität zu verbessern, wurde nun vermehrt Holzasche und auch Asche anderer heimischer Pflanzen zu Pottasche verarbeitet. Es entstanden neue Glassorten wie das böhmische Kreideglas und die *weißen Heilbronner*. Letztere wurden auch für die Herstellung von Tellerscheiben eingesetzt. Es ist anzunehmen, dass auch Butzenscheiben von den neuen Rezepturen profitierten. Diese Veränderung im Einzelnen näher zu untersuchen, ist Aufgabe zukünftiger Forschung.

Die Bedeutung von Soda für die Herstellung von luxuriösem klarem Hohlglas ist unbestritten. Ihre Verwendung in Bezug auf entfärbtes Fensterglas muss jedoch relativiert werden, da sie teuer war und importiert werden musste. Sie wurde aus der Asche salzliebender Pflanzen, sogenannten Halophyten, gewonnen, die an Meeresküsten wachsen. Bis ins 19. Jahrhundert hinein verstand man unter *Soda* hauptsächlich eine Halophytenasche spanischer Herkunft, die in verschiedenen Handelsformen und unterschiedlichen Qualitätsstufen auf dem Markt war.

Für die Herstellung von Fensterglas reichte es jedoch, lokal produzierte Pottasche einzusetzen, die teilweise mit anderen Wirkstoffen wie Glaubersalz oder Weinstein kombiniert oder gestreckt wurde. Erst mit der Einführung synthetischer Soda im 19. Jahrhundert gewann das natriumbasierte Flussmittel für die Fensterglasherstellung an Bedeutung und löste das kaliumbasierte Flussmittel ab.

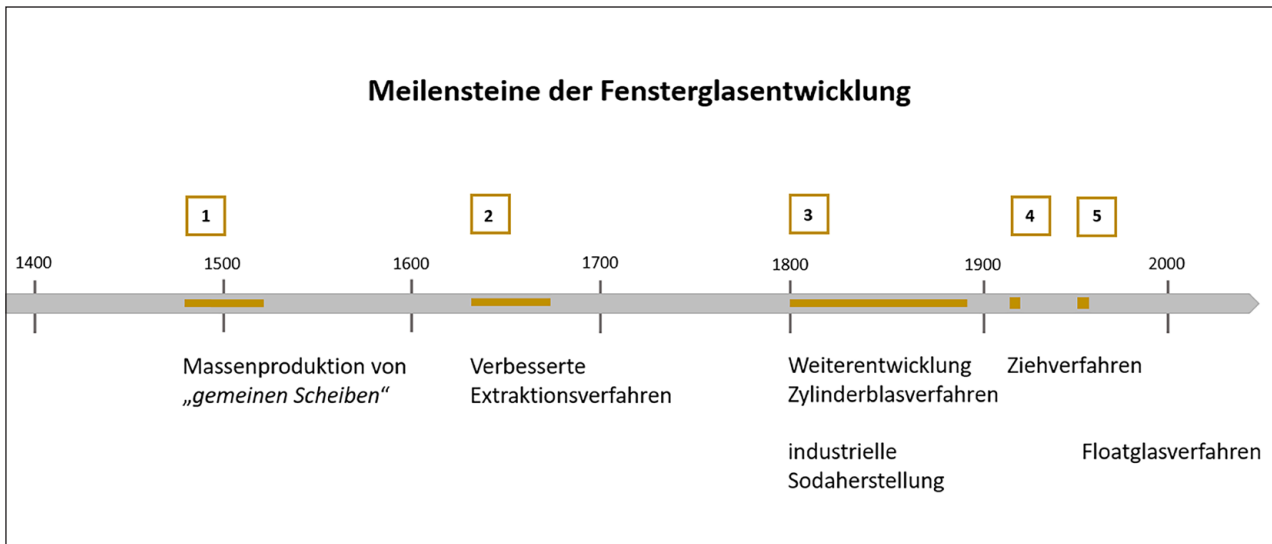
In die verwirrende Vielzahl von Begriffen für Flussmittel, insbesondere der undifferenzierte Gebrauch des Begriffs Soda, konnte Klarheit gebracht werden. Die Kenntnis der Bedeutung von *Soda* als ein Produkt spanischer Herkunft, das in Konkurrenz zu weiteren Halophytenaschen stand, erfordert bei der Auswertung schriftlicher Quellen im deutschsprachigen Raum zukünftig größere Differenzierung. Vor diesem Hintergrund sollte auch die vorhandene Fachliteratur im Hinblick auf die Herkunft der Soda auf ihre Genauigkeit überprüft werden.

Den Wissenstransfer der französischen Mondglasherstellung im frühen 18. Jahrhundert hat Werner Loibl für den süddeutschen Raum nachgewiesen. Da das Spezialverfahren besonders hohe Ansprüche an das Arbeitspersonal stellte und andere Öfen erforderte, unterscheidet es sich grundlegend von der Butzenscheibenherstellung. Aus der großen Mondscheibe mit bis zu 1,5 m Durchmesser entstanden rechteckige und wabenförmigen Glasprodukte, die noch heute oft verkannt werden, obwohl ihre Existenz vielfach schriftlich belegt ist.

Im ausgehenden 18. Jahrhundert entwickelte sich das nie ganz aufgegebene Zylinderblasverfahren trotz des umständlichen Streckverfahrens und der erforderlichen Zusatzöfen zu einer ernstzunehmenden Konkurrenz bei der Herstellung von rechteckigem Fensterglas. Die Veränderungen im Arbeitsprozess durch Energieeinsparungen und durch geschickten Einsatz der Technik, die zur Herstellung größerer Glastafeln führten, konnten in dieser Arbeit gegenübergestellt werden. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das Zylinderblasverfahren mit den technologischen Neuerungen auf dem Gebiet der Öfen und Häfen sowie der industriellen Sodaherstellung im Laufe des 19. Jahrhunderts an Bedeutung gewann und sich zur Standardtechnik für die Fensterglasherstellung entwickelte, die bis Ende der 1920er Jahre andauerte (Meilenstein 3, Abb. J).

ein Glasband in einem kontinuierlichen Verfahren direkt aus der Glasschmelze gezogen werden. Die Produktionsmenge erhöhte sich eklatant, so dass sich Fensterglas von einem luxuriösen zu einem kostengünstigen Massenprodukt veränderte. Mit dem Übergang von einer traditionellen handwerklichen Glashütte hin zu einem industriellen technischen Ingenieurbetrieb war ein weiterer Meilenstein erreicht (Meilenstein 4, Abb. J). In Tabelle 2.2 im Anhang werden die in Deutschland ausgeübten Techniken zur Herstellung von Fensterglas zusammenfassend verglichen.

Nur 40 Jahren nach seiner Einführung widerfuhr den Ziehverfahren allerdings ein ähnliches Schicksal wie seinerzeit dem Zylinderblasverfahren. Mit dem in Großbritannien entwickelten und in Deutschland 1966 eingeführten Floatglasverfahren konnten



J Übersicht über die Meilensteinen der deutschen Fensterglasentwicklung (Zusammenstellung A. Schmölder)

Technikveränderungen beim Zylinderblasverfahren, dem am längsten ausgeübten Verfahren zur Herstellung von Flachglas, sind allein wegen des langen Zeitraums von über 800 Jahren verständlich, das Prinzip hingegen blieb gleich. Ein besonderer Aspekt, der beim Zylinderblasverfahren häufig übersehen wird, ist der Unterschied bei der Herstellungsweise von Fenstern und Spiegeln. Sie sind klar zu differenzieren, damit die in der Vergangenheit vielfach falsch gezogenen Schlüsse in Zukunft vermieden werden.

Mit Einführung der Ziehverfahren in den 1920er Jahren in Deutschland erfuhr die Fensterglasherstellung eine fundamentale Veränderung, die innerhalb weniger Jahre das traditionelle Zylinderblasverfahren verdrängte. Die Herstellung nahm nun keinen Umweg mehr über den Zylinder, stattdessen konnte

Glastafeln in einer neuen Qualitätsstufe hergestellt werden, die vorher gegossenem Spiegelglas vorbehalten war (Meilenstein 5, Abb. J). Es dauerte nicht lange, bis jedes Fensterglas in diesem neuen Standard produziert wurde. Die Übersicht (Abb. I) macht die Veränderungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts offenkundig und führt auch vor Augen, dass einzelne Techniken nur kurze Zeit Anwendung fanden.

Die nun mögliche Datierung und Einordnung der einzelnen Herstellungsmethoden ist für sich genommen schon eine Hilfe. Um die Differenzierung bei der Bestimmung von Fensterglas weiter voranzutreiben, ist es notwendig, eine Sammlung mit datiertem

Referenzmaterial zu den einzelnen Herstellungstechniken anzulegen. Damit einhergehen sollte die Erarbeitung eines Kriterienkatalogs für die Dokumentation von Fensterglas, in dem neben der üblichen Erfassung von Abmessungen auch die Material- und Oberflächenbeschaffenheit festgehalten werden. Vor allem sind Überlegungen zu einer Standardisierung der fotografischen Dokumentation notwendig, um der schwierigen Aufgabe zu begegnen, die sich beim Fotografieren von durchsichtigem Glas stellt. Es gibt bereits einen ersten Ansatz, typische Oberflächenstrukturen mittels Schattenprojektion festzuhalten.

Da die Identifikation von historischem Fensterglas Einfluss auf die Wahl des Ersatzglases hat, sind grundsätzliche Überlegungen erforderlich, welchen Grad an Glasqualität ein Ersatzglas erfüllen soll. Im Hinblick auf künftige Denkmalpflege sollte zusätzlich zu der allgemein üblichen Dokumentation eine Kennzeichnung des Ersatzglases erfolgen.

Es gilt, das Bewusstsein für das Material Fensterglas im profanen Umfeld zu schärfen, damit ein Umdenken erfolgt und nicht nur dem Fensterrahmen, sondern auch dem Fensterglas ein historischer Zeugniswert zuerkannt und auf diese Weise ein weiterer wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet wird.

8 Anhang

8.1 Tabellen

8.1.1 Gegenüberstellung der verschiedenen Zylinderblasverfahren

	Theophilus 12. Jh.	Krünitz 1788	Tabor 1818	Böhmisches Verf., 2. Hälfte 19. Jh.	Rheinisches Verf., 2. Hälfte 19. Jh.	Lamberts 2023
Verlängern der Blase	Blasen, „bis eine lange Blase herabhängt“	Blasen und „Schwingen“	Erhöhung durch Kanzel und Grube	Podest	Schwenkgrube	bei langen Zylindern Schwenkgrube
Öffnen der Blase	Durchblasen der partiell erhitzten Stelle	„Gegenschlagen“ mit eisernem Haken	Durchblasen der partiell erhitzten Stelle	Durchblasen der Stelle, die durch Anbringen von etwas heißem Glas erweicht wurde	Durchblasen der Stelle, die durch Anbringen von etwas heißem Glas erweicht wurde	Durchblasen der erhitzten Stelle bei langen Zylindern, sonst Erweichung des Zylinderbodens durch Anbringen von etwas heißem Glas
Weitung zum Halbzylinder	mit Holzstab	Berührung und Durchschlagen mit eisernem Bolzen	allein durch Drehung	unklar	unklar	-bei langen Zylindern durch Drehung, -bei kurzen mit Holzpadel; Metallklammer als Halterung
Abtrennen der Pfeife	mit einem feuchtem Holz nach dem Tempern	wird nicht explizit erwähnt	Beträufeln mit Wasser an dünner Stelle am Pfeifenkopf	unklar	unklar	Beträufeln mit Wasser an dünner Stelle am Pfeifenkopf, danach Erwärmung und Begradigung der Öffnung
Kühlung vor dem Streckverfahren	im Temperofen	im Temperofen	an der Luft auf einem Schaff	an der Luft auf einem Schaff	an der Luft auf einem Schaff	je nach angewandter Technik an der Luft oder im Kühlöfen

Abschlagen der Haube	keine Erwähnung	Drehung auf einer Eisenstange, dann Berührung mit eisernem Bolzen	mit einem heißem Glasfaden	mit einem der Wölbung des Zylinders angepassten Eisenstab	mit einem heißem Glasfaden	ist bereits nach Entfernung der Pfeife erfolgt
Aufsprengen / Spalten des Zylinders	mit heißem Eisenwerkzeug	nasses Eisen wird gegen den oberen Rand gehalten	mit einem heißem Aufsprengisen wird die Innenseite des Zylinders geritzt und angefeuchtet	Einritzen mit langer rotglühender Eisenstange auf der Innenseite	Einritzen mit einem Diamanten auf der Innenseite	Einritzen auf der Innenseite und Anfeuchten
Strecken im Ofen	mit Zange und Glättholz	mit dünner Eisenstange „geradeschlagen“	mit Streckeisen auseinandergebügelt	unklar	unklar	mit einem nassen Holzwerkzeug

8.1.2 Vergleich der einzelnen Herstellungsverfahren

Verfahren	Produktnamen	Vorteil	Nachteil
Butzenscheibenherstellung ca. 1450 - ca. 1750	<ul style="list-style-type: none"> - Waldscheiben - <i>Gemeine Scheiben</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Massenanfertigung - wenige Arbeitskräfte (1-2) - Abkühlung ohne Ofen möglich - kein Streckofen notwendig - kein Zuschnitt erforderlich - ausgeprägter, meist eingerollter Rand verleiht Stabilität 	<ul style="list-style-type: none"> - durch Heftabriss und konzentrische Ringe eingeschränkte Durchsicht - bei schlechter Glasqualität nur durchscheinend - Zusammensetzung in Bleinetz mit Zwickel - Brandgefahr durch Brennglaseffekt am Heftabriss
Tellerscheibenherstellung spätes 16. Jh. - ca. 1750	<ul style="list-style-type: none"> - Spiegelscheiben - <i>Bessere Schwestern</i> der Butzenscheiben - <i>turchsichtig scheiben</i> - <i>Weiße Heilbronner</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - bessere Durchsichtigkeit als bei Butzenscheiben, da ohne Butze - größere Formate 	<ul style="list-style-type: none"> - zusätzliche Arbeitsschritte gegenüber Butzenscheibenherstellung durch Abtrennen des Bodens - Verwendung eines Modells
Mondglasherstellung um 1700 - ca.1850	<ul style="list-style-type: none"> - Mondglas - Frantz-runde Scheiben - Lohrer Glas 	<ul style="list-style-type: none"> - kein Streckofen notwendig - weniger Arbeitsschritte als beim Zylinderblasverfahren - besonderer Glanz „<i>lustre</i>“ durch Feuerpolitur auf Ober- und Unterseite - gute Durchsichtigkeit - dünne Glasdicke möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Anforderungen an das Personal: Teamarbeit und großer körperlicher Kraftaufwand beim Schleudern - Anpassungen der Schmelz- und Kühlöfen - Zuschnitt der Glasscheibe in rechteckige Formate oder Waben - mehr Verschnitt - Scheibengröße begrenzt, liegt unter den Möglichkeiten von Zylinderblasverfahren
Zylinderblasverfahren 12. Jh. - 18. Jh.	<ul style="list-style-type: none"> - Tafelglas - Böhmisches Tafelglas - Kalikalktafelglas 	<ul style="list-style-type: none"> - rechteckige Formate - keine Zwickel 	<ul style="list-style-type: none"> - Streckofen - aufwendiges Verfahren - Welligkeit in der Oberfläche
Zylinderblasverfahren spätes 18. Jh. - 1930	<ul style="list-style-type: none"> - Tafelglas - Walzenglas 	<ul style="list-style-type: none"> - verbesserte Verfahren zur Herstellung von größeren und dünnen Zylindern - vor dem Streckvorgang kein Kühlöfen erforderlich, dadurch Energieeinsparung - ermöglicht größere Formate, als mit Mondscheiben erzielt werden kann - neue Streck- und Kühlöfen beschleunigen den Arbeitsprozess 	<ul style="list-style-type: none"> - neben den oben genannten: Kanzer oder Podest - Schwenkgrube - hohe körperliche Kraft erforderlich - Anpassung der Techniken zum Abtrennen der Haube
Sievert-Verfahren 1901-1909		<ul style="list-style-type: none"> - Pressluft anstelle von Lungenkraft - Arbeitskraft entbehrlich (Dralle) - Zeiteinsparung, da 160-180 Segmente anstelle von 130 rheinischen Zylindern 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung über Zylinder - komplizierte und anfällige Maschine - Turm und versenkter Ofen - Zerteilen der Zylinder in 2-3 Segmente

Lubbers-Verfahren 1911-1914		<ul style="list-style-type: none"> - Pressluft anstelle von Lungenkraft - Glas wird direkt aus der Glasschmelze gezogen - lediglich 1 Vorarbeiter erforderlich, dazu 16 ungelernete Arbeiter 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung über Zylinder - Ziehhäfen halten nur 2-3 Wochen - Glasverlust durch den Rückstand im Hafen - hoher Brennstoffeinsatz und große Brennstoffverschwendung - hohe Schmelzkosten durch Schöpfbetrieb
Fourcault-Verfahren 1922/24 - ca. 1980	<ul style="list-style-type: none"> - Maschinenglas - Ziehglass 	<ul style="list-style-type: none"> - Glastafel wird direkt aus der Schmelze gezogen - kontinuierlicher Prozess - oft bis zu 9 Ziehmaschinen pro Wanne - unterschiedliche Glasdicken von 0,5mm bis 10 mm bei Tafelbreiten bis zu 2,50 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Turm nötig - Anfälligkeit der Düse - Lebensdauer der Düse lediglich ca. 3 Monate - Glaszusammensetzung spielt größere Rolle als beim Libbey-Owens-Verfahren - anfangs geringere Wetterbeständigkeit infolge des hohen Alkaligehalts - genau geregelter Temperaturverlauf im Schacht für behutsame Kühlung - Ziehstreifen und Verzerrungen beim Durchschauen aufgrund chemischer und thermischer Ursachen - größere Kapazitäten bei geringerem Platzbedarf gegenüber Libbey-Owens-Verfahren
Ziehverfahren: Libbey-Owens-Verfahren 1927 - ca.1980	<ul style="list-style-type: none"> - Maschinenglas - Ziehglass 	<ul style="list-style-type: none"> - Glasband wird ohne Düse frei aus der Glasmasse gezogen - kein Turm erforderlich für die Kühlung, dafür ein ausgeklügeltes Wasserkühlsystem mit vielen Schläuchen - Glasband kommt während seiner Formgebung nicht mit anderen Werkstoffen oder Maschinenteilen in Berührung und von der Biegewalze ab auch nur auf einer Seite - aufgrund des waagerechten Ziehprozesses erheblich größere Dicken ab 0,5 mm bis zu 30 mm, - gegenüber dem Fourcault-Verfahren 4fache Produktionsmenge pro Maschine 	<ul style="list-style-type: none"> - gegenüber Fourcault geringere Ausnutzung mit nur 2 Ziehmaschinen pro Wanne - Fehlerquelle: Ziehmechanismus durch Umbiegen des Ziehbandes - Lebensdauer der Maschine ca. ein Vierteljahr - Auswechseln der Biegewalze alle 2-3 Tage zum Nachpolieren - genaue Temperaturregelung - Ziehprozess komplizierter als beim Fourcault-Verfahren - Raumtemperatur im Betrieb muss die obere Entglasungstemperatur überschreiten
Ziehverfahren: Pittsburgh-Verfahren 1931 - ca.1980	<ul style="list-style-type: none"> - Maschinenglas - Ziehglass 	<ul style="list-style-type: none"> - vereint die Vorteile des Fourcault- und des Libbey-Owens-Verfahrens - kontinuierliches Verfahren direkt aus der Schmelzwanne - keine herkömmliche Düse, aber Balken, die der Entglasung entgegenwirken - Ziehmaschine dieselbe wie bei Fourcault - nach „Sturz“ kann die Maschine bereits nach 3 Stunden wieder in Betrieb genommen werden - besondere Eignung für Dickglas um die 8 mm - optische Wirkung des Glases verbessert 	<ul style="list-style-type: none"> - Schamottebalken hält nur 3 Monate - Lagerfähigkeit der Glastafeln schlechter aufgrund der großen Planheit

8.1.3 Dokumentierte Formate: Glasscheiben (exemplarische Auswahl)

BS = Butzenscheiben

VS = „Venedisch Scheiben“

TS = Tellerscheiben

Befunde*schriftliche Erwähnung*

1 Zoll = 2,54 cm

Datierung	Ø Zoll	Ø cm	Scheibenart	Bemerkung	Literaturnachweis
um 1400		8-9 13 13,2	BS	Teplitz, Böhmen, Waldglasqualität	ČERNÁ 2016, 128
1393 und 1451		6,5 12,5	BS, VS	Glaserwerkstadt Bad Windsheim, darunter farblose BS aus Italien	KAUFMANN 2010, 217
1470-1500		9,6-11,4	BS	Glaswasen, Schönbuch 11 Fragmente, mehrere leicht gelblich	FROMMMER / KOTTMANN 2004, 83, Befund-katalog, 53-54 f.
15./16. Jh.		10,5 11 12	BS	Nassachtal, Ba.-Wü. Fragmente, darunter 5 entfärbte; Ø rekonstruiert	LANG 1991, 24–32
1490		9-10	VS	Puschendorf, Fürth, Bay.	FRENZEL 1973, 112
15./16. Jh.		8,7 9,5	BS	Pockau, Sachsen	BÜTTNER 2010, 340 f.
1583		17,5 18,5 20,5	VS	648 dünne farblose BS aus dem Gnalić Wrack	PETRICIOLI 1973, 91
1661		18	TS	<i>Hessen</i>	LOIBL 2013, 327
1666		14,5	TS	Nördlingen, Ba.-Wü.	SIEGELIN 2004, 192
1666		12	BS	Nördlingen, Ba.-Wü.	Ebd. 2004, 193
1675-1700		25 29	TS	Kamenz, Sachsen	NOKY 2004, 224
1701		15 20	TS	<i>Glashütte Frammersbach, Spessart</i>	LOIBL 2012a, 289
1701		12	BS	<i>Glashütte (Fabrik-)Schleichach</i>	Ders. 2006b, 709
1765	4	10	BS/TS	Bezeichnung: <i>Gemeine Scheibe</i>	PENTHER 1765, 13
1765	5,5	ca. 14	BS/TS	Bezeichnung: <i>Siegel-Scheibe</i>	Ebd. 1765, 13
1765	8	20,3	BS/TS	Bezeichnung: <i>Doppel-Scheibe</i>	Ebd. 1765, 13
1765	9	22,8	BS/TS	Bezeichnung: <i>Kaisergroschen</i>	Ebd. 1765, 13
1765	10	25,4	BS/TS	Bezeichnung: <i>Halbe Royal Scheibe</i>	Ebd. 1765, 13
1765	12	30,5	BS/TS	Bezeichnung: <i>Ganze Royal Scheibe</i>	Ebd. 1765, 13
1818	3-6	8-15	BS	Erwähnung als unmoderne Scheiben	TABOR 1818, 111
19. Jh.		4,5-12	BS	Einsiedel, Spessart (farbig)	LOIBL 1995a, 246

8.1.4 Dokumentierte Formate: Glastafeln (exemplarische Auswahl)

ZBV = Zylinderblasverfahren

MG = Mondglasverfahren

BS = Butzenscheibenherstellung

TS = Tellerscheibenherstellung

FV = Fourcault-Verfahren

LO = Libbey-Owens-Verfahren

¹ 1 Zoll = 2,54 cm

² 1 Brabanter Zoll = 2,85 cm

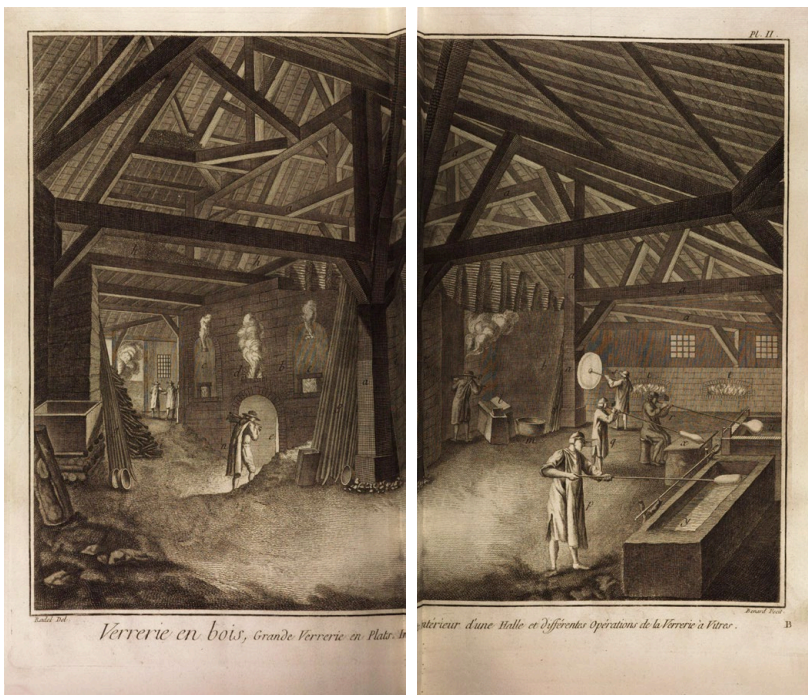
Datierung	Zoll	cm	Verfahren	Bemerkung	Literaturnachweis
um 1100		30 x 30	ZBV	geschätzte Maße	BREPOHL 2013, 196
15. Jh.		25 x 25 33 x 33	ZBV	geschätzte Maße	WEDEPOHL 2003b, 148
16. Jh.		45 x 30	ZBV	geschätzte Maße, Nassachtal, Ba.-Wü.	LANG 2003, 101
1678	18 x 15 ¹	44,10 x 38,10	ZBV		BÖCKLER 1678, 30
17. Jh.	15 x 10 ¹	38,10 x 25,10	ZBV	(Fabrik-)Schleichach, Steigerwald	LOIBL 2006b, 745
um 1700	20 x 18 ¹	50,08 x 54,72	ZBV	vermutete Maße, (Fabrik-)Schleichach, Steigerwald	Ebd. 2006b, 745
um 1780	22 x 18 ¹ 31 x 28 ¹	55,88 x 45,72 78,74 x 71,12	ZBV		KRÜNITZ ¹ 1779, ² 1788, 672
um 1800	16 x 10 ²	45,60 x 28,70	MG	Brab. Zoll, Mittelstück, Spessart	TABOR 1818, 150
um 1800	21 x 21 ²	59,85 x 59,85	MG	Brab. Zoll, max. Rechteck aus einer Scheibe mit Ø von 52 Zoll (148,2 cm), Spessart	Ebd. 1818, 112
um 1800	44 x 32 ² 48 x 36 ²	125,44 x 91,20 136,80 x 102,6	ZBV		Ebd. 1818, 112
um 1800	36 x 30 ²	102,60 x 85,50	ZBV	1 Tafel = 1 Schock	Ebd. 1818, 190
um 1800	26 x 19 ²	74,10 x 54,15	ZBV	4 Tafeln = 1 Schock	Ebd. 1818, 190
um 1800	14 x 10 ²	39,90 x 28,50	ZBV	16 Tafeln = 1 Schock	Ebd. 1818, 190
um 1800	32 x 27 ²	136,80 x 76,95	ZBV	Standardmaß	Ebd. 1818, 190
um 1800	28 x 21 ²	79,80 x 59,85	ZBV	Standardmaß	Ebd. 1818, 190
um 1900		110 x 400	ZBV	max. Größe, rheinisches Verfahren	VERBAND DER GLASER- INNUNGEN 1911, 83
ab 1924		100 150 160 250	FV	Breite d. Ziehbänder, Höhe variabel	THIENE 1931, 1939, 801; KÖNIG et al. 1934, 15; CHOPINET 2019, 34
ab 1927		200 210	LOV	Breite d. Ziehbänder, Höhe variabel	THIENE 1931, 1939, 803; KÖNIG et al. 1934, 21
2023		100 x 110	ZBV	2 mm Dicke, Lamberts, Waldsassen	GLASHÜTTE LAMBERTS
2023		60 x 90	ZBV	3 mm Dicke, Lamberts, Waldsassen	Ebd.

8.2 Bildtafeln aus Diderot-d'Alembert zum Mondglasverfahren

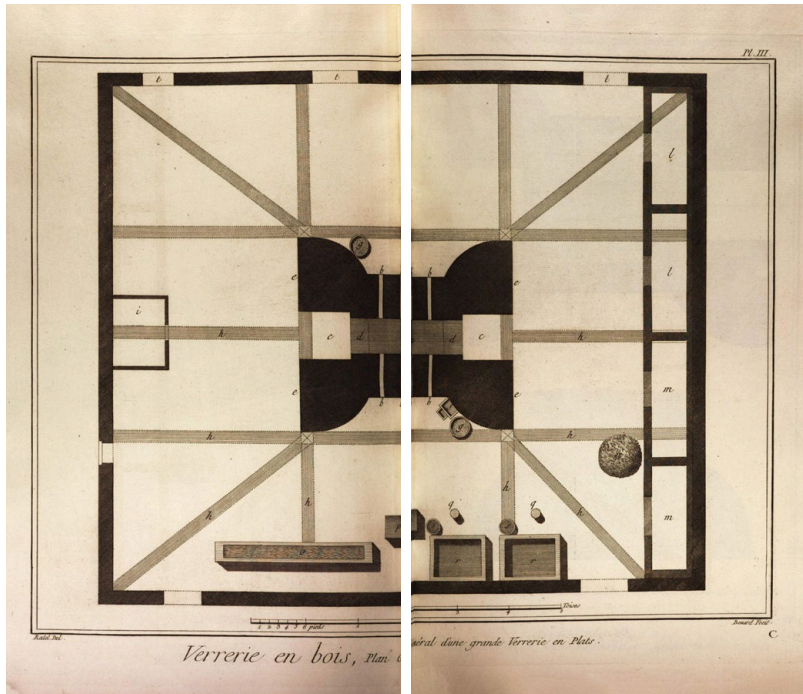
D. DIDEROT / J. R. D'ALEMBERT 1772, Verrerie en bois, Tafelband IX (französische Zählweise)



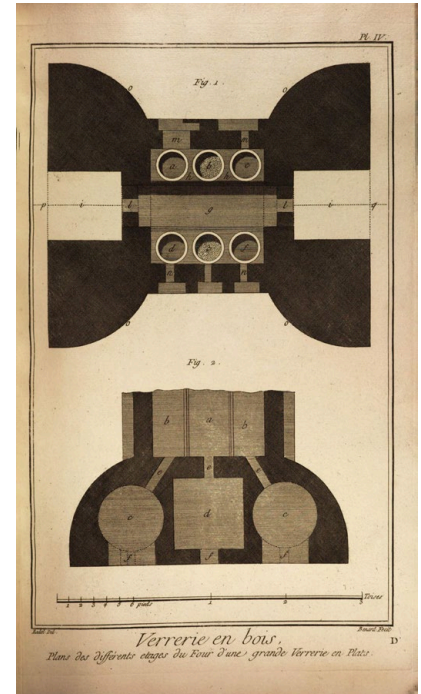
Tafel 1 Pl. I
Mondglashütte und Transport von ganzen, in Stroh verpackten Mondscheiben, wie es in Frankreich üblich war



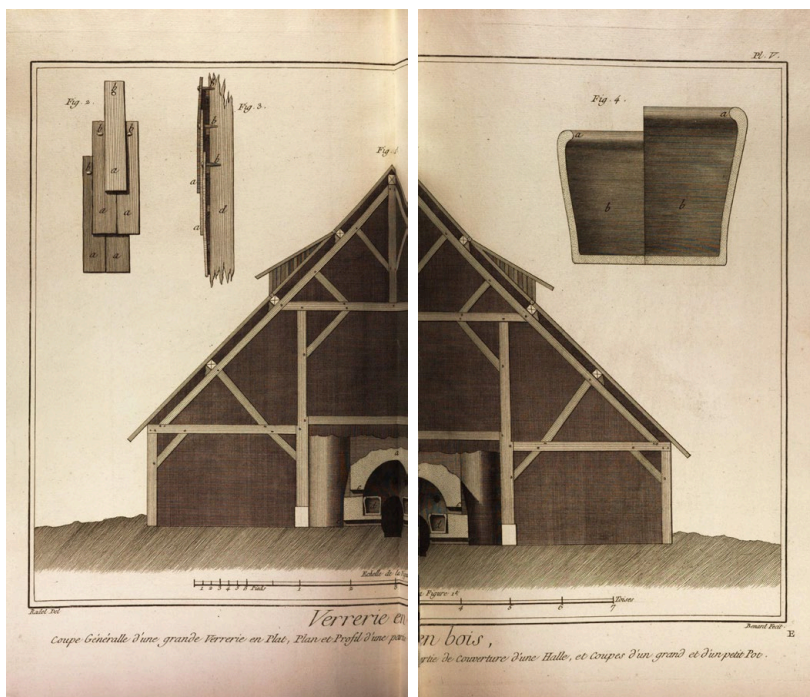
Tafel 2 und 3 Pl. II (Doppelseite)
Mondglasbetrieb in der Hütte



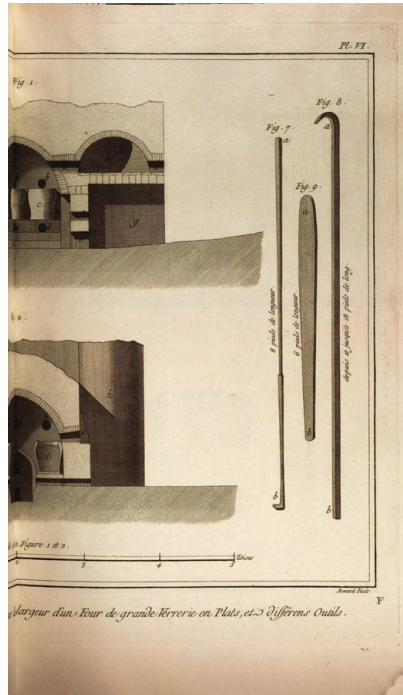
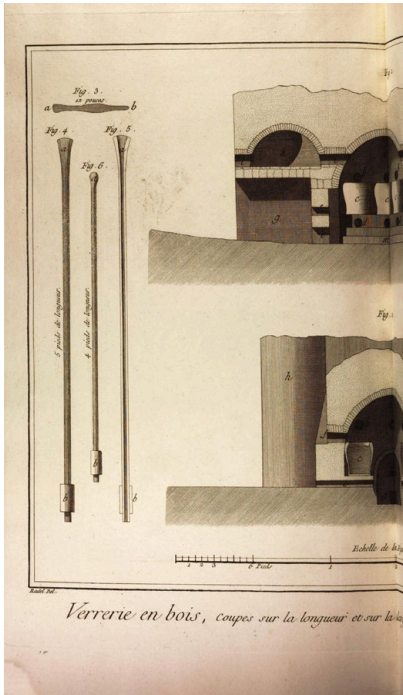
Tafel 4 und 5 Pl. III (Doppelseite)
Grundriss einer Mondglashütte



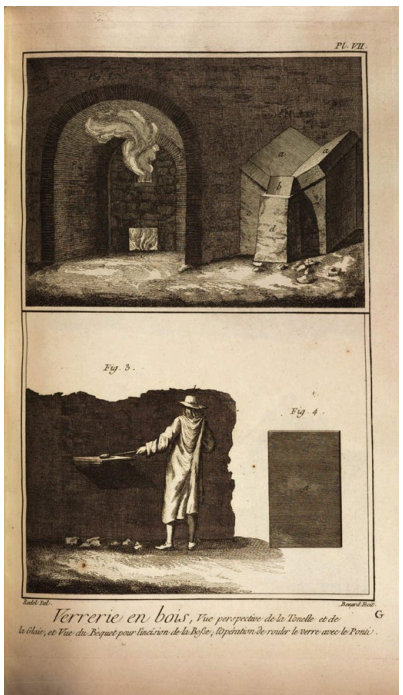
Tafel 6 Pl. IV
Grundriss der Schmelzhäfen



Tafel 7 und 8 Pl. V (Doppelseite)
Schnitt durch die Glashütte



Tafel 9 und 10 Pl. VI (Doppelseite)
Schnitte durch die Ofenanlage,
links daneben Glasmacherpeifen



Tafel 11 Pl. VII
oben: links Ofenöffnung, rechts Marbel-
platte auf Arbeitshöhe
Fig. 3: Verdichten des Kölbels
Fig. 4: Grundriss einer Marbelplatte

Tafel 12 Pl. VIII
Fig. 1: Aufnehmen der heißen Glasmasse
Fig. 2: Abkühlen des Kölbels über der Lösch-
butt. Das zweifache Einschnüren des
Kölbels wird nicht näher erklärt



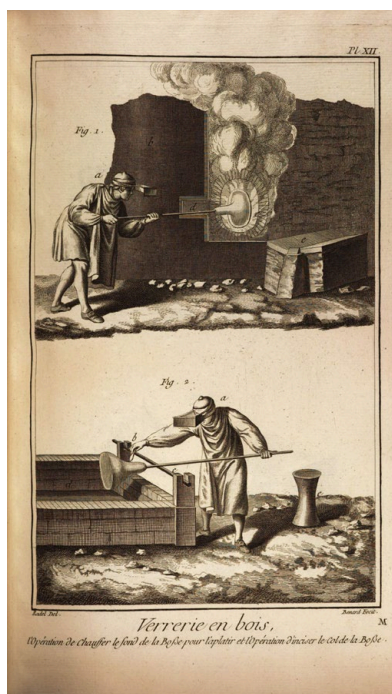
Tafel 13 Pl. IX
 Fig. 1: Der Glasposten nimmt die Form eines abgeschnittenen Kegels an
 Fig. 2: Bildung einer Spitze



Tafel 14 Pl. X
 Fig. 1: Der Glasposten wird durch Rollen in die Länge gestreckt
 Fig. 2: Schränkung am Hals in Vorbereitung für das spätere Abtrennen der Pfeife



Tafel 15 Pl. XI
 Fig. 1: Ausbildung eines Knopfes an der Spitze
 Fig. 2: Weiteres Einblasen



Tafel 16 Pl. XII
 Fig. 1: Abflachen der Kugel; ein Schirm schützt vor der starken Hitze am geöffneten Ofenloch
 Fig. 2: Einkerbung des Halses



Tafel 17 Pl. XIII

Fig. 1: Das Glas hängt noch an der Pfeife, das Heftisen ist aber noch nicht angebracht

Fig. 2: Die Pfeife ist abgeschlagen, an der abgeflachten Seite ist bereits ein Heftisen befestigt



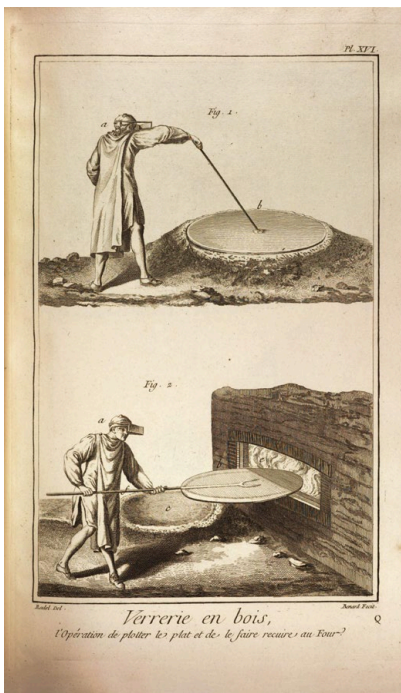
Tafel 18 Pl. XIV

Fig. 1: Durch die Zentrifugalkraft weitet sich das „Maul“ des Glaspostens
Fig. 2: Ein Gehilfe weitet das Maul mit einem nassen Brett



Tafel 19 Pl. XV

Fig. 1: Das Glas flacht weiter ab
Fig. 2: Durch starke Rotation entsteht nun eine flache Scheibe



Tafel 20 Pl. XVI

Fig. 1: Abkühlung der Scheibe in einer Aschenmulde, um danach das Heftisen abschlagen zu können

Fig. 2: Die Scheibe wird auf einer Gabel zum Kühllofen getragen



Tafel 21 Pl. XVII

Fig. 1: Herstellung eines Hafens

Fig. 2: 10 Personen tragen den Hafens zum Ofen



Tafel 22 und 23 Pl. XVIII (Doppelseite)

Fig. 1: Einsetzen der Häfen in den Schmelzofen

Fig. 2: Prüfen der Glasqualität



Tafel 24 Pl. XIX

Schutzkleidung und Schutzwerkzeug der Glasmacher

9 Textauszüge

9.1 Theophilus um 1100

BREPOHL 2013, S. 147-150

„VI. Auf welche Weise Glastafeln hergestellt werden

(1) Frühmorgens aber zur ersten Stunde nimm die eiserne Pfeife, und wenn du Glastafeln herstellen willst, tauche deren Spitze in einen der glasgefüllten Öfen, und sobald etwas (Glas am Pfeifenkopf) anhaftet, drehe selbige Pfeife in deiner Hand, bis an ihr so viel hängt, wie du brauchst.

(2) Dann nimm die (die Pfeife) sofort (aus dem Ofen) heraus, setze sie an den Mund und blase mäßig, und sobald du sie vom Mund absetzt, halte sie an die Kinnbacke, damit du beim Einatmen nicht versehentlich die heiße Luft in deinen Mund ziehst. Vor dem Fenster sollst du einen flachen Stein haben, auf dem du selbiges glühendes Glas leicht aufschlägst, damit es allseitig gleichmäßig hängt.

(3) Und blase sofort weiter, blase schnell und oft und setze jedesmal die Pfeife vom Mund ab.

(4) Wenn du siehst, daß das Glas wie eine lange Blase herabhängt, halte deren Ende an die Flammen, und sogleich wird sie erschmelzen und ein Loch bekommen.

(5) Nimm dann das dafür vorbereitete Holz und mache die Öffnung so weit, wie die Blase in der Mitte ist.

(6) danach klemme den Rand zusammen, beispielsweise den oberen Bereich mit dem unteren, so daß neben der Verbindungsstelle je eine Öffnung erscheint.

(7) Und sogleich trenne mit einem feuchten Holz selbiges Glas neben der Pfeife ab, schüttele ein wenig, und es wird abgesprengt werden.

(8) Wärme sogleich die Pfeife wieder in der Flamme des Ofens an, bis das anhaftende Glas erschmilzt, setze sie sofort auf die beiden verschmolzenen Glasränder, und sie wird daran festschmelzen.

(9) Hebe sie (die Glasblase) sofort hoch und bringe sie in die Flammen des Ofens, bis das Loch, von dem du vorhin die Pfeife abgetrennt hattest, aufschmilzt. Nimm dann wiederum das runde Holz und erweitere damit (die andere Öffnung) wie die vorherige,

(10) drücke dann (gleichfalls) dessen Rand in der Mitte zusammen und trenne mit dem feuchten Holz (das Glas) von der Pfeife ab, gib es dem Jungen, der eine Holzstange durch dessen Öffnung steckt und es zum Kühllofen trägt, der mittlere Hitze haben soll.

Diese Glassorte ist rein und weiß.

Auf gleiche Weise und nach gleicher Anleitung mache weitere Glaskörper, bis du die Häfen ausgeschöpft hast.“

[VII. Vom safrangelben Glas

VIII. Vom purpurfarbenen Glas]

„IX. Vom Strecken der Glastafeln

Wenn du aber aus diesen Farben so viel hergestellt hast, wie du kannst, und wenn das Glas im (Kühl-)Ofen abgekühlt ist, nimm deine gesamte Produktion heraus und entzünde ein starkes Feuer in dem Ofen, in dem (das Glas) gestreckt und geglättet werden soll.

Ist (der Ofen) in Glut, nimm ein heißes Eisenwerkzeug, spalte das Glas an einer Seite auf und lege es auf den Herd des glühenden Ofens. Sobald es weich zu werden beginnt, nimm die Eisenzange und das Glättholz, weite die aufgespaltene Öffnung auf, spreize sie auseinander und glätte (die Glastafel) nach Belieben mit der Zange. Wenn es ganz glatt geworden ist, nimm (die Glastafel) schnell heraus und bringe sie in den mäßig heißen Kühllofen, und zwar so, daß die Tafel nicht liegt, sondern an dessen Wand steht. Neben diese (Glastafel) stelle eine zweite, die auf die gleiche Weise geglättet worden ist und ebenso eine dritte und alle übrigen. Wenn sie abgekühlt sind, benutze sie zur Gestaltung der Fenster, indem du sie nach Belieben in einzelne Scheiben zerschneidest.“

9.2 Georgius Agricola 1556

AGRICOLA 1556, S. 506-507

„Die Glasmacher entnehmen öfters eine Probe mit ihren Pfeifen und, sobald sie daraus ersehen, daß die wiederholt geschmolzenen Glasstücke genügend gereinigt sind, tauchen sie die andere Pfeife in den Topf. Sie wird langsam gedreht und nimmt etwas Glas heraus, das sich wie eine zäher, klebriger Saft anhängt und sich kuglig zusammenballt. Der Arbeiter nimmt aber nur ebensoviele heraus, als für die geplante Arbeit genügt, preßt den Glasballen an die Marmorplatte und dreht ihn hin und her, um ihm mehr Zusammenhalt zu geben. Dann bläst er ihn durch die Pfeife hindurch blasenartig auf. Jedesmal, wenn er durch die Pfeife geblasen hat, und dies muß oft geschehen, nimmt er die Pfeife rasch vom Mund weg und bewegt sie etwas nach der Wange zu, um beim Einatmen nicht die Flamme in den Mund zu ziehen. Er hebt dann die Pfeife hoch und schwenkt sie im Kreis um den Kopf, wodurch die Glasmasse eine längliche Form bekommt. Oder er formt die Glasmasse durch Drehen in einem ausgehöhlten Bronzestück. Durch wiederholtes Erhitzen, Blasen, Anpressen und Aufblasen formt der Arbeiter aus der Glasmasse Trinkgläser, Gefäße oder andere Gegenstände, die er herstellen will. Schließlich preßt er das Glas wieder an das Marmorstück, verbreitert so den Boden und treibt ihn mit der anderen Pfeife nach innen. Er schneidet dann mit einer Zange den Rand von der Pfeife ab und setzt, wenn nötig, Füße und Henkel an. Wenn es erforderlich ist, vergoldet er auch das Glas oder bemalt es mit verschiedenen Farben. Schließlich bringt er es in das längliche Tongefäß, das in den dritten Ofen oder in die oberste Kammer des zweiten Ofens eingesetzt ist, und läßt es da langsam abkühlen. Wenn ein solches Tongefäß mit Glasware angefüllt ist, schiebt der Arbeiter einen breiten Eisenstab darunter, stützt ihn mit dem linken Arm und setzt ihn in einen der Aufnahmeräume des Ofens.

Die Glasmacher fertigen verschiedene Gegenstände an, wie Becher, Krüge, Flaschen, Kolben Schüsseln, Schalen, Fensterscheiben, Figuren von Tieren, Bäumen, Schiffen. Ich habe viele solche ausgezeichnete und bewundernswerte Gegenstände betrachten können, als ich einst zwei Jahre in Venedig lebte. Besonders am Himmelfahrtstag wurden sie zum Verkauf von Murano gebracht, wo die allerbesten Glasfabriken sind. Ich habe das bei verschiedenen Gelegenheiten gesehen, besonders aber damals, als ich zu bestimmten Zwecken mit Andreas Naugerius in seinem dortigen Haus gemeinsam mit Franciscus [sic, Anm. d. Verf.] Asulanus zusammenkam.“

9.3 Johann Krünitz 1779

KRÜNITZ 1779, 21788, S. 619-620, Lemma Glas, dort Stichwort Tafelglas

„5. Das Tafelglas, woraus ins besondere die Fensterscheiben verfertigt werden, bläset der Glasmacher ebenfalls, so sonderbar dieses auch scheint. Er verwandelt eine große Glasblase durch öfteres Schwingen in einen Cylinder, den er eine Düte [ab hier Bd. 18, S. 620, Anm. d. Verf.] nennt, und der neben dem Blaserohr sowohl, als an dem entgegen gesetzten Ende, welches ich den Boden der Düte nennen will, gewölbt ist. Sein Handlanger steckt einen eisernen Haken in das Wasser, und berührt die Düte an demjenigen Orte, wo die Wölbung des Bodens anfängt, bloß in einem einzigen Punkte. Er schlägt gegen die Mitte des Bodens, und dieser rändelt sich an demjenigen Orte ab, wo der Handlanger die Düte in einem Punkte mit dem nassen Eisen berührt hat. Die Düte ist also in dem Boden offen, und der Handlanger fährt in die Oeffnung mit einem erwärmten eisernen Bolzen, welcher ziemlich so dick, als die Düte weich [weit, Anm. d. Verf.] ist, hinein, und ründet die Düte völlig walzenartig. Man bringt die Düte hierauf in den Kühlofen, worin sie so lange liegen bleibt, bis so viele Düten verfertigt sind, daß ein Streckofen [...] angefüllt werden kann. Denn der Streckofen wird nur in diesem einzigen Falle geheizet, wenn man Tafelglas strecken will. Ist ein hinlänglicher Vorrath von Düten vorhanden, so nimmt der Glasmacher eine Düte nach der andern mit der Zange aus dem Kühlofen, steckt jede auf eine erhitzte eiserne Stange, walzet die Düte auf der Stange, und sprengt zugleich die Wölbung an dem Orte ab, wo die Pfeiffe abgebrochen ist, gerade wie bey dem Boden. Hierauf legt er jede Düte auf ein Werkstück [Streckstein, Anm. d. Verf.], womit der Herd des Streckofens gepflastert ist, hält ein nasses Eisen oben gegen den Rand der Düte, und schlägt sanft auf die Düte. Hierdurch erhält sie einen Riß nach der Länge, und breitet sich durch ihre eigene Schwere auf dem Werkstücke zu einer Glastafel aus, welche hernach mit einer dünnen eisernen Stange noch etwas gerade geschlagen wird. Wenn der Streck=Ofen mit Tafelglas angefüllt ist, so muß dieses mit dem Ofen erkalten.“

10 Literaturverzeichnis

AGRICOLA 1556

G. Agricola, De Re Metallica Libri XII. Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Unveränderter Nachdruck der Erstausgabe des VDI-Verlags, Berlin 1928 (Wiesbaden 2007)

ALMELING 2006

G. Almeling, Die fürstliche Glashütte zu Altmünden 1594 - 1818 (Münden 2006)

AMMAN / SACHS 1568

J. Amman / H. Sachs, Eygentliche Beschreibung aller Stände auff Erden, hoher und nidriger, geistlicher und weltlicher, aller Künsten, Handwercken und Händeln... (Frankfurt 1568)

ANONYMER AUTOR 1758

Anonymer Autor, Sammlung derer samtlichen Handwercks-Ordnungen des Herzogthums Würtemberg, Wie solche von Zeit zu Zeit in das Land gnädigst promulgirt und ausgeschrieben worden <<https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10552473?page=236,237&q=waldglas>> [Stand: 22.07.2021]

ANONYMER AUTOR 1913

Anonymer Autor, A Machine for Blowing Window Glass. Scientific American 3, 1913, 52-53. <<http://www.jstor.com/stable/10.2307/26019999>> [Stand: 22.08.2020]

ASHTOR / CEVIDALLI 1983

E. Ashtor / G. Cevidalli, Levantine alkali ashes and European industries. Journal European Economic History 12, 1983, 475–522

AVILER 1725

A.-C. d'Aviler, Ausführliche Anleitung zu der gantzen Civil-Bau-Kunst (Augsburg 1725)

BARKER 1960

T. C. Barker, Pilkington Brothers and the Glass Industry (London 1960)

BARRELET 1953

J. Barrelet, La Verrerie en France. De L'Epoque Gallo-Romaine à nos Jours (Paris 1953)

BAYLEY et al. 2009

J. Bayley / D. Dungworth / S. Paynter, Science for Historic Industries – Glass and Glassworking. In: A. Horning / M. Palmer (Hrsg.), Crossing Paths or Sharing Tracks? Future directions in the archaeological study of post-1550 Britain and Ireland. The Society for Post-Medieval Archaeology Monograph Series 5 (2009) 19–34

BECKMANN 1787

J. Beckmann, Anleitung zur Technologie, oder zur Kentniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen, vornehmlich derer, die mit der Landwirtschaft, Polizey und Cameralwissenschaft in nächster Verbindung stehn: Nebst Beyträgen zur Kunstgeschichte (Göttingen 1787)

BELLENDORF et al. 2021

P. Bellendorf / A. Schmölder / R. Tenschert / S. Bichlmair / R. Kilian / C. Milch / K. Lenz / O. Jorgji, Leitfaden zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern und Gläsern in historischer Baubsubstanz als Beitrag zum Klimaschutz (Bamberg 2021)

BENRATH 1880

H. E. Benrath, Die Glasfabrikation. Handbuch der chemischen Technologie. In Verbindung mit mehreren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von Dr. K. Birnbaum. Bolley-Birnbaum's Technologie (Braunschweig 1880)

BERGMANN et al. 2008

R. Bergmann / K. H. Wedepohl / A. Kronz, Die Glashütte des 12. Jahrhunderts am Dübelsnacken bei Altenbeken, Kreis Paderborn. In: R. Bergmann (Hrsg.), Studien zur Glasproduktion seit dem 12. Jahrhundert im östlichen Westfalen (Münster 2008) 67–111

BEZBORODOV 1975

M. A. Bezborodov, Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser (Mainz 1975)

BIRINGUCCIO 1540

V. Biringuccio, De la Pirotechnia. Ein Lehrbuch der chemisch-metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens aus dem 16. Jahrhundert. Übersetzt und erläutert von Dr. Otto Johannsen (Braunschweig 1540, 1925)

- BLOSS 1977**
O. Bloss, Die älteren Glashütten in Südniedersachsen. Veröffentlichungen des Instituts für historische Landesforschung der Universität Göttingen 9 (Hildesheim 1977)
- BÖCKLER 1648**
G. A. Böckler, Compendium Architecturae Civilis, erster Theyl. Das isst kurtze vnnd gründliche verfassung oder Bericht von der Bawkunst/darinnen nicht allein die nothwendigste Observationes eines Bawplatzes/sondern auch die Steine/Sand/Kalck/Mawren/Fundamenta und Holtzwerck betreffend... (Franckfurt am Mayn 1648)
- BÖCKLER 1678**
G. A. Böckler, Nützliche Hauß- und Feldschule (Nürnberg 1678)
- BOL 2014**
M. Bol, Seeing through the Paint. The Dissemination of Technical Terminology between three Métiers: Pictura Translucida, Enameling and Glass Painting. In: A. Speer (Hrsg.), Zwischen Kunsthandwerk und Kunst. Die „Schedula diversarum artium“. *Miscellanea Mediaevalia* 37 (Berlin 2014) 145–162
- BOWLES 1833**
Bowles (Hrsg.), Die Fabrikation des Glases nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen. Oder Anweisung, alle Sorten grünes, weißes und farbiges Glas nach den neusten englischen und französischen Methoden, sowie das echte englische Flint- und Crown Glas zu verfertigen; Unterricht im Schleifen, Poliren und Vergolden der feinen Glasarten; Anweisung zur Erbauung der englischen Glasöfen (Quedlinburg / Leipzig 1833)
- BREPOHL 2013**
E. Brepohl, Theophilus Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk. Gesamtausgabe der Schrift *De Diversis Artibus* in einem Band. Lateinischer Originaltext und deutsche Übersetzung mit Kommentaren, 73 Rekonstruktionszeichnungen und 30 Abbildungen (Köln, Weimar, Wien 2013)
- BRUNETTO 2020**
A. Brunetto, L'intervento conservativo sulle transe in stucco gessoso e lapis specularis della basilica di Santa Sabina a Roma. *Hortus artium medievalium*, 2020, 60–72
- BUNDESDENKMALAMT ÖSTERREICH 2015**
Bundesdenkmalamt Österreich (Hrsg.), ABC. Standards der Baudenkmalpflege (Wien 2015)
- BUNDESVERBAND DES GLASERHANDWERKS 2001**
Bundesverband des Glaserhandwerks (Hrsg.), Wörterbuch für fachliche Begriffe aus dem Berufsbereich des Glaserhandwerks. Deutsch-Englisch-Französisch-Italienisch (Hadamar 2001)
- BÜRGERSPITALSTIFTUNG**
Bürgerspitalstiftung, Bautagebuch (4). Glasbestand <<https://www.buergerspitalstiftung.de/klosteranlage-michaelsberg/aktuelles/>> [Stand: 15. 05. 2023]
- BÜTTNER 2010**
A. Büttner, Kleine und Große Brüdergasse in Dresden. Archäologie eines bürgerlichen Stadtquartiers vom ausgehenden 12. bis ins späte 18. Jahrhundert. 55 (Dresden 2010)
- CAEN 2009**
J. Caen, The Production of Stained Glass in the County of Flanders and the Dutchy of Brabant from the XVth to the XVIIIth centuries: Materials and Techniques (Turnhout, 2009)
- CALVI 1968**
M. C. Calvi, I vetri Romani del museo di Aquileia (1968)
- ČERNÁ 2016**
E. Černá, Mittelalterliche Glashütten in Nordwestböhmen. Beitrag der Archäologie zur Geschichte des böhmischen Glashüttenwesens (Most, Prag 2016)
- ČERNÁ / TOMKOVÁ 2017**
E. Černá / K. Tomková, On the road from the Early to High Middle Ages. Glass of the 9th–13th centuries in Bohemia. *Archaeologia Polona* 55, 2017
- CHAMBON 1963**
R. Chambon, L'évolution des procédés de fabrication manuelle du verre à vitres du dixième siècle à nos jours. In: F. R. Matson / G. E. Rindone (Hrsg.), *Advances in glass technology. Part 2* (New York 1963) 165–178
- CHARLESTON 1978**
R. J. Charleston, II. A Gold and Enamel Box in the Form of a Glass Furnace. *Journal of Glass Studies* 20, 1978, 34–44

- CHOPINET 2019
M.-H. Chopinet, The History of Glass. In: D. J. Musgraves / J. Hu / L. Calvez (Hrsg.), Springer Handbook of Glass (Cham 2019) 1–47
- COOPER 1835
W. Cooper, The Crown Glass Cutter & Glazier's Manual (Edinburgh 1835) <<https://hdl.handle.net/2027/gri.ark:/13960/t7bs20752>> [28.10.2024]
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DENKMALSCHUTZ 2007
Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz (Hrsg.), Denkmalschutz. Texte zum Denkmalschutz und zur Denkmalpflege. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalpflege 52 (Bonn 2007)
- DFG-PROJEKT 2021-2024
DFG-Projekt, Schwerpunktprogramm Kulturerbe Konstruktion. MatGlas (2021-2024)
- DIDEROT / D'ALEMBERT 1765a
D. Diderot / J. R. d'Alembert (Hrsg.), Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Vénérien – Zzuéné [Verrerie en Bois] 17 (Paris 1765)
- DIDEROT / D'ALEMBERT 1765b
D. Diderot / J. R. d'Alembert (Hrsg.), [Planches] Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Les Glaces Soufflées. Recueil de planches sur les sciences, les arts liberaux et les arts mécaniques: avec leur explication. 298 Tafeln 4 (Paris 1765)
- DIDEROT / D'ALEMBERT 1772
D. Diderot / J. R. d'Alembert (Hrsg.), [Planches] Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques: avec leur explication. 337 Tafeln 10 (Paris 1772)
- DIENEMANN 1926
W. Dienemann, Erläuterungen zur Karte der Rohstoffe und Standorte der Deutschen Glasindustrie (Frankfurt am Main 1926)
- DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. 2016
DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas. Teil 1: Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften (2016)
- DINES 2014
I. Dines, The Theophilus Manuscript Tradition Reconsidered in the Light of New Manuscript Discoveries. In: A. Speer (Hrsg.), Zwischen Kunsthandwerk und Kunst. Die „Schedula diversarum artium“. Miscellanea Mediaevalia 37 (Berlin 2014) 3–10
- DODWELL 1986
C. R. Dodwell, Theophilus. The Various Arts. De Diversis Artibus. Edited and translated by C. R. Dodwell (Oxford 1986)
- DRALLE 1911
R. Dralle (Hrsg.), Die Glasfabrikation (München, Berlin 1911)
- DUDEN 1989
Duden (Hrsg.), Das Herkunftswörterbuch. Etymologie der deutschen Sprache (Mannheim 1989)
- DUNGWORTH 2012
D. Dungworth, Historic Window Glass: The Use of Chemical Analysis to Date Manufacture. Journal of Architectural Conservation 18, 2012, 7–25
- DWDS 2021
DWDS, Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. Der deutsche Wortschatz von 1600 bis heute. <<https://www.dwds.de/wb/dwb2/feiste>> [Stand: 02.03.2021]
- EGGELING 1980
T. Eggeling, Studien zum Friderizianischen Rokoko. Georg Wenceslaus von Knobelsdorff als Entwerfer von Innendekoration (Berlin 1980)
- EIKENBERG 1976
W. Eikenberg, Das Handelshaus der Runtinger zu Regensburg. Ein Spiegel süddeutschen Rechts-, Handels- und Wirtschaftslebens im ausgehenden 14. Jahrhundert. Mit einem Beitrag von Walter Boll (Göttingen 1976)
- FALBE / REGITZ 1997
J. Falbe / M. Regitz (Hrsg.), Römpp. Lexikon Chemie. Cm-G 2 (Stuttgart, New York 1997)
- FALBE / REGITZ 1998a
J. Falbe / M. Regitz (Hrsg.), Römpp. Lexikon Chemie. M-Pk 4 (Stuttgart 1998)

- FALBE / REGITZ 1998b
J. Falbe / M. Regitz (Hrsg.), Römpp. Lexikon Chemie. Pl-S 5 (Stuttgart, New York 1998)
- FESTSCHRIFT 1951
Festschrift, 125 Jahre Glashütte Witten-Crengeldanz (Fürth 1951)
- FLEISCHMANN 2008
G. Fleischmann, Glas aus dem Frankenwald. Kleintettau, Tettau, Steinbach am Wald, Stockheim (Stockheim 2008)
- FOURCAULT 1902
E. Fourcault, Apparatus for the Manufacture of Plate Glass by Stretching. Drawing glass sheets from the free surface of the melt (1902) <<https://patents.google.com/patent/US717378>> [Stand: 24.08.2020]
- FREISTAAT BAYERN 2021
Freistaat Bayern, Gesetz zum Schutz und zur Pflege der Denkmäler. BayDSchG (1.5.2021)
- FREISTAAT SACHSEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN 1996
Freistaat Sachsen Staatsministerium des Innern (Hrsg.), Das Fenster im Profanbau in Sachsen. Baukonstruktive Blätter 1 (Dresden 1996)
- FRENZEL 1973
G. Frenzel, Venedisch Schewen. Jahrbuch der bayerischen Denkmalpflege 28, 1973, 109–112
- FRICTSCH 1690
A. Fritsch, Ahasveri Fritschii Jcti, ... Quadraginta Septem Opuscula Varia, De Selectioribus Quibusdam Materiis, Jus Publicum Atque Privatum Romano-Germanicum Concernentibus, <https://digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10495149?page=262,263&q=sechseck*> [Stand: 28.07.2021]
- FRODL-KRAFT 1965
E. Frodl-Kraft, Das „Flechtwerk“ der frühen Zisterzienserfenster. Versuch einer Ableitung. Wiener Jahrbuch der Kunstgeschichte 20, 1965, 7–26
- FROMMMER / KOTTMANN 2004
S. Frommer / A. Kottmann, Die Glashütte Glaswasen in Schönbuch. Produktionsprozesse, Infrastruktur und Arbeitsalltag eines spätmittelalterlichen Betriebs. Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie 1 (Büchenbach 2004)
- GAI 2001
A. S. Gai, Reliquiengläser aus Altarsepulkren: eine Materialstudie zur Geschichte des Deutschen Glases vom 12. bis zum 19. Jahrhundert. Schriften zur südwestdeutschen Landeskunde 30/1 (Leinfelden-Echterdingen 2001)
- GAI 2017
A. S. Gai, „À la façon de Venise“: Zur Geschichte des Begriffs und zur Verarbeitung von Gläsern in venezianischer Art in Westfalen. In: AIHV (Hrsg.), Annales du 20e congrès de l'association internationale pour l'histoire du verre (Rahden/Westf. 2017) 512–521
- GEBR. MÜLLENSIEFFEN 1925
Gebr. Müllensiefen, Festschrift zur Hundertjahrfeier 1825-1925 (Witten-Crengeldanz 1925)
- GERBER 2003
C. Gerber, Court-Chaluet bei Moutier (Berner Jura, Schweiz): eine Schwarzwälder Glashütte? In: P. Steppuhn (Hrsg.), Glashütten im Gespräch (Lübeck 2003) 63–69
- GERNER 1897
R. Gerner, Die Glas-Fabrikation. Eine übersichtliche Darstellung der gesamten Glasindustrie mit vollständiger Anleitung zur Herstellung aller Sorten von Glas und Glaswaren (Leipzig 1897)
- GERNER / GÄRTNER 1996
M. Gerner / D. Gärtner, Historische Fenster. Entwicklung, Technik, Denkmalpflege (Stuttgart 1996)
- GIESS 1990
H. Gieß, Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern. zwischen 1780 und 1910. Arbeitshefte Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege 39 (München 1990)
- GILLY 1818
D. Gilly, Handbuch der Land-Bau-Kunst: vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirtschaftsgebäude für angehende Cameral-Baumeister und Oekonomen 1 (Braunschweig 1818)
- GLASHÜTTE LAMBERTS
Glashütte Lamberts, <<https://www.lamberts.de>> [Stand: 04.07.2023]

GLAUBER 1654

J. R. Glauber, Gründliche vnd warhafftige Beschreibung / Wie man auß der Weinhefen einen guten Weinstein in grosser Menge extrahiren soll (Amsterdam 1654)

GLOCKER / GERHEUSER 2017

W. Glocker / R. Gerheuser, Flachglas. Glastechnik 3 (München 2017)

GOERK 1969

H. Goerk, Fünfzig Jahre mechanische Tafelglaserzeugung nach dem Fourcault-Verfahren. Zum fünfzigsten Todestag Emile Fourcaults. Glastechnische Berichte 42,10, 1969, 448–451

GREUB 2019

T. Greub, Standort, Judas und Reliquienkreuz: Tilman Riemenschneiders Heilig-Blut-Altar in Rothenburg o. d. T. im Funktionskontext. Jahrbuch des Vereins Alt-Rothenburg e.V. (Rothenburg 2019)

GRODECKI 1977

L. Grodecki, Romanische Glasmalerei (Stuttgart 1977)

GUTTERY 1956

D. R. Guttery, From Broad-Glass to Cut Crystal. A History of the Stourbridge Glass Industry (London 1956)

HARDEN 1959

D. B. Harden, New Light on Roman and Early Medieval Window Glass. Glastechnische Berichte 32-K, 1959, VIII-8

HARSDÖRFFER 1651

G. P. Harsdörffer, Deliciae Physico-Mathematicae, Oder Mathemat. und Philosophische Erquickstunden. 2: Bestehend in Fünffhundert nützlichen und lustigen Kunstfragen, nachsinnigen Aufgaben, und deroselben grundrichtigen Erklärungen, Auß Athanasio Kirchero, Petro Bettino, Marino Mersennio, Renato des Cartes, Orontio Fineo, Marino Gethaldo, Cornelio Drebbelio, Alexandro Tassoni, Sanctorio Sanctorii, Marco Marci, und vielen andern Mathematicis und Physicis zusammen getragen', <https://digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10908648?page=624,625&q=sechseck*> [Stand: 28.07.2021]

HENKES 1994

H. E. Henkes, Glas zonder glans. Vijf eeuwen gebruiksglas uit bodem von de Lage Alnden 1300-1800. Rotterdam Papers 9 (Rotterdam 1994)

HERDER VERLAG 1990

Herder Verlag (Hrsg.), Geologie und Mineralogie. mit rund 3300 Stichwörtern sowie über 500 Abbildungen und Tabellen (Freiburg, Basel, Wien 1990)

HISTORISCHES ARCHIV PORZ SAINT-GOBAIN

Historisches Archiv Porz Saint-Gobain, Erste Deutsche Floatglas GmbH, Köln-Porz / Aachen. Fabrication: Erste Deutsche Floatglas GmbH, Köln-Porz / Aachen; Erste Deutsche Floatglas GmbH & Co. OHG, Köln-Porz / Aachen (EDF.)

HÖNN 1724

G. P. Hönn, Betrugs-Lexicon. Worinnen die meisten Betrügereyen in allen Ständen nebst denen darwider guten Theils dienenden Mitteln entdeckt. Und: Fortgesetztes Betrugs-Lexicon. Faksimileausgabe von 1981 (Coburg 1724)

HORN 1903

G. Horn, Die Geschichte der Glasindustrie und ihrer Arbeiter (Stuttgart 1903)

JACKSON 2005

C. M. Jackson, Making colourless Glass in the Roman Period. Archaeometry 47,4, 2005, 763–780

JACOBSSON 1782

J. K. G. Jacobsson, Johann Karl Gottfried Jacobssons technologisches Wörterbuch oder alphabetische Erklärung aller nützlichen mechanischen Künste, Manufakturen, Fabriken und Handwerker, wie auch aller dabey vorkommenden Arbeiten, Instrumente, Werkzeuge und Kunstwörter, nach ihrer Beschaffenheit und wahren Gebrauche. 2: Von G bis L (Berlin, Stettin 1782)

JACOBY 1993

D. Jacoby, Raw materials for the glass industries of Venice and the Terraferma about 1370 – about 1460. Journal of Glass Studies 35, 1993, 65–90

JASCHKE 1986

B. Jaschke, Glasherstellung. Produkte, Technik, Organisation. In: Deutsches Museum (Hrsg.), Beiträge zur Technikgeschichte für die Aus- und Weiterbildung (München 1986)

JAUERNIG-HOFMANN

B. Jauernig-Hofmann, Fenster, Türen und Beschläge. Details zur Denkmalpflege. Begleitheft zur gleichnamigen Ausstellung im Gerätemuseum Ahorn 21.3.1997 - 21.10.1998

JEBSEN-MARWEDEL 1950

H. Jepsen-Marwedel, Tafelglas. Deutsche Libbey-Owens-Gesellschaft für maschinelle Glasherstellung AG. Eine Werkstoffkunde für alle Verbraucher des Tafelglases, für das Glaserhandwerk und das Baugewerbe mit 417 Fotos und Zeichnungen (Essen 1950)

JEBSEN-MARWEDEL 1960

H. Jepsen-Marwedel, Tafelglas in Stichworten (Essen 1960)

JEBSEN-MARWEDEL / BRÜCKNER 2011

H. Jepsen-Marwedel / R. Brückner (Hrsg.), Glas-technische Fabrikationsfehler. „Pathologische“ Ausnahmestände des Werkstoffes Glas und ihre Behebung. Eine Brücke zwischen Wissenschaft, Technologie und Praxis (Heidelberg 2011)

JOHANNSEN 1932

O. Johannsen, Peder Månssons „Glaskunst“. Ein Beitrag zur Geschichte der Glastechnik. Sprechsaal - Coburg 65,1, 1932, 387–388

JUNKER 1795

F. A. Junker, Handbuch der gemeinnützigsten Kenntnisse für Volksschulen. (Halle 1795)

KARMARSCH 1872

K. Karmarsch, Geschichte der Technologie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts (München 1872)

KAUFMANN 2010

V. Kaufmann, Archäologische Funde einer spätmittelalterlichen Glaserwerkstatt in Bad Windsheim. Handwerk, Handel und Geschichte (Bad Windsheim 2010)

KEPPELER 1911

G. Keppeler, Rohmaterialien. Vorgänge beim Einschmelzen, Läutern und Köhlen. Berechnung von Gemengesätzen usw. In: R. Dralle (Hrsg.), Die Glasfabrikation (München, Berlin 1911) 135–240

KLOS 2008

H. Klos, Vertikalschiebefenster. Schieben statt Drehen (Rottweil 2008)

KLOS 2009

H. Klos, Schwing- und Wendeflügel Fenster. So schwungvoll wie das Wirtschaftswunder (Rottweil 2009)

KLOS 2010

H. Klos, Kastenfenster, Doppelfenster und ihre Varianten. Mehrschaligen Verglasungen gehört die Zukunft (2010)

KLOS 2012

H. Klos, Fenster aus Eisen, Stahl und Aluminium. Sanierungskonzepte für Fensterkonstruktionen aus Metall. Denkmalpflege in Baden-Württemberg 2, (2012) 2107–2114

KLOS 2014

H. Klos, Kunststofffenster. Ein denkmalpflegerisches „Feinbild“ ist Marktführer (Rottweil 2014)

KLOS 2015

H. Klos, Das Fenster. Die historische Entwicklung von Glasfensterverschlüssen in Mitteleuropa (Rottweil 2015)

KNAPP 1958

O. Knapp, Architektur und Bauglas in Vergangenheit und Gegenwart. Halle 1958

KNOLL 1979

H. Knoll, Glasherstellung bei Plinius dem Älteren. Glastechnische Berichte 52, 1979, 265–270

KOBLER 2003

F. Kobler, Flachglas. In: O. Schmitt (Hrsg.), Realexikon zur deutschen Kunstgeschichte 9 (München 2003) 544–601

KOMP 2009

J. Komp, Römisches Fensterglas. Archäologische und archäometrische Untersuchungen zur Glasherstellung im Rheingebiet. Berichte aus der Geschichtswissenschaft (Aachen 2009)

KÖNIG 1934

W. König, Fensterglas. In: W. König / L. v. Reis / R. Simon (Hrsg.), Flachglas. Das Glas in Einzeldarstellungen 8 (Leipzig 1934) 1–42

- KÖNIG et al. 1934
W. König / L. v. Reis / R. Simon (Hrsg.), Flachglas. Das Glas in Einzeldarstellungen 8 (Leipzig 1934)
- KRACEK et al. 1929
F. C. Kracek / N. L. Bowen / G. W. Morey, The System Potassium Metasilicate-Silica. In: Journal of Physical Chemistry 33 (1929) 1857-1879
- KRAUSS 1996
M. Krauß, Was ist im Glas? In: W. Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996) 9–12
- KRAUTER / FRITZ 2017
A. Krauter / U. Fritz, Makellos transparent oder mit romantischen Schlieren? Überlegungen zu Sortenvielfalt und Ästhetik des Fensterglases im frühen 20. Jahrhundert mit Fokus auf dem Spiegel- und Kristallglas. In: AIHV (Hrsg.), Annales du 20e congrès de l'association internationale pour l'histoire du verre (Rahden/Westf. 2017) 713–719
- KRIMM 1982
S. Krimm, Die mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Glashütten im Spessart. Studien zur Geschichte des Spessartglases (Aschaffenburg 1982)
- KRIMM 1984
S. Krimm, Zur Geschichte der Waldglasproduktion im Spessart. In: C. Grimm (Hrsg.), Glück und Glas. Veröffentlichungen zur Bayerischen Geschichte und Kultur 2 (München 1984) 159–179
- KRIMM 1988
S. Krimm, Historisch-topographisches Verzeichnis der Glashüttenstandorte im Spessart. In: G. Kampfmann / S. Krimm (Hrsg.), Verkehrsgeographie und Standorttypologie der Glashütten im Spessart. Studien zur Geschichte des Spessartglases 2 (Aschaffenburg 1988) 111–224
- KRÜNITZ ¹1777, ²1786
J. G. Krünitz (Hrsg.), Oekonomisch-technologische Encyklopädie (1773-1858). Artikel: Fenster 12 (Berlin ¹1777, ²1786)
- KRÜNITZ ¹1779, ²1788
J. G. Krünitz (Hrsg.), Oekonomisch-technologische Encyklopädie. Artikel: Glas 18 (Berlin ¹1779, ²1788)
- KRÜNITZ ¹1801; ²1807
J. G. Krünitz (Hrsg.), Lohrglas 80 (¹1801; ²1807)
- KRÜNITZ ¹1810
J. G. Krünitz (Hrsg.), Pottasche. Oekonomisch-technologische Encyklopädie 116 (¹1810)
- KRÜNITZ ¹1819
J. G. Krünitz (Hrsg.), Oekonomisch-technologische Encyklopädie. Rochette 126 (¹1819)
- KRÜNITZ 1842
J. G. Krünitz (Hrsg.), T-Tanz. Oekonomisch-technologische Encyklopädie 179 (1842)
- KUNCKEL 1679
J. Kunckel, Ars vitraria experimentalis, oder Vollkommene Glasmacher-Kunst. Reprint 1975 (Leipzig 1679)
- KURZMANN 2004
P. Kurzmann, Mittelalterliche Glastechnologie. Archäologie, Schriftquellen, Archäochemie, Experimente (Frankfurt am Main 2004)
- LAFOND 1969
J. Lafond, Was Crown Glass discovered in Normandy in 1330? Journal of Glass Studies 11 (1969) 37–38
- LANG 1991
W. Lang, Zur Produktion farbloser Butzenscheiben während des Spätmittelalters im Nassachtal, Gemeinde Uhingen. In: W. Ziegler (Hrsg.), Hochentstauen/Helfenstein. Historisches Jahrbuch für den Kreis Göppingen (Göppingen 1991) 19–39
- LANG 1994
W. Lang, Vom Anfänger, Würcker, Aufbläser und Strecker. In: W. Lang (Hrsg.), Kolloquium zur Glasherstellung im Spätmittelalter (Göppingen 1994) 66–82
- LANG 2003
W. Lang, Zur Flachglasherstellung in spätmittelalterlichen Hütten im Nassachtal, Uhlingen, Kreis Göppingen. In: P. Steppuhn (Hrsg.), Glashütten im Gespräch (Lübeck 2003) 97–102
- LAUFER 1994
J. Laufer, Deutsche Spiegelglas AG (1871-1975). Die Geschichte eines Unternehmens zwischen Industrialisierung und sozialer Marktwirtschaft (Göttingen 1994)

- LAURIKS et al. 2012
L. Lauriks / M. de Bouw / C. Quentin / I. Wouters, 19th Century Iron and Glass Architecture: Common Construction Details of Cylinder and Crown Glass on Iron Sash Bars. In: AIHV (Hrsg.), Annales du 18e Congrès (Thessaloniki 2012) 469–474
- LE Losq et al. 2019
C. Le Losq / M. R. Cicconi / G. N. Greaves / D. R. Neuville, Silicate glasses: Historical and Industrial Importance. In: D. J. Musgraves / J. Hu / L. Calvez (Hrsg.), Springer Handbook of Glass (Cham 2019) 441–503
- LEE et al. 1987
L. Lee / G. Seddon / F. Stephens (Hrsg.), Die Welt der Glasfenster. Zwölf Jahrhunderte abendländischer Glasmalerei in über 500 Farbbildern (Freiburg, Basel, Wien 1987)
- LENG 1854
H. Leng, Vollständiges Handbuch der Glasfabrication nach allen ihren Haupt- und Nebenzweigen. Neuer Schauplatz der Künste und Handwerke 79 (Weimar 1854)
- LERNER 1981
F. Lerner, Geschichte des Deutschen Glaserhandwerks (Schorndorf 1981)
- LIETZ 1982
S. Lietz, Das Fenster des Barock. Fenster und Fensterzubehör in der fürstlichen Profanarchitektur zwischen 1680 und 1780. Kunsthistorische Studien 54 (München 1982)
- LINDNER 2012
B. Lindner, Walter Benjamin. Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit. Walter Benjamin Werke und Nachlaß. Kritische Gesamtausgabe 16 (Berlin 2012)
- LIPPMANN 1913
E. Lippmann, Zur Geschichte der Pottasche und ihres Namens. In: E. Lippmann (Hrsg.), Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften (1913) 318–357
- LOBMEYR et al. 1874
L. Lobmeyr / A. Ilg / W. Boheim, Die Glasindustrie, ihre Geschichte, gegenwärtige Entwicklung und Statistik (Stuttgart 1874)
- LOIBL 1984
W. Loibl, Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main in der Zeit Kurfürst Lothar Franz von Schönborn (1698-1729). In: C. Grimm (Hrsg.), Glück und Glas. Veröffentlichungen zur Bayerischen Geschichte und Kultur 2 (München 1984) 257–288
- LOIBL 1995a
W. Loibl (Hrsg.), Glas aus Einsiedel. Die Fürstliche Löwenstein-Wertheim-Rosenbergische Karlshütte zu Einsiedel im Spessart (1820-1889) (Lohr am Main 1995)
- LOIBL 1995b
W. Loibl, Mit Mondglas zu Weltruhm. Weibersbrunn als Zweigbetrieb der kurmainzischen Spiegelmanufaktur 1706 - 1803. In: R. Welsch (Hrsg.), Weibersbrunn in Wort und Bild. Geschichte eines Spessartdorfes (Weibersbrunn 1995) 29–66
- LOIBL 1995c
W. Loibl, Vom laufenden Gewinnen zu steigenden Verlusten. Die Karlshütte von 1850 bis 1877. In: W. Loibl (Hrsg.), Glas aus Einsiedel. Die Fürstliche Löwenstein-Wertheim-Rosenbergische Karlshütte zu Einsiedel im Spessart (1820-1889) (Lohr am Main 1995) 43–98
- LOIBL 1995d
W. Loibl, Vom speziellen Mondglas zum lukrativen Hohlglas. Die Glashütte in Einsiedel von 1807 bis 1849. In: W. Loibl (Hrsg.), Glas aus Einsiedel. Die Fürstliche Löwenstein-Wertheim-Rosenbergische Karlshütte zu Einsiedel im Spessart (1820-1889) (Lohr am Main 1995) 9–41
- LOIBL 1996a
W. Loibl, Asche. In: W. Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996) 21–77
- LOIBL 1996b
W. Loibl, Asche zu Glas. Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996)
- LOIBL 1996c
W. Loibl, Pottasche. In: W. Loibl (Hrsg.), Asche zu Glas. Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996) 79–156

- LOIBL 1996d
W. Loibl, Soda. In: W. Loibl (Hrsg.), *Asche zu Glas. Asche, Pottasche und Soda in fränkischen Glashütten vom 17. bis zum 19. Jahrhundert (Lohr am Main 1996)* 157–199
- LOIBL 2002
W. Loibl, Die Spiegel- und Glasmanufaktur in Klarenthal bei Wiesbaden (1706-1723). *Nassauische Annalen* 113, 2002, 189–240
- LOIBL 2003a
W. Loibl, Zur Glastechnologie im Mittelalter. In: P. Steppuhn (Hrsg.), *Glashütten im Gespräch (Lübeck 2003)* 11–15
- LOIBL 2003b
W. Loibl, Zur Terminologie des historischen Flachglases. In: P. Steppuhn (Hrsg.), *Glashütten im Gespräch (Lübeck 2003)* 103–107
- LOIBL 2006a
W. Loibl, Der Bamberger Joseph Ernst Strüpf (1763-1821) und seine drei Glashütten. *Historischer Verein Bamberg* 142, 2006, 115–158
- LOIBL 2006b
W. Loibl, (Fabrik-)Schleichach. Die Geschichte der Glashütte im Steigerwald (1706-1869) (Bamberg 2006)
- LOIBL 2007
W. Loibl, Johann Rudolph Glauber und die „gläsernen“ Folgen. *Journal of Glass Studies* 49, 2007, 81–101
- LOIBL 2010
W. Loibl, Die Glasformung durch Gießen und die französische Technologie im 17. Jahrhundert. *Journal of Glass Studies* 52, 2010, 69–89
- LOIBL 2012a
W. Loibl, Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main (1698-1806). *Studien zur Geschichte des Spessartglases 1* (Neustadt an der Aisch 2012)
- LOIBL 2012b
W. Loibl, Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main (1698-1806). Der Regiebetrieb der kurmainzischen Spiegelmanufaktur Lohr am Main. *Studien zur Geschichte des Spessartglases 2* (Neustadt an der Aisch 2012)
- LOIBL 2012c
W. Loibl, Die kurmainzische Spiegelmanufaktur Lohr am Main (1698-1806). Und die Nachfolgebetriebe im Spessart. *Studien zur Geschichte des Spessartglases 3* (Neustadt an der Aisch 2012)
- LOIBL 2013
W. Loibl, Glashütten im südlichen Odenwald in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Schönau – Neuburg – Ziegelhausen – Peterstal. *Beiträge zur Erforschung des Odenwaldes und seiner Randlandschaften*, 2013, 301–440
- LÖCHER/GRIES 1997
K. Löcher / C. Gries, Die Gemälde des 16. Jahrhunderts. *Germanisches Nationalmuseum Nürnberg (Ostfildern-Ruit 1997)*
- LYMANT 1979
B. Lyman, Die mittelalterlichen Glasmalereien der ehemaligen Zisterzienserkirche Altenberg (Bergisch Gladbach 1979)
- MALCONET 1700
J. Malconet, *Jacobi Malconeti Mathematici selbstlehrende Geometrie, oder neue und kurtze institutiones mechanicae, stereometriae et geodasiae*, <https://digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11111107?q=sechseck*&page=400,401> [Stand: 28.07.2021]
- MATHESIUS 1562
J. Mathesius, *Sarepta oder Bergpostill Sampt der Jochimßthalischen kurtzen Chroniken* (Nürnberg 1562) <[urn:nbn:de:bvb:12-bsb-10144078-3](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:12-bsb-10144078-3)> [Stand: 18.10.2024]
- MAUS 1999
H. Maus, *Schwarzwald Waldglas. Glashütten, Rohmaterial und Produkte der Glasmacherei vom 12. - 19. Jahrhundert. Mit einem Beitrag von Bertram Jenisch. Alemannisches Jahrbuch 1997/98, 1999, 325–524*
- MCGRATH / FROST 1961
R. McGrath / A. C. Frost, *Glass in Architecture and Decoration* (London 1961)
- MERCK / BEYTHIEN 1922
K. Merck / A. Beythien (Hrsg.), *Merck's Warenlexikon. für Handel, Industrie und Gewerbe* (Leipzig 1922)

- MERRETT 1668**
C. Merrett, Antoni Neri Florentini, de Arte Vitraria, Libri Septem. Observationes & Notae. Übersetzung ins Lateinische mit Kommentaren von Merretti <<http://mdz-nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:12-bsb10305314-1>> [Stand 15.10.2024]
- MERTEN 1954**
H. Merten, Butzenscheibe. In: O. Schmitt (Hrsg.), Reallexikon zur deutschen Kunstgeschichte 3 (Stuttgart 1954) 292–298
- MERTENS 1889**
W. Mertens, Die Fabrikation und Raffinierung des Glases (1889)
- METZGER 2019**
C. Metzger, Albrecht Dürer. Albertina (München, London, New York 2019)
- MEYERS KONVERSATIONSLEXIKON 1885-1892**
Meyers Konversationslexikon (Hrsg.), Meyers Konversationslexikon (Leipzig / Wien 1885-1892)
- MEYERS KONVERSATIONSLEXIKON 1909**
Meyers Konversationslexikon (Hrsg.), Meyer's Großes Konversations-Lexikon. (Leipzig, 1909)
- MÖLLER 2001**
H. Möller, Saint-Gobain in Deutschland: von 1853 bis zur Gegenwart. Geschichte eines europäischen Unternehmens (München 2001)
- MÜLLER 2006**
K. Müller, Farbloses Glas im Wandel der Zeit. Materialanalytische Untersuchungen an farblosen Gläsern des 13. bis 17. Jahrhunderts mit Hilfe der Laser Induced Breakdown Spectroscopy und der Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse (Berlin 2006)
- NERI 1612**
A. Neri, L'Arte vetraria distinta in libri sette del r. p. Antonio Neri fiorentino: ne quali si scoprono, effetti marauigliosi, & insegnano segreti bellissimi, del vetro nel fuoco & altre cose curiose. <<https://shorturl.at/edFWl>> [Stand 15.10.2024]
- NOKY 1996**
T. Noky, Die Entwicklung des Fensters in Sachsen. In: Freistaat Sachsen Staatsministerium des Innern (Hrsg.), Das Fenster im Profanbau in Sachsen. Baukonstruktive Blätter 1 (Dresden 1996) 39–44
- NOKY 1999**
T. Noky, Das historische Fenster in Sachsen. In: PaX Classic GmbH (Hrsg.), PaXclassic-Fachtagung Fenster im Baudenkmal zur denkmal '96; Tagungsbeiträge vom 1. und 2. November 1996 (Berlin 1999) 21–32
- NOKY 2004**
T. Noky, Das Fenster als Teil der Ausstattung - Beispiele aus Sachsen. In: G. U. Großmann / D. J. de Vries / K. Freckmann / U. Klein (Hrsg.), Historische Ausstattung. Jahrbuch für Hausforschung 50 (Marburg 2004) 215–229
- NÖLLE 1997**
G. Nölle, Technik der Glasherstellung (Stuttgart 1997)
- PATURI 1986**
F. R. Paturi, Die Geschichte vom Glas (Aarau, Schweiz 1986)
- PENTHER 1744**
J. F. Penther, Erster Theil einer ausführlichen Anleitung zur Bürgerlichen Bau-Kunst: enthaltend ein Lexicon Architectonicum oder Erklärungen der üblichsten Deutschen/Französischen/Italienischen Kunst-Wörter der Bürgerlichen Bau-Kunst/ nicht minder derer schweren Lateinischen Vitruvianischen zu gemeldter Bau-Kunst gehörigen Wörter (Augsburg 1744)
- PENTHER 1765**
J. F. Penther, Bau-Anschlag oder richtige Anweisung. In zweyen Beyspielen/als bey einem gemeinen hölzernen und bey einem ansehnlichen steinernen Hause. Wie alle Bau-Materialien, deren Kosten, ingleichen alle übrige Bau-Kosten ausfindig zu machen, wodurch man eines jeden anderen Baues Anschlag zu verfertigen geschickt werden kan, nebst verschiedenen Bau-Anmerckungen (Augsburg 1765)
- PETRICIOLI 1973**
S. Petricioli, The Gnalić Wreck. Journal of Glass Studies 15, 1973, 85–92
- PETZET 1990**
M. Petzet (Hrsg.), Stadt Bamberg. Innere Inselstadt. Die Kunstdenkmäler von Bayern VII (1990)

PITTSBURGH PLATE COMPANY 1928

US Patent 1811125A: Howard L. Halbach. Drawing glass sheets by means of bars below the surface of the melt. <https://patents.google.com/patent/US1811125A/en> [Stand: 08.10.2024]

PLETT 1935

W. Plett, Glas III. Gußglas und Spiegelglas. Der Unterrichtsfilm. Beihefte der Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (Stuttgart und Berlin 1935)

PORATH 1995

A. Porath, Niedersachsen: Glaserwerkstatt der Renaissance. *Archäologie in Deutschland* 2, 1995, 49–50

RAUWOLF 1583

L. Rauwolf, Aigentliche beschreibung der Raiß, so er vor diser zeit gegen Auffgang inn die Morgenländer, fürnemlich Syriam, Iudaeam, Arabiam, Mesopotamiam, Babyloniam, Assyriam, Armeniam etc. (Lauingen 1583)

RICHTER 1967

F. Richter, Glas im Bau. Ein technischer Leitfaden (1967)

RIEPEN 1929

H. Riepen, Die deutsche Tafelglasindustrie. Ihre Bedeutung für die nationale Wirtschaft unter Berücksichtigung der Konkurrenzindustrien Belgiens und der Tschechoslowakei (Braunschweig 1929)

RING 2003

E. Ring (Hrsg.), Glaskultur in Niedersachsen. Tafelgeschirr und Haushaltsglas vom Mittelalter zur frühen Neuzeit (2003)

RÖBER 2015

R. Röber, „Wer trübe Fenster hat, dem erscheint alles grau“. Fensterverglassung im Mittelalter. In: R. Röber (Hrsg.), *GlasKlar. Archäologie eines kostbaren Werkstoffes in Südwestdeutschland* (Friedberg 2015) 206–209

ROSE-VILLEQUEY 1970

G. Rose-Villequey, *Verre et verriers de Lorraine au début des temps modernes* (Nancy 1970)

ROTHKEGEL 2022

M. Rothkegel, UV- und IR-Schutzverglasung in Theorie und Praxis. *Glas- und Lichtschutz in der Denkmalpflege* (Esslingen und online 25.2.2022)

RUDHART 1835

I. v. Rudhart, *Die Industrie in dem Unterdonaukreise des Königreichs Bayern* (Passau 1835)

SCHAEFFER 1999

H. A. Schaeffer, *Allgemeine Technologie des Glases. Grundlagen des Schmelzens und der Formgebung* (Erlangen 1999)

SCHAEFFER et al. 2012

H. A. Schaeffer / W. Glocker / R. Conradt (Hrsg.), *Werkstoff Glas. Glass: The Material. Glastechnik 1* (München 2012)

SCHAEFFER / LANGFELD 2014

H. A. Schaeffer / R. Langfeld, *Werkstoff Glas. Alter Werkstoff mit großer Zukunft. Technik im Fokus. Daten Fakten Hintergründe* (Frankfurt am Main 2014)

SCHALM et al. 2003

O. Schalm / H. Wouters / K. Janssens, *Composition of thirteenth to seventeenth-century glass from non-figurative windows in secular buildings excavated in Belgium. AIHV Annales du 16e Congrès, 2003, 352–355*

SCHMÖLDER et al. 2019a

A. Schmölder / R. Tenschert / R. Drewello / P. Bellendorf, *Historische Fertigungsmethoden und Produktionsprozesse. StMUV-Projekt: Innovative Lösungen für die energetische Ertüchtigung historischer Gläser und Glasfenster – Praxisversuche in der Alten Schöfflerei, Kloster Benediktbeuern* (Bamberg 2019)

SCHMÖLDER et al. 2019b

A. Schmölder / R. Tenschert / P. Bellendorf / R. Drewello, *Rohstoff- und Energiequellen von Bestandsglas. StMUV Projekt: Innovative Lösungen für die energetische Ertüchtigung historischer Gläser und Glasfenster – Praxisversuche in der Alten Schöfflerei, Kloster Benediktbeuern* (Bamberg 2019)

SCHMÖLDER 2024

A. Schmölder, Crown glass - an innovative technique coming from France to Franconia. In: Vitrocentre (Hrsg.), *Flachglas in der Architektur von der vorindustriellen Zeit bis heute. Produktion, Verwendung und Konservierung (Romont 2024)*

SCHOTT AG

Schott, <<https://www.schott.com/de-de/products/restoration-glass-P1000331/product-variants>> [Stand: 06.05.2024]

SCHRADER 2001

M. Schrader, *Fenster, Glas und Beschläge als historisches Baumaterial. Ein Materialleitfaden und Ratgeber (Suderburg-Hösseringen 2001)*

SCHULZ 1928

H. Schulz, *Die Geschichte der Glaserzeugung (Leipzig 1928)*

SCHWENTER 1667

D. Schwenter, M. Daniel Schwenters *Geometriae Practicae Novae Et Auctae Libri IV* <https://digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11111647?page=282,283&q=sechseck*> [Stand: 28.07.2021]

SEIZ 1994

R. Seiz, *Glaser Fachbuch. Fachkunde, Fachzeichnen, Fachrechnen (Schorndorf 1994)*

SEYFERT 1981

I. Seyfert, *Der Abbau von Erz- und Quarzvorkommen im Bereich des Nationalparks Bayerischer Wald*. In: G. Troll (Hrsg.), *Mineralvorkommen im östlichen Bayerischen Wald. Bildung, Inhalt und Bergbaugeschichte Sonderband 31 (Heidelberg 1981) 33–47*

SIEBE 2019

S. Siebe, *Projektanteil der Universität Bamberg*. In: H.-G. Stephan (Hrsg.), *Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Funde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Glashütten im Weserbergland (Osnabrück 2019) 158-193*

SIEGELIN 2004

B. Siegelin, *Glas und Verglasung – ein Beispiel aus Nördlingen*. In: G. U. Großmann / D. J. de Vries / K. Freckmann / U. Klein (Hrsg.), *Historische Ausstattung. Jahrbuch für Hausforschung 50 (Marburg 2004) 191–197*

SIEGELIN / TRUMPF 2004

B. Siegelin / R. Trumpf, *Reparatur eines Renaissancefensterbestandes*. In: PaX Classic GmbH (Hrsg.), *PaXclassic-Fachtagung Fenster im Bau- und Denkmal zur Denkmal 2002 (Berlin 2004) 63–67*

SPEER 2014

A. Speer (Hrsg.), *Zwischen Kunsthandwerk und Kunst. Die „Schedula diversarum artium“*. *Miscellanea Mediaevalia 37 (Berlin 2014)*

SPERLING 1993

B. Sperling, *Zur Geschichte der Glashütten im Zwieseler Winkel von den Anfängen bis zur Industrialisierung. Hausarbeit (Hamburg 1993)*

SPOERER et al. 1988

M. Spoerer / A. Busl / H. W. Krewinkel, *500 Jahre Flachglas 1487-1987. Von der Waldhütte zum Konzern (Schorndorf 1988)*

SPOERER 1993

M. Spoerer, *Der Konzentrationsprozeß in der deutschen Tafelglasindustrie 1925 bis 1932. Eine Fallstudie über den Einfluß des technischen Fortschritts auf Marktstruktur und Marktergebnis. Zeitschrift für Unternehmensgeschichte / Journal of Business History 38,2, 1993, 73–113*

SPRINGER 1963

L. Springer, *Lehrbuch der Glastechnik (Düsseldorf 1963)*

STACHERL 2010

R. Stacherl, *Das Glaserhandwerk. Leitfaden für Ausbildung und Weiterbildung. Reihe Technik (Renningen 2010)*

STEIN 1862

W. Stein, *Die Glasfabrikation (Braunschweig 1862)*

STEPHAN 2010

H.-G. Stephan (Hrsg.), *Der Solling im Mittelalter. Archäologie – Landschaft – Geschichte im Weser- und Leinebergland, Siedlungs- und Kulturlandschaftsentwicklung. Die Grafen von Dassel und Nienover (Dormagen 2010)*

STEPHAN 2019

H.-G. Stephan (Hrsg.), Die modellhafte Bergung, Konservierung und Restaurierung umweltgeschädigter archäologischer Funde am Beispiel mittelalterlicher Gläser und Glashütten im Weserbergland (Osnabrück 2019)

STEPHAN 2020

H.-G. Stephan, Neue Erkenntnisse zur mehrstufigen mittelalterlichen Glasproduktion: „Ein-Ofen-Anlagen“ im Weserbergland. In: K. Tomková / N. Venclová (Hrsg.), *Krajinou archeologie, krajinou skla. Through the Landscape of Archaeology, Landscape of Glass* (Prag 2020) 125–140

STEPPUHN 2016

P. Steppuhn, Flachglasproduktion und Flachglas-handel vom Hochmittelalter bis zur Frühen Neuzeit in Deutschland und den Niederlanden. In: S. Bretz (Hrsg.), *Deutsche und niederländische Hinterglasmalerei vom Mittelalter bis zur Renaissance* (Berlin, München 2016) 90–99

STROBL 1990

S. Strobl, *Glastechnik des Mittelalters* (Stuttgart 1990)

SUCKOW 1798

L. J. D. Suckow, *Erste Gründe der bürgerlichen Baukunst* (Jena 1798)

TABOR 1802

C. W. Tabor, *Versuch einer ausführlichen Anleitung zur Glasmacherkunst für Glashüttenbesitzer und Cameralisten. Mit Rücksicht auf die neuern Grundsätze der Chemie. Nach dem Französischen des Bürger Loysel und nach eingenen Erfahrungen* (Frankfurt am Main 1802)

TABOR 1818

C. W. Tabor, *Versuch einer ausführlichen Anleitung zur Glasmacherkunst für Glashüttenbesitzer und Cameralisten. Zweyter oder praktischer Theil* (Frankfurt am Main 1818)

TARCSAY 2008

K. Tarcsay, Erster archäologischer Nachweis der Tellerghasherstellung des 17. Jahrhunderts in Ostösterreich. In: H. Flachenecker / G. Himmelbach / P. Steppuhn (Hrsg.), *Glashüttenlandschaft Europa. Beiträge zum 3. Internationalen Glassymposium* (Regensburg 2008) 172–176

TENSCHERT / BELLENDORF 2023

R. Tenschert / P. Bellendorf, Schlieren, Streifen, Schatten. NDT-Verfahren zur Charakterisierung historischer Fensterscheiben. *Metalla Sonderheft* 12, 2023, 103–105

THIENE 1931

H. Thiene, *Glas*. 1 (Jena 1931)

THIENE 1939

H. Thiene, *Glas*. 2 (Jena 1939)

TOMCZYK 1995

L. Tomczyk, Abnehmer des Karlshüttenglases. In: W. Loibl (Hrsg.), *Glas aus Einsiedel. Die Fürstliche Löwenstein-Wertheim-Rosenbergische Karlshütte zu Einsiedel im Spessart (1820-1889)* (Lohr am Main 1995) 185–196

TREUE 1965

W. Treue (Hrsg.), *Das Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg. Deutsche Handwerkerbilder des 15. und 16. Jahrhunderts. Bildband* (München 1965)

TURNER 1963

W. Turner, *The Tercentenary of Neri-Merrett's The Art of Glass*. In: F. R. Matson / G. E. Rindone (Hrsg.), *Advances in glass technology. Part 2* (New York 1963) 181–201

VERBAND DER GLASERINNUNGEN 1911

Verband der Glaserinnungen (Hrsg.), *Leitfaden für das Glasergewerbe 1911* (1911)

VDL 2018

Vereinigung der Landesdenkmalpfleger, *Holzfenster im Baudenkmal. Hinweise zum denkmalgerechten Umgang. Arbeitshefte der VDL* (Wiesbaden 2018)

VOGEL 1992

W. Vogel, *Glaschemie* (Berlin 1992)

VÖLCKERS 1939

O. Völckers, *Glas und Fenster. Ihr Wesen, ihre Geschichte und ihre Bedeutung für die Gegenwart* (Berlin 1939)

VÖLCKERS 1944

O. Völckers, *Glas als Baustoff. Beitrag zur Stoffkunde des Baumeisters* (Leipzig 1944)

- VÖLCKERS 1954
O. Völckers, *Tafelglas*-Daten. Zahlen und Schaubilder über Fensterglas (Frankfurt am Main 1954)
- VOLKOV 2021
V. Volkov, Innovation and technology in the 19th-century Belgian window glass industry <<https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-197/innovation-technology-19th-century-belgian-window-glass-industry-volkov>> [Stand: 23.09.2024]
- VOPELIUS 1895
E. Vopelius, Entwicklungsgeschichte der Glasindustrie Bayerns. Nach seinem heutigen Umfang bis 1806 (Stuttgart 1895)
- WAGNER 1985
H. Wagner, Die Aufschreibungen des Franz Poschinger (1637-1701) vom Glashüttengut Fraue-
nau. Glashistorische Forschungshefte 2 (1985)
- WEDEPOHL 1998
K. H. Wedepohl, Mittelalterliches Glas in Mitteleuropa: Zusammensetzung, Herstellung, Rohstoffe (Göttingen 1998)
- WEDEPOHL 2003a
K. H. Wedepohl, Die Glasrezepte sowie der antike und mittelalterliche Handel mit Glas und Glasrohstoffen. In: P. Steppuhn (Hrsg.), Glashütten im Gespräch (Lübeck 2003) 92–96
- WEDEPOHL 2003b
K. H. Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs (Stuttgart 2003)
- WEDEPOHL / SIMON 2010
K. H. Wedepohl / K. Simon, The chemical composition of medieval wood ash glass from Central Europe. *Chemie der Erde* 70, 2010, 89–97
- WEISE 1981
E. Weise (Hrsg.), Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Umweltschutz und Arbeitssicherheit 6 (Weinheim / Deerfield Beach, Florida / Basel 1981)
- WENDLER 1901
A. Wendler, Das Glasblaseverfahren von P. Th. Sievert. *Dinglers Polytechnisches Journal* 316 (1901) 261-266; 279-283
- WENDLER 1911
A. Wendler, 10. Kapitel: Maschinen zur Verarbeitung von Glas. In: R. Dralle (Hrsg.), *Die Glasfabrikation* (München, Berlin 1911) 803–1045
- WENDLER 1929
A. Wendler, Maschinelle Glasverarbeitung. Das Glas in Einzeldarstellungen 9 (Leipzig 1929)
- WHITEHOUSE 2001
D. Whitehouse, Window glass between the first and the eighth centuries. In: F. Dell'Acqua / R. Silva (Hrsg.), *Il colore nel Medioevo* (2001) 31–43
- WIESENBERG 2016
F. Wiesenberg, Durchblick schaffen – zur römischen Flachglasherstellung. In: B. Birkenhagen / F. Wiesenberg (Hrsg.), *Experimentelle Archäologie. Studien zur römischen Glastechnik. Schriften des Archäologieparks Römische Villa Borg* 7, 1 (Merzig 2016) 47–71
- WIKIPEDIA 2021a
Wikipedia, Fritte (Werkstoff) <[https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fritte_\(Werkstoff\)&oldid=209767472](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fritte_(Werkstoff)&oldid=209767472)> [Stand: 28.04.2021]
- WIKIPEDIA 2021b
Wikipedia, Solvay-Verfahren <<https://de.wikipedia.org/wiki/Solvay-Verfahren>> [Stand: 06.06.2022]
- WIKIPEDIA 2022a
Wikipedia, Hermania. Sodaherstellung <<https://de.wikipedia.org/wiki/Hermania>> [Stand: 09.03.2023]
- WIKIPEDIA 2022b
Wikipedia, Weinstein <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Weinstein&oldid=205843897>> [Stand: 09.03.2023]
- WIKIPEDIA 2023
Wikipedia, Irving Wightman Colburn <https://en.wikipedia.org/wiki/Irving_Wightman_Colburn>. [Stand: 03.06.2023]
- ZEDLER 1731-1754
J. H. Zedler (Hrsg.), *Grosses vollständiges Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste* (1731-1754)

11 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 DIENEMANN 1926
- Abb. 2 FALBE / REGITZ 1997, 1539
- Abb. 3 DIENEMANN 1926, 37
- Abb. 4 DIENEMANN 1926, 38
- Abb. 5 Schema A. Schmölder 2023, basierend auf Zeichnungen von Noky und Strobl
- Abb. 6 Zeichnung N. Ahlgrimm 2023
- Abb. 7 Schema A. Schmölder 2023, basierend auf Zeichnungen von Noky und Strobl
- Abb. 8 TABOR 1818, Anhang V SLUB Dresden/Digitale Sammlungen/IV 1386 4.(2) (Vorlage Universitätsbibliothek Freiberg)
- Abb. 9 GERNER 1897, 229
- Abb. 10 GERNER 1897, 227
- Abb. 11 STEIN 1862, 155
- Abb. 12 GERNER 1897, 231
- Abb. 13 GERNER 1897, 230
- Abb. 14 STEIN 1862, 157
- Abb. 15 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 16 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 17 Foto P. Bellendorf 2019
- Abb. 18 STEIN 1862, 130
- Abb. 19 Foto P. Bellendorf 2019
- Abb. 20 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 21a Bayerische Staatsbibliothek München, 2 Bibl.Mont. 7-3, 4. DIDEROT / D'ALEMBERT 1765, Les glases soufflées XXXVIII, urn: nbn:de:bvb:12-bsb10710695-8
- Abb. 21b HENKES 1994, 349
- Abb. 22 VÖLCKERS 1939, 22
- Abb. 23 LERNER 1981, 75
- Abb. 24 PETRICIOLI 1973, 91
- Abb. 25 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 26 Bestand T. Noky, Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 27 Schematische Darstellung von T. Noky
- Abb. 28 Bestand T. Noky, Foto A. Schmölder 2020
- Abb. 29 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Lucas_Cranach_d.%C3%84._-_Die_Bezahlung_%281532%2C_Nationalmuseum_Stockholm%29.jpg [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 30 Foto A. Schmölder 2022
- Abb. 31 Foto A. Schmölder 2021
- Abb. 32 VÖLCKERS 1939, 24
- Abb. 33 Foto S. Eißing 2019
- Abb. 34 Foto T. Wenderoth 2020
- Abb. 35 Schematische Darstellung von T. Noky
- Abb. 36 AGRICOLA 2007, 507
- Abb. 37 SEIZ 1994, 20
- Abb. 38 TABOR 1818, Anhang VI SLUB Dresden/Digitale Sammlungen/IV 1386 4.(2) (Vorlage Universitätsbibliothek Freiberg)
- Abb. 39 TABOR 1818, Anhang V SLUB Dresden/Digitale Sammlungen/IV 1386 4.(2) (Vorlage Universitätsbibliothek Freiberg)
- Abb. 40 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 41 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_tg_0008589_St%C3%A4ndebuch_%5E_Beruf_%5E_Handwerk_%5E_Glas.jpg [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 42 VÖLCKERS 1944, 14
- Abb. 43 COOPER 1835, nach S. 48
- Abb. 44 Foto Lara Müller 2023, Bürgerspitalstiftung Bamberg
- Abb. 45 ANONYMER AUTOR 1913, 52
- Abb. 46 THIENE 1939, 798
- Abb. 47 VÖLCKERS 1939, 38
- Abb. 48 VÖLCKERS 1939, 39
- Abb. 49 VÖLCKERS 1939, 39
- Abb. 50 JEBSEN-MARWEDEL 1950, 37
- Abb. 51 SPOERER et al. 1988, 119
- Abb. 52 KÖNIG et al. 1934, 27
- Abb. 53 PITTSBURGH PLATE GLASS COMPANY 1928, <https://patents.google.com/patent/GB769692A/en> [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 54 VÖLCKERS 1939, 88
- Abb. 55 BOL 2014, 147
- Abb. 56 GM 1604 Germanisches Nationalmuseum, publiziert in Löscher / Gries 1997, 477
- Abb. 57 Metzger 2019, 167
- Abb. 58 CAEN 2009, 243
- Abb. 59a Foto A. Schmölder 2021, Rautenstrauch-Joest-Museum Köln, Inventar Nr. M522
- Abb. 59b Foto A. Schmölder 2021, Rautenstrauch-Joest-Museum Köln, Inventar Nr. M522
- Abb. 60 <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10144850> [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 61 https://online-service.nuernberg.de/viewer/image/5d64f831-7a9d-47b4-9a01-d6a28f29ad99/204/LOG_0204/ [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 62 Foto A. Schmölder 2021
- Abb. 63 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Annunciation_Triptych_%28Merode_Altarpiece%29-MET_DT7253.jpg [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 64 Zeichnung T. Noky 1992
- Abb. 65 PENTHER 1765, 13
- Abb. 66 Foto A. Schmölder 2021
- Abb. 67 <https://shorturl.at/jTjcl> [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 68 RING 2003, 184 f.

- Abb. 69 Foto T. Noky
- Abb. 70a StN750, Germanisches Nationalmuseum,
Foto : Anna T. Drake
- Abb. 70b StN750, Germanisches Nationalmuseum,
Foto : Anna T. Drake
- Abb. 71 https://online-service.nuernberg.de/viewer/image/225a2718-c1c1-43fd-9f4a-4911bfe95219/81/LOG_0081/ [Stand: 08.10.2024]
- Abb. 72 Staatsarchiv Nürnberg, Reichsstadt Nürnberg, Waldamt Lorenzi Akten I, Nr. 462/6 (Plan 1r)
- Abb. 73 Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 74a Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 74b Foto A. Schmölder 2019
- Abb. 75 HARSDÖRFFER 1677, 59
- Abb. 76 SCHRADER 2001, 295
- Abb. 77 TABOR 1818, 503 SLUB Dresden/Digitale Sammlungen/IV 1386 4.(2) (Vorlage Universitätsbibliothek Freiberg)
- Abb. 78 TABOR 1818, 504 SL UB Dresden/Digitale Sammlungen/IV 1386 4.(2) (Vorlage Universitätsbibliothek Freiberg)
- Abb. 79 VÖLCKERS 1954, Anhang
- Abb. 80 Foto A. Schmölder 2022
- Abb. 81 Foto A. Schmölder 2021

Bildtafeln im Anhang:

Bayerische Staatsbibliothek München, 2 Bibl.Mont.
7-3, 10. DIDEROT / D'ALEMBERT 1765, Verrerie en bois
I-XIX, urn: nbn:de:bvb:12-bsb10710701-9



University
of Bamberg
Press

Im Gegensatz zu Fensterrahmen, die in der Denkmalpflege längst als essentielle Bestandteile eines Baudenkmals anerkannt sind und entsprechend gewürdigt werden, findet farbloses Fensterglas in Profanbauten bislang wenig Beachtung und erfährt dementsprechend kaum Wertschätzung. Damit fehlt der praktischen Denkmalpflege eine wichtige Grundlage für die Bewertung historischer Gebäude.

Die Arbeit gibt einen umfangreichen Einblick in die Entwicklung und Geschichte von ungefärbtem Fensterglas und in die verschiedenen Herstellungstechniken, der so bislang einzigartig ist. Hinzu kommen eine denkmalpflegerische Würdigung und unterschiedliche Schemata, um Fensterglas zeitlich einordnen und einem Herstellungsverfahren zuordnen zu können. Das Thema ist sowohl für das Fachgebiet der Kunstgeschichte als auch für die Denkmal- und Restaurierungswissenschaften von Interesse. Die Spannbreite reicht vom Mittelalter bis zum 20. Jahrhundert und umfasst Butzenscheiben und Tellerscheiben sowie Mondglas, Zylinderglas und auch Ziehglas. Nebenbei werden weitverbreitete Missverständnisse aufgeklärt und etliche Begrifflichkeiten geschärft.



ISBN 978-3-98989-041-1



9 783989 890411

www.uni-bamberg.de/ubp/