

Glas und Elektrizität. Zur Glastechnologie in der Konstruktion der Weimarer Elektrisiermaschine von 1773

Heiko Weber⁺, Olaf Breidbach⁺, Klaus Heide⁺ und Horst Grimm⁺⁺

⁺ SFB „Ereignis Weimar-Jena. Kultur um 1800“ - Humboldtstr. 34 - 07543 Jena

⁺⁺ Glastechnische Werkstatt Horst Grimm - Ritterstraße - 98559 Gehlberg

I. Glas und Elektrisiermaschine

Glas war einer der zentralen Werkstoffe in der Elektrizitätsforschung vor 1800. Nicht nur die ersten Batterieformen – die Leidener Flaschen – sondern auch die Elektrizitätserzeugenden Maschinen, die Elektrisiermaschinen, bestanden in zentralen Teilen der Konstruktion, den zur Erzeugung von Reibeelektrizität notwendigen leicht rauhen, zu bewegenden Fläche und den für die Isolation verwandten Teile, aus Glas. Insbesondere die Rauigkeit der Oberfläche und die Dielektrizitätskonstante des Glases waren für eine adäquate Funktion der Geräte in der Elektrizitätsforschung entscheidend. So berichten schon zeitgenössische Abhandlungen über die unterschiedliche Kapazität von Leidener Flaschen aus unterschiedlichen Glasschmelzen [1].

Besonderes Interesse gewann nun die eingehende Beschreibung des Glases, das für die Konstruktion der Schmidtschen Elektrisiermaschine, die 1773 in Weimar gebaut wurde, verwendet wurde. Das Schmidtsche Gerät war die erste nachweisbar in Deutschland gebaute Scheibenelektrisiermaschine [2]. Dabei gab es auch für die Glasregion im Bereich des Herzogtums Sachsen-Weimar-Eisenach [3]; [4]; [5]; [6]; [7] besondere Erfahrungen im Umgang mit den zu diesem Gerät benötigten Glasarten. Es galt nun zu erfahren, ob für die Konstruktion der hier verwandten Glaskörper besondere technische Verfahren notwendig waren. Die Aussagen der Literatur hierzu sind sporadisch: deutlich wird nur, dass die Glasschmelzen sehr schnell verarbeitet werden mussten; Schmidt beschreibt, dass nach Beendigung der Schmelze die Glasbläser unabhängig von der Tageszeit sehr rasch an den Öfen gerufen wurden.¹

Im Rahmen der Versuche zur Rekonstruktion der Schmidtschen Maschine suchten wir entsprechend die damaligen Glasschmelzen möglichst genau nach den zeitgenössischen Angaben zusammenzusetzen, um in einer Analyse des Glasschmelz- und Formprozesses die Verfahrensweisen und Ansätze der seinerzeitigen Produktionstechniken erfassen und bewerten zu können. Dieser experimentelle Ansatz wurde gewählt, da Angaben zu glastechnischen Verfahren in der Zeit um 1800 weitgehend unbekannt sind. Aus den wenigen in der Zeit um 1800 zu findenden Angaben zu Glaszusammensetzung und Glasherstellung in dieser Zeit wurde eine hypothetische Annahme zu Zusammensetzung und Schmelzverlauf für die Herstellung eines „Standardglases um 1800, halbweiß“² entwickelt. Mit Hilfe dieses experimentellen Ansatzes konnte somit die alte Schmelze rekonstruiert und in einer weiterführenden vergleichenden Analyse mit einem Originalglas aus der Zeit um 1800 die Qualität der Glasreplikation überprüft werden.

II. Die Elektrisiermaschine von Georg Christoph Schmidt

Im Jahre 1773 publizierte der Jenenser Hofmechanikus Georg Christoph Schmidt (1740 – 1811) bei der Crökerischen Buchhandlung zu Jena eine Monographie mit dem Titel *Beschreibung einer Elektrisir-Maschine und deren Gebrauch*. Schmidt, der sich 37 Jahre lang in den Vorlesungsverzeichnissen der Universität findet, war von Beruf Mechaniker, Feldmesser und Architekt. An der Universität Jena wirkte er vor allem als Konstrukteur und Erfinder von physikalischen Geräten und

¹ Um 1800 war die Beherrschung der Schmelzabläufe nach einem gewissen Zeitrhythmus Stand der Technologie. Welche Ursachen die schnelle Verarbeitung der Schmelze hatte, soll gesondert geklärt und ggf. untersucht werden.

² „Standardglas um 1800, halbweiß“ nennen wir die aus alten Berichten [21]; [27] zur Rohstoffzusammensetzung der Glasschmelzen im Herzogtum Sachsen-Weimar-Eisenach rekonstruierten Gläser.

Gebrauchsgegenständen und war weiterhin als Illustrator und Porträtist tätig. Seine Aufgaben im Rahmen der Lehrveranstaltungen an der Universität werden wie folgt beschrieben: „der hzgl. Weimar = Eisenachischer Hofmechaniker, unterrichtet Mechanik, Geometrie und Architektur, sodaß, wer es wünscht, sich im Gebrauche aller dieser Fächer üben kann. Auch unterweist er die, welche seine elektrischen Experimente und die dazu nötigen Vorbereitungen sehen wollen und sich die Fähigkeit anzueignen wünschen, selbst solche Experimente zu machen.“³ Nähere Angaben zur Vita Schmidts liefert der Beitrag von Birgitt Hellmann [8] im Ausstellungskatalog zur *Doppelstadt Jena-Weimar im Spiegel regionaler Künstler*. Schmidt beschreibt in seiner Abhandlung eine Scheibenelektroskopmaschine. Neben den Scheibenelektroskopmaschinen waren als grundlegende Modelle noch die Kugel-, Zylinder- und Bandlektroskopmaschinen bekannt.

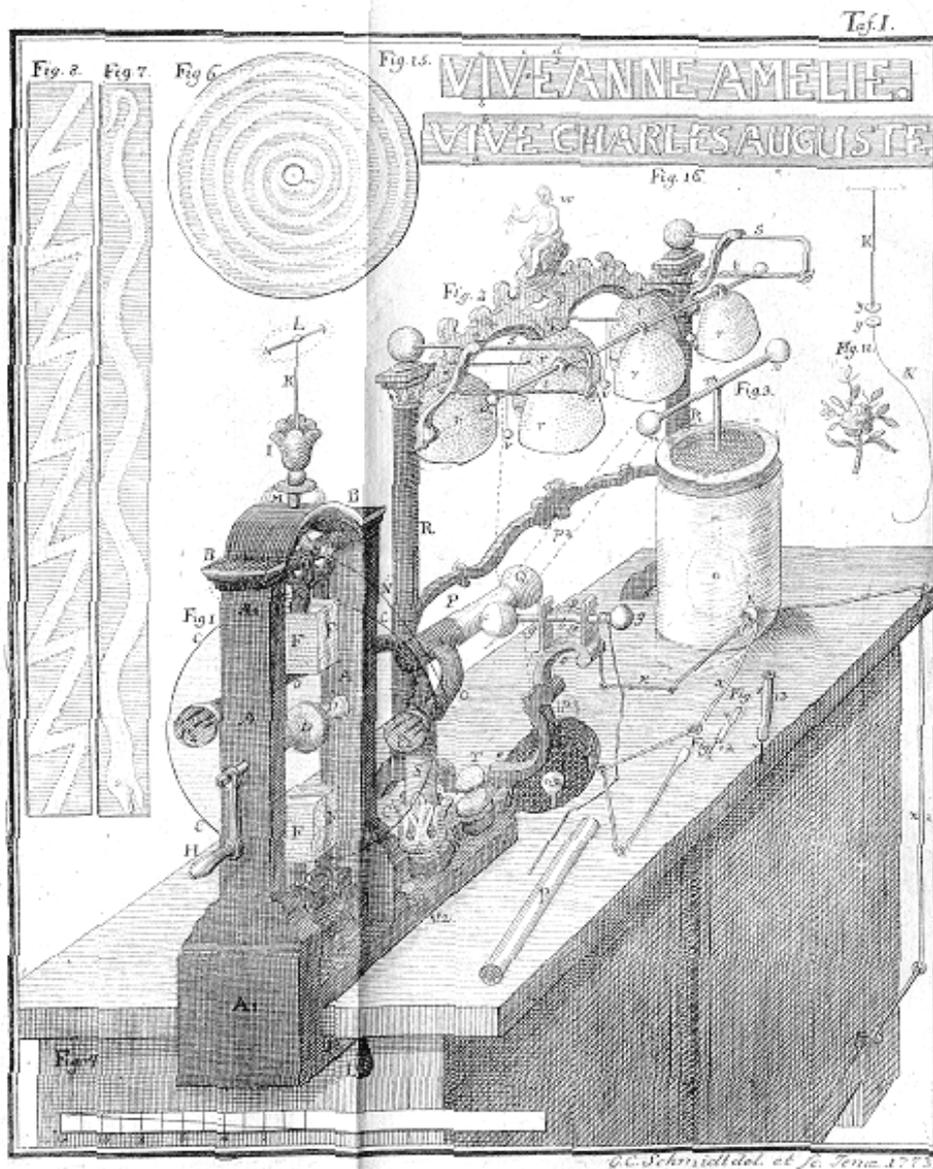


Abb.1 Überblicksdarstellung der Elektriermaschine von Schmidt (1773)

³ Städtisches Museum Jena und Stadtmuseum Weimar (Hrsg.): „Wie zwey Enden einer Stadt...“. Die Doppelstadt Jena-Weimar, im Spiegel regionaler Künstler 1770-1830. Jena 1999, S. 15.

Der Durchmesser der Scheibe wird mit einem Fuß angegeben. Da die Angabe der Maße wahrscheinlich in Weimarer Fuß erfolgte und ein Weimarer Schuh, auch als Fuß bezeichnet, damals 282 mm betrug, hatte die Scheibe einen Durchmesser von rund 30 cm. Hinsichtlich des Scheibendurchmessers ist das Gerät als durchschnittliches einzustufen: Zwei vom Konstruktionstyp vergleichbare Elektrisiermaschinen im physikalischen Kabinett des Stadtmuseums „Neisse“ in Görlitz weisen Scheibendurchmesser von 40 bzw. 80 cm Durchmesser auf. Die große Elektrisiermaschine von Martinus van Marum im Teylerschen Museum in Harlem hat sogar einen Scheibendurchmesser von 65 englischen Zoll = 164 cm. Diese Aussage relativiert sich jedoch, wenn berücksichtigt wird, dass es sich bei dem Schmidtschen Typ um eine transportable Maschine handelt. Vergleicht man hiermit die entsprechenden Typen, z.B. die französischen transportablen Typen, von Rousseau mit einem Scheibendurchmesser von 40,6 cm, von Ducrete & Cie. mit 49 cm, die englischen Typen von Banks mit 30 cm und von Dolland ebenfalls mit 30 cm [9], so sieht man, dass das Schmidtsche Gerät durchaus dem internationalen Vergleich standhält. Wenn man andererseits die aus unseren glas-technischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse über die Produktion von Flachgläsern einfließen lässt, so wird deutlich, dass 30 bis 40 cm große Scheiben technisch ohne große Schwierigkeiten herstellbar waren. Die Probleme bei der Produktion von größeren Scheiben illustriert der Umstand, dass zum Beispiel Adolph Traugott von Gersdorf (1744-1807) in Görlitz auf den Ersatz der zerbrochenen 80cm-Scheibe über zwei Jahre warten musste [10].

Die Scheibe selbst stellte sich als das zentrale Maßobjekt für die Rekonstruktion der Maschine heraus. Das liegt daran, dass Schmidt und nach unseren Erkenntnissen nicht nur er, äußerst sparsam mit der Bemessung seiner Maschine umging. Aus der Reihe dieser Maßminimalisten hebt sich nur der englische Konstrukteur John Cuthberthson hervor. So blieb uns, und das betrifft auch diejenigen, welche um 1800 das Gerät bauen wollten, nur die Möglichkeit, anhand der Zeichnung und der wenigen vorhandenen Maße eine Verhältnismaßbestimmung der anderen Teile der Maschine zu erreichen. Wenn wir davon ausgehen, dass die Berechnung der Zoll- und Linienmaße im Duodezimalsystem erfolgte, dann teilt sich der Weimarer Schuh zu 282 mm in 12 Zoll zu je 23,5 mm bzw. zu 144 Linien zu je 1,96 mm. Ebenso ließ sich nun 1 Quadratfuß zu 795,24 cm²; 1 Quadratzoll zu 5,52 cm² und 1 Quadratlinie zu 3,84 mm² ermitteln. Rechnet man die so gewonnenen Maße auf die Abbildungsmaße um, ergibt sich vor allem aus dem Verhältnis der Scheibe von 282 mm zu 44 mm in der Abbildung ein Maßstab von 1 : 6,4. Natürlich waren wir uns bewusst, dass die Umrechnung von wenigen bekannten Maßen auf alle Maße in der Zeichnung äußerst problematisch ist. Setzt das Verfahren doch voraus, dass die angefertigte Zeichnung auch entsprechend eines Maßstabes angefertigt wurde und keine perspektivischen Verzerrungen enthält. Eine Klärung dieses Problems war möglich, da in der naturwissenschaftlichen Sammlung der Stiftung Weimarer Klassik Originalteile der Schmidtschen Elektrisiermaschine vorhanden sind. Ein Vergleich dieser Teile mit unseren Berechnungen ergab, dass die Fehlertoleranz zwischen 1-3% lag, ein für die damalige Methodik der Anfertigung von Konstruktionszeichnungen überraschend gutes Ergebnis. Zu erreichen war diese Genauigkeit nur dadurch, dass Schmidt die Konstruktion der Maschine und die Anfertigung der Abbildungen selbst vornahm. So schreibt auch J. E. B. Wiedeburg im Vorwort zu Schmidts Werk: „Die Natur hat ihm alle nöthigen Fähigkeiten zu einem glücklichen Mechaniker im gehörigen Grade zugetheilt. Ja nicht nur Fähigkeit sondern auch Trieb. Er war in seiner Kindheit einem ganz anderen Metier gewidmet; nemlich der Zeichen- und Kupfer-Steckerkunst. Naturtrieb war es bey ihm, daß er die Gelegenheit so eifrig suchte und mit so vielen übrigen Unbequemlichkeiten benutzte, theoretische und praktische Mathematik zu studiren. Dieser Trieb verdoppelte seinen Fleiß in diesem Studiren, und seine Schritte im Fortgange. Gute Lenkung seines Schicksals wars, daß er zu den nun hülfreichen Künsten seiner Hand, und zur Bearbeitung seiner Vorstellungskraft, durch die Beschäftigung mit der Mahlerey und Kupferstecher-Kunst war angehalten worden. Er hat das übrige im Drechseln, in der Tischer-Arbeit, in der Bearbeitung der Metalle glücklich nachgeholt, und Proben guter Erfindung und schöner Kunst geliefert“ [11]. Die Kritik von Wiedeburg: „Der Kupfer

halben muß ich anführen, daß diese von Herrn S. auf mein Antreiben in einer größten Eilfertigkeit entworfen und gestochen sind. Deutlich genug sind sie, mehr mühsame Schönheit würde gut gewesen seyn...“, lässt sich auf Grund unserer Erfahrung hinsichtlich der Maßtreue nicht bestätigen.

III. Die Glasteile der Elektrisiermaschine

Insgesamt gehören zu der Schmid'schen Elektrisiermaschine 19 Glasteile, die sich in 3 funktionale Gruppen gliedern. Zum ersten sind es die Teile, die für den Betrieb der Maschine unbedingt notwendig sind. Hierzu zählen die Glasscheibe und zum anderen der Isolator⁴, auf dem sich der Konduktor⁵ der Maschine befindet. Die Glasscheibe (Abb.1: Fig.1) hat einen Durchmesser von 283 mm und eine Dicke von 5 mm. In der Mitte ist für die Durchführung der Antriebswelle eine Bohrung von 20 mm angebracht.

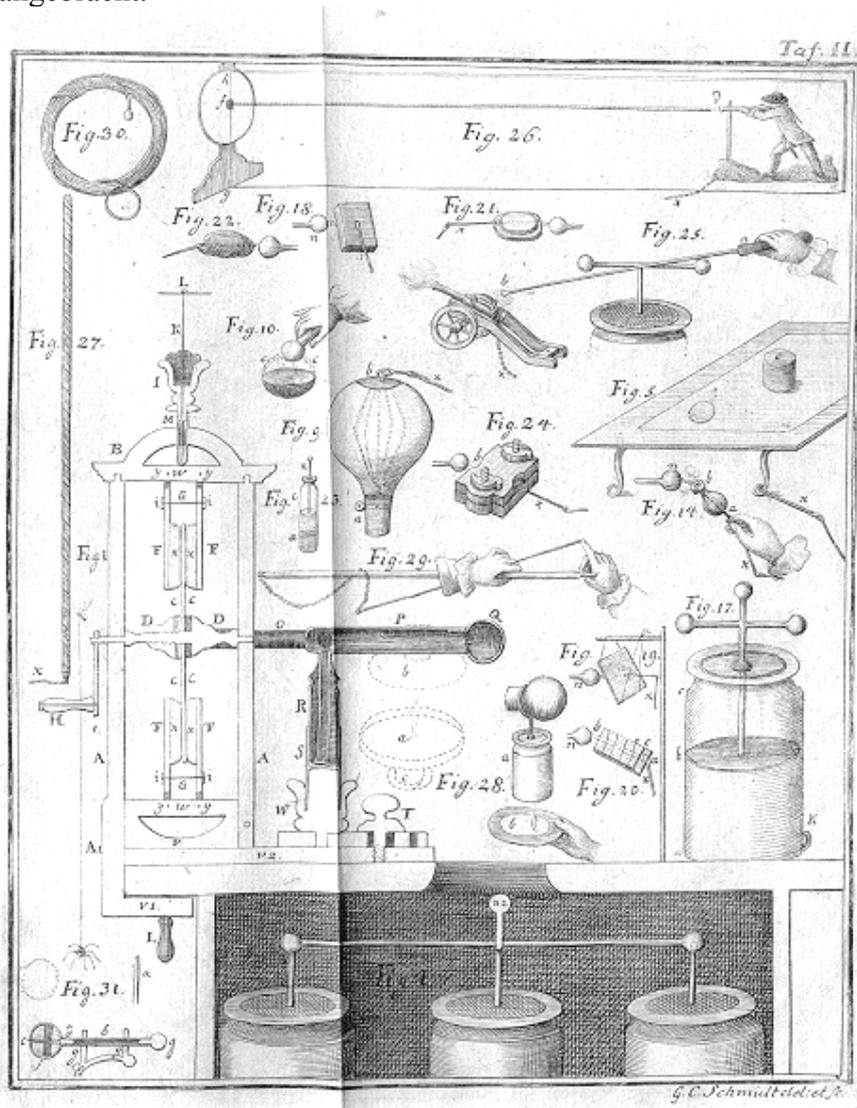


Abb.2 Detailabbildung aus Schmidts Buch über die Elektrisiermaschine von 1773

⁴ Der Isolator der Elektrisiermaschine hatte die Funktion, den Konduktor so zu isolieren, dass eine spontane Selbstentladung des Kondensators verhindert wurde.

⁵ Unter dem Begriff des Konduktors wurden in der Zeit um 1800 die Leiter im elektrischen System gefasst. Im Falle einer Elektrisiermaschine ist als Konduktor das Teil der Maschine zu verstehen, welches zur Speicherung der durch Reibung entstandenen Elektrizität diente. Aus heutiger physikalischer Sicht handelt es sich hierbei um Kugelkondensatoren.

Das Isolatorteil (Abb.2: Fig. R) weist eine Gesamthöhe von 105 mm und einen Gesamtdurchmesser von 40 mm auf. In der Mitte ist eine Bohrung von 20 mm Durchmesser und 85 mm Höhe eingebracht, in welche der Messingstab der den Konduktor trägt eingesteckt ist. Eine weitere Gruppe bilden die Teile, die für die Speicherung der Elektrizität notwendig sind. Hierzu gehören Leidener Flaschen in drei verschiedenen Größen. Die größte Leidener Flasche (Abb.1: Fig. 3 und Abb.2: Fig.17) hat einen Durchmesser von 177 mm und eine Höhe von 260 mm.



Abb. 3 Detailabbildungen der Replikation der Elektrisiermaschine von Schmidt (Seitenansicht, Reibkörper und Reibekissen, geschnitzte Zeusfigur)

Sie hat eine Wandstärke von ca. 3 mm. Mehrere dieser großen Flaschen werden zu einer Leidener Batterie verbunden. Eine kleinere Leidener Flasche (Abb.2: Fig. 28), die als Elektrizitätsspeicher zum Galvanisieren von Pflanzen dient, hat einen Durchmesser von 100 mm und eine Höhe von 150 mm. Die kleinste Flasche (Abb.2: Fig. 23) hat die Form eines Reagenzröhrchens und ist 20 mm im Durchmesser und 100 mm hoch. Zuletzt bilden alle Teile, die zur Durchführung von galvanischen Experimenten und für die Wahrnehmung der Elektrizität notwendig sind, eine funktionale Einheit. Im Besonderen sind dies:

- 1 elektrisches Glockenspiel (Abb.1: Fig.2), das eine akustische Wahrnehmung der Elektrizität ermöglicht. Es setzt sich aus sechs Glocken zusammen, die eine Höhe von 200 mm

und einen Durchmesser von 15 mm haben. Jeweils 3 dieser Glocken werden durch eine Halterung an einem Messingstab frei schwingend befestigt. Die beiden Glockenpaare werden parallel zueinander angebracht, und ein an einem Faden hängendes Messingkügelchen schlägt an jeweils zwei sich gegenüberstehende Glocken.

- 5 vergoldete Glasplatten mit verschiedenen Figuren zur Ableitung von elektrischen Funken. Die erste Glasplatte (Abb.1: Fig.6) hat eine runde Form mit einem Durchmesser von 257 mm und einer Dicke von 3 mm. Auf ihr ist eine Spirale aus Gold aufgetragen, welche aus einem Band von 10 mm Breite besteht. Der unvergoldete Abstand zwischen dem Band beträgt ebenfalls 10 mm. Die zweite Platte (Abb.1: Fig.8) hat eine rechteckige Form mit Kantenlängen von 65 mm zu 770 mm. Auf ihr ist ein Goldband im Zick-Zack-Muster aufgebracht. Dieses hat eine Breite von 10 mm und führt jeweils bis zu den Außenkanten der Glasplatte. Eine in der Bemaßung identische Glasplatte (Abb.1: Fig.7) trägt eine Vergoldung in Schlangenform. Zwei Glasplatten in der Abmessung von 50 mm zu 550 mm tragen als Blattvergoldung einmal den Schriftzug „VIVE ANNE AMELIE.“ (Abb.1: Fig.15), die andere den Schriftzug „VIVE CHARLES AUGUSTE.“ (Abb 1: Fig.16)
- 2 Golddraht-Elektrometer. Das erste (Abb.2: Fig.9) hat eine Form, die heutigen elektrischen Glühlampen ähnelt. Es hat eine Gesamthöhe von 180 mm und an der am weitesten ausgewölbten Stelle einen Durchmesser von 122 mm. Auf der einen Seite ist eine Öffnung von 40 mm angebracht, die durch eine Messingkappe abgedeckt wird. Am anderen Ende läuft es, sich verjüngend in einer Länge von 50 mm auf 30 mm Durchmesser aus. Das andere Elektrometer (Abb.2: Fig.21) hat eine kugelige Form mit 40 mm Durchmesser. Auf der einen Seite ist eine Bohrung mit 3 mm Durchmesser angebracht. Auf der anderen Seite befindet sich ein rohrförmiger Ansatz mit 20 mm Länge, 9 mm Gesamtdurchmesser und 6 mm Innendurchmesser.
- 3 mit Gold belegte Glasplatten (Plattenkondensatoren). Zwei von ihnen haben eine runde Form. Die eine mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Dicke von 3 mm. In der Mitte ist eine kreisrunde Vergoldung aufgelegt, die einen Durchmesser von 90 mm besitzt. Somit bleibt ein Randbereich von 30 mm unvergoldet. Die andere hat 118 mm im Durchmesser und ist ebenfalls 3 mm dick. Deren Vergoldung weist 72 mm Durchmesser auf, und somit bleiben 23 mm im Randbereich unvergoldet. Die dritte Platte hat eine quadratische Form mit Kantenabmessungen von 283 mm. In der Mitte ist ein Quadrat von 140 mm Abmessung vergoldet.
- 2 nichtbelegte Glasplatten zur Präparation von Objekten für galvanische Experimente. Beide haben eine rechteckige Form mit 30 mm Breite und 3 mm Dicke. Eins ist 50 mm lang, das andere 65 mm.
- 1 Glasblüte (Abb.1: Fig. I), in der Pflanzenteile elektrisiert werden können. Die Blüte ist eine Glasbläserarbeit und erinnert in ihrer Form an eine Tulpenblüte. Ihre Höhe beträgt 75 mm und hat 60 mm im Durchmesser. Am „Blütengrund“ befindet sich eine Glaskugel mit 25 mm Durchmesser, danach folgt eine runde Glasscheibe mit 50 mm Durchmesser und 3 mm Dicke. Danach läuft die Blüte in ein ca. 150 mm langes, gebogenes und innen hohles Glasrohr von 10 mm Außendurchmesser aus.

IV. Die Glaszusammensetzung des Replikatglases

Für die Zusammensetzung des Replikatglases für ein sogenanntes „Standardglas um 1800, halbweiß“ wurden von folgende Voraussetzungen bezüglich der Herkunftzuordnung des Glases ausgegangen:

- es handelt sich um eine Glas des Thüringer Raumes. Nur bei der Beschaffung von Gläsern aus nahen Produktionsorten waren die Kosten der Herstellung tragbar sowie die Beschaffung von

weiteren, abgeänderten Gläsern und eine Einflussnahme auf die Gestaltung der Glasprodukte möglich.

- berücksichtigt man diese Annahme, so kommen als Produktionsstandorte für die Leidener Flaschen der Raum Stützerbach/Gehlberg oder Lauscha in Betracht. Das Flachglas für die Scheiben der Elektrisiermaschine könnte im Raum Lauscha oder Schleusingen gefertigt worden sein [3]; [12]; [13]; [14]; [15].
- es handelt sich bei den verwendeten Gläsern um ein sogenanntes „gewöhnliches“ Glas oder Massenglas. Schmidt selbst bezeichnet das verwendete Glas als „Konservenglas“ und Hochgesang als „Apothekerglas“.

Problematisch für die Bestimmung der Zusammensetzung eines Glases um 1800 ist der Umstand, dass entsprechende Befundanalysen für „gewöhnliche“ Gläser lediglich bis zur frühen Neuzeit [16]; [17] und dann erst wieder ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der Literatur vorliegen. Das von uns gesuchte „Standardglas um 1800, halbweiß“ ist nur in einer französischen Literaturstelle [18, S. 944] und in einer Analyse eines Glases aus dem Raum Hannover, das sich in die Zeit zwischen 1700-1800 datieren lässt, zu finden [19, S. 151]. Aufschluss über die Zusammensetzung des Glases der Schmidtschen Elektrisiermaschine hätte eine Analyse mit einer Mikrosonde an den in der naturwissenschaftlichen Sammlung der Stiftung Weimarer Klassik aufbewahrten Originalglasteilen liefern können. Aus konservatorischen Gründen konnte jedoch eine derartige Analyse nicht durchgeführt werden.

Infolgedessen konnte nur versucht werden, über die Rekonstruktion der angenommenen glastechnischen Entwicklung der Thüringer Glasindustrie um 1800 Auskünfte über die Zusammensetzung und die Verarbeitungsmethoden eines Glases in dieser Zeit zu erhalten. Die Glashütten des Thüringer Waldes arbeiteten um 1800 mit einem ihnen gut bekannten, nach dem damaligen Stand der Technik ausgereiften Verfahren [6]; [20], [21], [22].

Die für die Massengläser benötigten Rohstoffe mussten preiswert und günstig zu beschaffen sein. Um 1800 waren die Möglichkeiten zur Herstellung besserer weißer oder Kristallgläser zwar bekannt und in Anwendung, aber für Massengläser nicht notwendig und aus Kostengründen nicht realisierbar.

Andererseits dürften sich die Entwicklungen der Folgezeit bereits angedeutet haben (z.B. Entfärbung, Natrongläser), so dass z. T. andere Rohstoffe schon als Zusätze beigemischt wurden. Allerdings dürfte die planmäßige Entwicklung der Gerätegläser nach 1840 zum betrachteten Zeitpunkt noch nicht angefangen haben.

Aus der Literatur, aus der Sicht auf die angenommene glastechnische Entwicklung der Zeit um 1800 in Thüringen und aus der einzigen uns z.Zt. vorliegenden Zuordnung der Zusammensetzung eines Glases aus dem Raum Thüringen – Ausgrabungsfund Eichsfeld [19]; [23] – wurde folgende Schlussfolgerungen gezogen:

Bei dem „Standardglas um 1800, halbweiß“ handelt es sich um ein einfaches Gebrauchsglas des Übergangs der spätmittelalterlichen Gläser hin zu den Gläsern der frühindustriellen Periode.

Dieses Glas ist zu charakterisieren durch die beginnende Erweiterung der Rohstoffbasis bei Nutzung der preiswerten vorhandenen Rohstoffe.

Demzufolge wurden für die Glasschmelze folgende Rohstoffe eingesetzt:

- tonerdereiche Thüringer Sande (Martinroda bzw. Neuhaus)
- Holzasche aus der eigenen Ofenfeuerung
- Anteile Natrium aus Kochsalz, importiertem Soda oder Glasscherben
- Braunstein zur „Entfärbung“ und als Flussmittel (Raum Ilmenau)
- Kalk- und Dolomitmehl aus dem Thüringer Raum

Entsprechend der einzelnen Bestandteile ergibt sich folgende Zusammensetzung aus historischer und technologischer Sicht (Angaben in %). Zum Vergleich sind entsprechende Analysen spätmittelalterlicher Gläser, die einzige Analyse, die ein Glas um 1800 betrifft und Gläser, die nach 1870 gefertigt wurden, in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Lfd.-Nr.	Glas	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅
1	Restglas im Hafen mit Glasuranteilen, um 1500 (Ausgrabung Eichsfeld), [17, p. 24]	55,10	9,20	0,26	4,90	3,40	23,90	4,00	-	-
2	Ausgrabungen in Hannover, Hohlglas um 1500, [19, p. 151]	54,98	5,34	0,17	7,84	2,28	22,78	0,98	1,49	3,16
3	Fensterglas Hannover 1530, [24, p. 270-271]	58,3	2,80	0,35	8,10	1,80	21,80	1,10	2,00	2,90
4	Gewöhnliches Geräteglas halbweiß (1830) [18, p. 944]	63,50	4,50	2,50	10,50	-	16,20	-	-	-
5	Standardglas halbweiß, um 1800	65,00	4,00	1,00	9,00	3,00	14,00	3,00	0,80	-
6 ⁶	EDX-Analysen des Ritter-Glases im Deutschen Museum [25]	77,56	0,90	0,37 (FeO)	9,08	0,74	9,77	0,33	-	-
7	Thüringer Geräteglas 1869, [18, p. 938]	74,10	1,15	0,70	0,60	15,7	6,90	0,20	0,50	-
8 ⁷	Hannover 1700-1800 [19, p. 151, Probe 4.4]	58,26	1,66	0,42	9,12	3,28	21,18	0,95	1,06	2,52
9	Hannover 1700-1800 [19, p. 151, Probe 4.5]	58,30	2,63	0,43	6,57	3,66	21,44	1,90	1,12	3,10
10 ⁸	Isolatorglas grün, Schmidt, R., [26, p. 197]	68,1	7,20	1,90	2,20	5,70	14,1	0,80	-	-

Erläuterung der Zusammensetzung

SiO ₂	65%,	mittlerer Ansatz, Glas des Übergangs
Al ₂ O ₃	4%,	entspricht dem Anteil an Tonerde aus Sand und Kalk etc.
Fe ₂ O ₃	1%	Festlegung: da in Literatur und Ausgrabungen widersprüchlich, je nach Glaszusammensetzung und Zusammensetzung der Holzasche variiert die Farbwirkung. Der Anteil wurde so verändert, dass eine Grünfärbung des Glases erreicht wurde, die den Originalen in der Stiftung Weimarer Klassik entspricht.
K ₂ O	9%	Festlegung: entsprechend des Holzasche-Anteils in der Glasschmelze
Na ₂ O	3%	Festlegung: aus Kochsalz, importiertem Soda, Glasscherben. Da das „Standardglas um 1800“ als eine Übergangsglas von der mittelalterlichen zur frühindustriellen Produktionsmethode definiert wurde, und somit sowohl die Verwendung von Pottasche als auch von Soda angenommen wird, wird der Anteil von Natriumkarbonaten mit 3% angesetzt worden und nicht, wie bei reinen Pottasche-Gläsern gegen 0%.

⁶ Besonderen Dank gebührt Herrn Dr. G. Völksch vom Otto-Schott-Institut für Glaschemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena für die Durchführung der Mikroanalyse des „Ritterglases“ aus dem Deutschen Museum München.

⁷ Bei den Proben handelt es sich um Scherben von Ausgrabungen in der Altstadt von Hannover. Durch die Lage und Befunde konnten sie mit einiger Sicherheit datiert werden. Es handelt sich durchweg um mehrere Millimeter dicke, verschieden stark gelbgrün bis braungrün gefärbte Gläser. Das Glas ist von mittlerer Qualität, meist blasig und oft von Schlieren durchzogen. Fast durchweg finden sich mehr oder weniger kräftig ausgebildete schwarzbraune bis schwarze Verwitterungskrusten [19].

⁸ Obwohl diese Analyse ein grünes Isolatorglas aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts beschreibt [20], wurde sie für einen Vergleich mit der Zusammensetzung von Isolatorglas aus der Zeit um 1800, welches ebenfalls eine Grünfärbung aufweist, mit angegeben.

CaO	14%	Festlegung: aus Holzasche und zusätzlichem Kalkmehl
MgO	3%	technologische Forderung zur Verhinderung der Kristallisation im unbekanntem Glassystem; in Thüringen sicher nicht häufig, z. T. aus Holzasche und dolomitischem Kalk
MnO	0,8%	Festlegung: in der Literatur häufig höher angegeben. Vorerst wurde der Wert jedoch nicht höher gewählt, um in unbekanntem Glassystemen eine Braunfärbung zu vermeiden.
P ₂ O ₅		Phosphoroxid wurde in der Schmelze nicht eingesetzt, da dessen Verwendung in Thüringen bei der Produktion von Massengläsern bisher nicht nachgewiesen wurde.

V. Beschreibung des Schmelzverlaufes

Einwaage des Gemengesatzes im 1. bis 5. Schmelzvorgang

Gemengeart	1. Schmelze	2. Schmelze	3. Schmelze	4. Schmelze	5. Schmelze
	12.12. 1999	13.12. 1999	14.12. 1999	15.12. 1999	16.12. 1999
Sand (WF84)	50,00 kg	49,90 kg	25,00 kg	50,00 kg	25,00 kg
TEH	4,40 kg	3,50 kg	1,80 kg	3,50 kg	1,80 kg
Pottasche	10,40 kg	11,50 kg	5,80 kg	11,50 kg	5,80 kg
Soda	4,00 kg	5,30 kg	2,20 kg	5,30 kg	2,70 kg
Kalk	13,30 kg	12,00 kg	6,00 kg	12,00 kg	6,00 kg
Dolomit	11,40 kg	11,00 kg	5,50 kg	11,00 kg	5,50 kg
Eisenoxid	0,80 kg	1,30 kg	1,00 kg	1,60 kg	0,80 kg
Manganoxid	0,72 kg	0,35 kg	0,20 kg	0,40 kg	0,20 kg
Kalialpeter	0,50 kg	0,50 kg	0,10 kg	0,30 kg	0,10 kg
Flußspat	0,50 kg	0,50 kg	0,15 kg	0,60 kg	0,25 kg
Ceroxid	0,20 kg	0,00 kg	0,00 kg	0,00 kg	0,00 kg
Wasser	0,00 kg	0,60 kg	0,30 kg	0,40 kg	0,20 kg

TEH: Tonerdehydrat Al(OH)₃

Gemengesatzberechnung der 5. Schmelze vom 16.12.1999

(auf Basis von 100 kg Sand)

Rohstoff	Masse in kg	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	
Sand	100,0	99,3	0,3							
TEH	7,2		4,7							
Pottasche	23,2			15,2						
Soda	10,8				6,0					
Kalk	24,0					12,3	0,6			
Dolomit	22,0					6,3	4,4			
Eisenoxid, rot	3,2							3,0		
Manganoxid	0,8								0,7	
Kalialpeter	0,4			0,2						
Flußspat	1,0	-0,1				0,7				
Gesamt / kg	192,6	99,2	5,0	15,4	6,0	19,3	5,0	3,0	0,7	153,6
	%	64,6	3,3	10,0	3,9	12,6	3,5	2,0	0,5	100,2

TEH: Tonerdehydrat Al(OH)₃

Die Glasausbeute beträgt 79,8% bei heutigen Rohstoffen.

Va. Gemengeherstellung

Das Gemenge wurde entsprechend der Gemengesätze mit handelsüblichen Rohstoffen für die Glasschmelze hergestellt. Es wurde von Hand eingewogen und in einem einfachen Betonmischer gemischt.

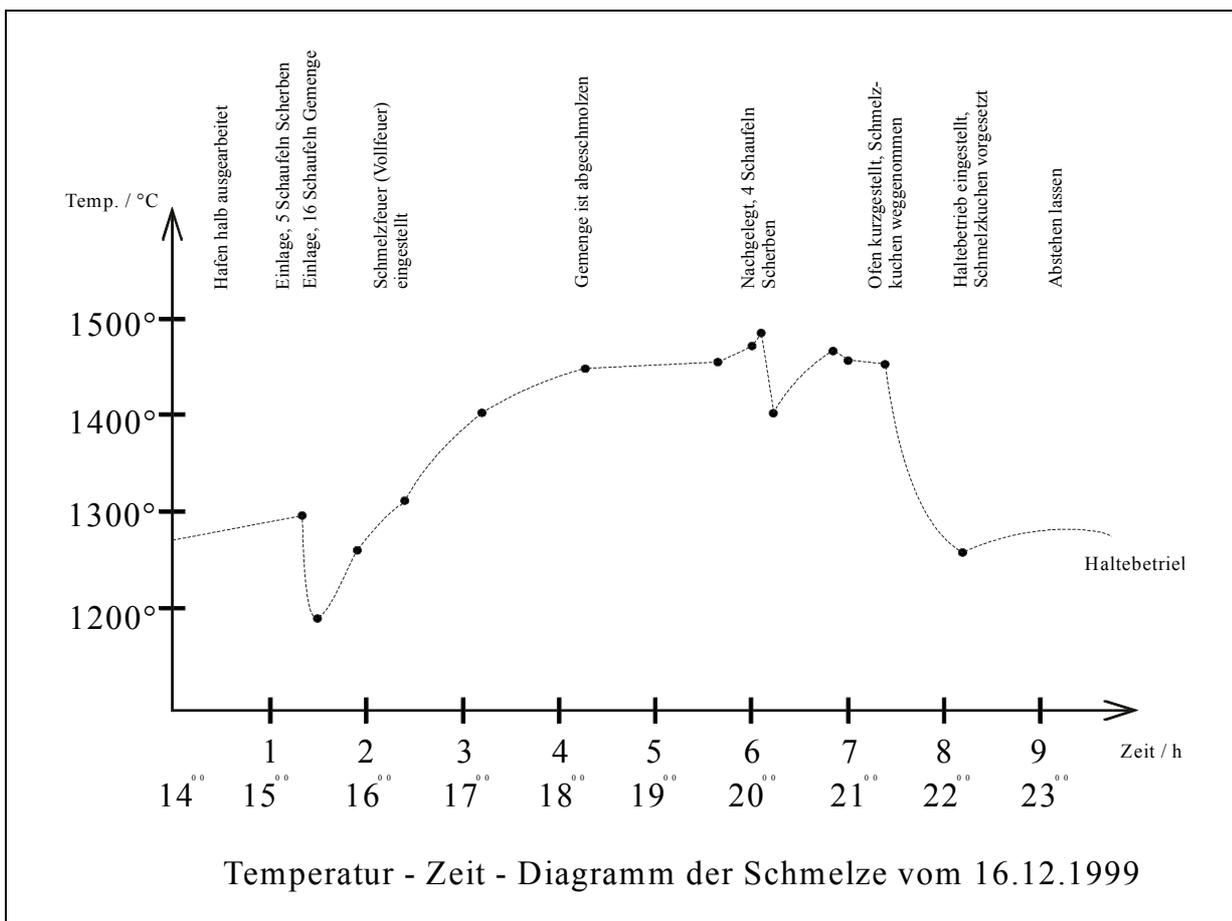
Vb. Schmelze

Die Schmelze wurde in einem Ein-Hafen-Ofen mit halbsaurem 50Liter-Hafen durchgeführt. Der Hafenoferen ist als Oberflammenofen erdgasbeheizt (ohne Wärmerückgewinnung). Es wurden fünf Schmelzen durchgeführt, um das Glas in Schmelze und Formgebung kennen zu lernen und ausreichend Glas zur Formgebung zu erhalten.

Die folgenden Beobachtungen zur Schmelzföhrung sind nicht ganz eindeutig und sollen in einem weiteren Versuch – auch durch Messwerte – vertieft werden.

Das leicht angefeuchtete Gemenge liegt relativ dicht im Hafen, so dass u. U. eine dritte oder vierte Gemengeeinlage mit den damit verbundenen Wärmeverlusten vermieden werden kann.

Andererseits führte das dichte, schwarze Gemenge, verbunden mit dem Mangel an Eigenscherben und der ungewöhnlichen Wärmeaufnahme der Schmelzhafens von unten, mehrfach zu „abgesoffenem Gemenge“.



Hierbei sinkt der Gemengekegel am Hafenrand unter das bereits geschmolzene Glas, es entstehen Steinchen, Schlieren und Bänder. Das dichte und durch Manganoxid- und Eisenoxidzusatz dunkle Gemenge müsste ein gutes Abschmelzen des Gemengekegels zeigen. Dies wird durch ein schlechtes Auflösungsverhalten der Gemengebestandteile verhindert und führt zu einem verzögerten Abschmelzen des Gemengekegels und zu einem raschen Anstieg der Ofentemperatur. Im Schaum ist

relativ viel „freier Quarz“ zu beobachten, welcher sich aber im weiteren Schmelzverlauf wieder auflöst. Aus den genannten Gründen war ein geringer Anteil an Feldspat am Gemenge notwendig, wobei sich bereits kleinste Änderungen (100g-Bereich) bemerkbar machen. Zum Abschluss der Schmelze wird das Glas schnell blank, d. h. größere und kleinere Bläschen entweichen sehr schnell, so dass die Schmelzen rasch beendet werden konnten. Auf das Blasen (Bülwern) der Schmelze mittels nassem Holzklotz oder Kartoffel wurde bewusst verzichtet, um eine Übersäumen des Glases über den Hafenrand zu vermeiden.

Die Farbe des Glases wurde über die einzelnen Schmelzen vom olivgrün ins grünoliv gezogen, wobei aber ein kleiner Anteil Manganoxid im Gemenge verblieb. Die erste Schmelze vom 12.12. 1999 zeigte eine bernsteinartige Farbe.

Die Schmelzzeit des „Standardglases um 1800, halbweiß“ ist bei gleichen Temperaturen kürzer als der bisher geschmolzenen Gläser. Die Ursachen hierfür könnten in der eisengrünen Färbung und in der zum Schmelzen benötigten Energiemenge dieser speziellen oxidischen Zusammensetzung liegen. Die Temperaturmessungen während des Schmelzvorganges ergaben folgende Werte:

Uhrzeit	14 ⁰⁰	15 ²⁵	15 ³⁵	15 ⁵⁵	16 ²⁵	17 ¹⁵	18 ²⁰	19 ⁴⁰	20 ⁰⁰	20 ¹⁰	20 ¹⁵	20 ⁵⁰	21 ⁰⁰	21 ²⁵	22 ¹⁵
Temp. in °C	1270	1293	1185	1265	1308	1401	1455	1467	1478	1484	1402	1471	1460	1461	1258

Vc. Glasformung

Die erste geschmolzene Glaszusammensetzung (12.12. 1999) erbrachte ein sehr „kurzes Glas“, mit einem bei hohen Temperaturen liegenden Verarbeitungsbereich. Bereits während der Schmelze war es möglich, einen Probestab zu ziehen.

Mit diesem Glas wäre ohne mehrtägiges Einarbeiten keine Formgebung möglich. Deshalb wurde die Glaszusammensetzung etwas geändert, so dass nach gewisser Einarbeitung eine „gute“ Formgebung möglich war.

Das Hohlglas wurde bei 1250° - 1280°C Ofentemperatur ausgearbeitet. Das Flachglas (Scheiben) wurde bei 1300 - 1350°C Ofentemperatur gegossen. Die kurzfristige Einarbeitung der Glasarbeiter in dieses besondere Glas war nur auf Grund der umfangreichen Vorkenntnissen zu der Verarbeitung verschiedenster Gläser möglich.

Die Entspannung des Glases erfolgte bei 560 - 580 °C im gasbeheizten Kammer-Kühlofen, wobei durch die eisengrüne Färbung des Glases eine gute Wärmeaufnahme erreicht wurde.

Die Weiterverarbeitung der Gläser durch Bohren, Schleifen und Sägen gestaltete sich nahezu problemlos und unkompliziert. Das Glas ist nicht als „schleifhart“ zu bewerten. Die Weiterverarbeitung vor der Flamme (Glasbläser) war gewöhnungsbedürftig, da das Glas einen relativ kurzen Verarbeitungsbereich aufweist.

Bei der Vergoldung der Leidener Flaschen wurden Versuche mit 3 verschiedenen Goldpräparaten unternommen. Ein Test zur Leitfähigkeit der Goldpräparate nach dem Einbrennvorgang ergab, dass sich das Präparat GG B19/F – 12% Goldanteil – unter Verwendung einer Einbrenntemperatur von 570 - 580 °C am geeignetsten erwies. Die Benetzung der Oberfläche des Glases durch das Gold konnte jedoch noch nicht zufrieden stellen. Die Ursache hierfür ist in der Beschaffenheit der Glasoberfläche zu suchen.

VI. Die Verarbeitung der Glases

Für die Herstellung von Flachgläsern waren in der Zeit um 1800 zwei grundsätzliche Methoden bekannt [28]. Flachgläser wurden gegossen oder es wurde ein Hohlglas geblasen, welches danach in eine flache Form gebracht wurde (Zylinderblasverfahren oder Walzverfahren). Hierzu wurde entweder ein großer Hohlzylinder geblasen, der dann aufgeschnitten wurde und als ein Flachband vorlag. Ein andere Methode war das Mondglasverfahren. Hierbei wurde eine Glaskugel geblasen und anschließend durch sehr schnelles Drehen der Glasbläserpfeife in eine runde Scheibe verformt.

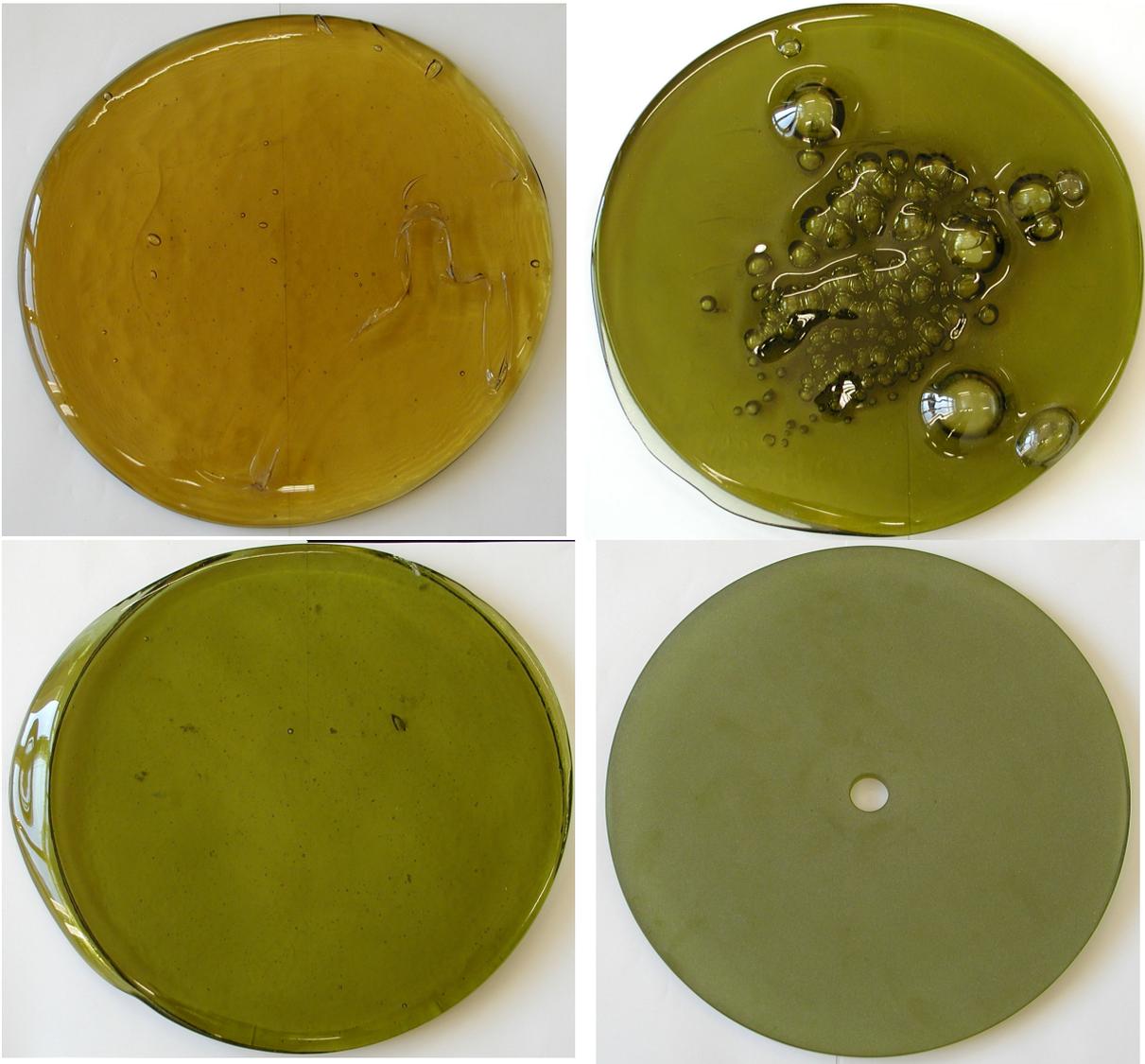


Abb. 4 Verschiedene Bearbeitungsphasen zur Herstellung der Glasscheibe der Elektrisiermaschine von Schmidt. Die Sequenz zeigt Entwicklung der Bearbeitung hinsichtlich Farbe, Beseitigung von Blasen im Glas und Ausformung der Scheibe.

Auf Grund der hohen Transformationstemperatur⁹ des Replikatglases konnten die Hohlglasverfahren nicht angewendet werden. Versuche im Zylinderblasverfahren ergaben, dass das Material schnell erkaltete. Deshalb war die Herstellung von großen Hohlzylindern nicht möglich. Selbst wenn es gelungen wäre, entsprechend große Zylinder zu produzieren, wäre das „Glattbügeln“ des Glases im Streckofen kaum möglich gewesen. Aus den genannten Gründen entschied sich der Hüttenmeister für die Gussmethode. Hierzu wurden Formen aus Stahl angefertigt, die auf eine Gussplatte aufgelegt wurden. In diese Form wurde die Glasmasse gegossen und mit Hilfe von Holzstäben geglättet. Dabei stellte sich heraus, dass die Gussplatte Gase (Kohlenstoffverbindungen) freigab, was zum Einschluss von Blasen in die Glasmasse führte. Deshalb wurde die Gussplatte gegen eine Stahlplatte getauscht. Auch hier entstanden Probleme durch die hohe Verarbeitungstemperatur des Glases. Die Stahlplatte musste sehr stark „unterheizt“ werden, um ein vorzeitiges Erstarren der

⁹ Die Transformationstemperatur wurde in zwei Analysen des Zentrums für Glas- und Umweltanalytik Ilmenau-Unterpörlitz bestimmt. Sie ergaben einen Wert von $T_g=573\text{ °C}$ bzw. 574 °C . Darüber hinaus wurde auch der mittlere Längenausdehnungskoeffizient ermittelt, der einen Wert von $\alpha_{(20^\circ\text{C}, 300^\circ\text{C})} = 8,6$ (bzw. $8,8$) $\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ ergab.

Glasmasse zu verhindern. In Folge der hohen Temperatur verformte sich die Stahlplatte, so dass keine plane Oberfläche der Glasscheibe erzeugt werden konnte. Eine Nachbehandlung der Glasscheiben durch Schleifen war somit unumgänglich.

Die Hohlgläser, Leidener Flaschen, Elektrometer und das Isolatorsteil wurden im Blasverfahren hergestellt. Für die großen Leidener Flaschen wurde hierzu eine Holzform angefertigt, in die das Glas ausgeblasen wurde. Die Flaschen wurden umgenabelt und an der Auftreibtrommel am Rand geformt.

VII. Beschreibung der quantitativen und qualitativen Analysen des Ritter-Glases

Für die Zusammensetzung von Glas aus der Zeit um 1800 liegen nur sehr wenige Analyseergebnisse vor. Für Geräteglas aus dieser Zeit sind uns aus der Literatur bisher gar keine Ergebnisse bekannt. Für die Beurteilung der Qualität unserer Replikationsversuche eines „Standardglas um 1800, halbweiß“ war es deshalb notwendig, die Zusammensetzung eines Originalglases aus der Zeit um 1800 zu bestimmen. Das Deutsche Museum München stellte ein Glasteil (etwa 1000 mg) des zerbrochenen Rohres des Wasserzersetzungapparates des Physikers Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) zu Analysezwecken zur Verfügung. Die massenspektroskopische Analyse der chemischen Zusammensetzung der Gase, die in der Glasprobe enthalten sind [29], sollte zwei Fragen klären. Einerseits, ob es sich bei den Glasresten um ein Originalglas aus der Zeit um 1800 handelt [25], und andererseits, wenn diese Frage positiv beantwortet werden kann, ob das im Forschungsprojekt hergestellte Glas in seiner Zusammensetzung einem Glas um 1800 entspricht.

Die chemische Analyse erfolgte mit Hilfe eines EDX-Systems an einem Rasterelektronenmikroskop¹⁰ (Tab.1). Zur Kalibrierung des Analysesystems wurde das Standardglas der glastechnischen Gesellschaft verwendet (DGGI).¹¹

Die Glasanalyse des Ritterglases zeigte folgendes Ergebnis: Insgesamt entspricht die Zusammensetzung der Schmelze einem Glas aus der Zeit um 1800. Es handelt sich dabei um ein Holz-asche-Glas, wie der geringe Anteil an Na₂O (0,74%) und der hohe K₂O-Gehalt (9,08%) aufzeigt. Da eine umfangreichere Holz-asche-Glasproduktion erst gegen Ende des 14. Jahrhunderts einsetzt [17], ist die Herstellung des untersuchten Glases nach diesem Zeitraum anzusetzen. Da Mitte des 19. Jahrhunderts wieder verstärkt Soda bei der Herstellung der Gläser beigelegt wurde und somit der Natriumoxidanteil wieder über 15%¹² stieg [18], ist andererseits der Herstellungszeitpunkt auf vor 1850 zu datieren. Weiterhin lassen die Analyseergebnisse den Schluss zu, dass es sich bei der zur Herstellung des Glases verwendeten Asche um Buchenholzasche handelt. Dafür spricht das CaO/K₂O Verhältnis. Für Buchenholzasche sind Werte im Verhältnis von 1:1,2-2,1, für Fichten-asche von 1:4 und für Farnasche von 1:0,7 typisch [17].

Überraschend ist allerdings der hohe Siliziumoxidanteil, der um 25% höher ist als in vergleichbaren Fundstücken der Zeit. Der hohe SiO₂-Anteil spricht jedoch dafür, dass das Ritterglas in einer relativ späten Periode der Holz-aschegläser hergestellt wurde. So zeigen die Analysen Wedepohls von aufgefundenen historischen Gläsern, dass der SiO₂-Anteil in den Gläsern im Laufe der Geschichte stetig angestiegen ist. Deshalb besteht hohe Wahrscheinlichkeit, dass das analysierte Ritterglas eher dem Zeitpunkt der ausgehenden Holz-Asche-Glas-Herstellung um 1800 zuzuordnen ist.

Die vergleichende Analyse verschiedener Glasfunde zeigt normale, der Zeit vor 1800 entsprechende Werte (Tab. 1). Die chemische Analyse des Probeglases zeigt im Vergleich mit bekann-

¹⁰ Für die Durchführung der Analysen und die Bereitstellung der Referenzproben sind wir Herrn Dr. G. Völksch, Institut für Glaschemie, zu Dank verpflichtet.

¹¹ Eine eingehendere Darstellung des verwendeten Verfahrens ist in Vorbereitung (Heide et al.)

¹² So gibt Thiene für die Zusammensetzung von Thüringer Geräteglas aus der Zeit von 1869 ein Na₂O-Anteil von 15,7% an. (Thiene, H.: 1939, S. 938)

ten Glasproben die größten Übereinstimmungen mit böhmischen Apparategläser¹³ aus dieser Zeit. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil von SiO₂ (> 76%) und ein Kalium-Calcium-Oxidverhältnis von 1:1 aus. Die einzige Abweichung in der chemischen Zusammensetzung dieser Gläser besteht in einem höheren Anteil an Na₂O [26]. Die Herstellung des Glases für den von Ritter in München benutzten Wasserzersetzungsapparat in einer böhmischen Glashütte liegt auch aus geographischen Gesichtspunkten nahe, befanden sich doch diese Glashütten im weiteren Einzugsbereich der Stadt München.

Somit bleibt von der Analyse hier festzuhalten:

Das Glas ist von seiner chemischen Zusammensetzung her ein altes Glas, es entstand vor 1800. Die Zusammensetzung verweist in den böhmischen Raum, in dem vor 1800 auch die reinsten Apparategläser hergestellt wurden.

Der in München aufbewahrte Glaskörper des Ritterschen Zersetzungsapparates stammt aus der Zeit um 1800. Die Form und die Zusatzteile des Funktionskörpers entsprechen der Beschreibung in J. Webers Zeitschrift *Der Galvanismus* [25]. Differenzen ergeben sich – was die Beschreibung angeht – allein im Sockel des Gerätes. Gestützt auf die Glasanalyse ist demnach davon auszugehen, daß es sich bei dem Münchner Apparat um eine Originalapparatur aus der Zeit Ritters und demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit um das von Ritter selbst beschriebene und von ihm oder in seinem Auftrag angefertigte Gerät handelt.

VIII. Bewertung der Ergebnisse für die Beurteilung des Ritterglases und des Replikatglases

Die analytischen Untersuchungen des Ritterglases zeigen, dass es sich bei dem für den ‘Wasserzersetzungsapparat’ verwendeten Glas um ein Glas handelt [25], welches in seiner chemischen Zusammensetzung dem Zeitraum um 1800 zuzuordnen ist. Jedoch zeigen die spezifischen Werte, so der außergewöhnlich hohe SiO₂-Gehalt und das CaO/K₂O Verhältnis von 1:1, dass dieses Glas sich von den um 1800 als Standardglas verwendeten Gläsern erheblich unterscheidet.

Vor allem die Zielsetzung der Glasreplikation, ein Standardglas um 1800 aus dem Thüringer Raum zu verfertigen, lässt wenig Übereinstimmungen mit dem Ritterglas zu. Jedoch zeigen die analytischen Untersuchungen des Replikatglases, dass dessen mineralogische Zusammensetzung weitgehend Übereinstimmungen mit Befundgläsern aus der Zeit um 1800 und mit Gläsern aus dem Thüringer Raum aufweist. In diesem Zusammenhang möchten wir auf die einzelnen Messwerte näher eingehen und deren Bedeutung in Beziehung zu historischen Gläsern nachgehen.

1. SiO₂ - Gehalt

Der Gehalt an SiO₂ wurde mit 65% Gewichtsanteil festgelegt. Dieser Wert resultiert aus den Angaben von Thiene [18], der für ein Geräteglas aus dem Jahr 1830 einen Siliziumoxidanteil von 63,5% angibt. Obwohl die Funde aus der Zeit zwischen 1700-1800 im Raum Hannover einen SiO₂ - Anteil von unter 60% aufweisen¹⁴, scheint uns der Ansatz von 65% gerechtfertigt, da einerseits die Zusammensetzung des Glases von 1800 bis 1830 kaum Veränderungen unterlegen hat und anderer-

¹³R. Schmidt gibt als Durchschnittszusammensetzung von 15 Analysen aus der Zeit von 1869-1935 folgende Werte an: 76,73% SiO₂; 0,53% Al₂O₃; 8,33% K₂O; 6,24% Na₂O und 8,07% CaO. Nach seinen Untersuchungen hat sich dabei die Zusammensetzung im Laufe der Jahre wenig verändert [26, p. 164].

¹⁴ Die in Hannover gefundenen Stücke stammen alle von einem schlecht verarbeiteten Glas, wie aus der Beschreibung der Einschluss- und Schlierenbildung im Glas zu ersehen ist. Dies weist auf einen unvollständigen Schmelzprozess des Glases hin. Da in dem hannoveranischen Glas der Gesamtanteil von Kalium- und Kalziummineralen bei über 30% liegt, scheint die Ursache hauptsächlich in einer geringen Ofentemperatur zu liegen. Deshalb wurde der Silikatanteil zur Verbesserung des Schmelzergebnisses von Anfang an gering (um die 58%) angesetzt. Da für Experimentalapparaturen meist nur hochwertige Gläser verwendet wurden, ist davon auszugehen, dass der Silikatanteil relativ hoch (bei 65%) angesetzt war.

seits gerade das Ritterglas beweist, dass der SiO_2 - Anteil für Geräteglas in der Zeit um 1800 relativ hoch angesetzt war.

2. K_2O - Anteil

Der K_2O -Anteil wurde entsprechend dem Holzasche-Anteils in der Glasschmelze mit 9% Gewichtsanteil angesetzt. Diese Werte decken sich mit den analytischen Untersuchungen des Geräteglases von 1830 (Lfd.-Nr. 1), der Funde von Hannover (Lfd.-Nr. 2) und nicht zuletzt mit den Ergebnissen bei der Untersuchung des Ritterglases (Lfd.-Nr. 5).

3. CaO - Anteil

Calciumoxid wurde unter Verwendung von Holzasche und zusätzlichem Kalkmehl mit einem Gewichtsanteil von 14% eingesetzt. Dieser Wert liegt um 7% niedriger als bei den Funden von Hannover. Die Reduzierung dieses Anteils an der Schmelze wurde zugunsten des erhöhten Einsatzes von Siliziumoxid vorgenommen. Das Geräteglas von 1830 liegt dabei noch um 2% höher als das Standardglas 1800. Jedoch zeigte gerade die Analyse des Ritterglases (9,77% CaO), dass die Ansetzung von 9% nahe an den um 1800 verwendeten Gewichtsanteil heranreicht.

4. Na_2O - Anteil

Der Natriumoxidanteil am Standardglas beträgt 3%. Dieser Anteil deckt sich mit den Werten der Proben 8 und 9 (Funde Hannover). Er ergibt sich aus dem Einsatz von Kochsalz, importen Soda und Glasscherben. Da das „Standardglas um 1800“ als eine Übergangsglas von der mittelalterlichen zur frühindustriellen Produktionsmethode definiert wurde, und somit sowohl die Verwendung von Pottasche als auch von Soda angenommen wird, ist der Anteil von Natriumkarbonaten mit 3% angesetzt worden und nicht, wie bei reinen Pottasche-Gläsern, gegen 0%. Das Ritterglas weicht in diesem Wert, von der Zusammensetzung von Holz-Asche-Gläsern aus der Zeit von 1500 bis 1800 ab. Bei ihm liegt der Na_2O -Anteil nur bei ca. 30% der normalen Werte (0,74%).

5. Fe_2O_3 und MnO - Anteil

Da das „Standardglas halbweiß“ eine leichte grüne Färbung besitzen sollte, wie sie bei den Originalgeräten von Georg Christoph Schmidt in der naturwissenschaftlichen Sammlung der Stiftung Weimarer Klassik anzutreffen ist, wurde zur Grünfärbung Fe_2O_3 eingesetzt. Zur Regulierung der Färbung wurde MnO (Braunstein) der Schmelze zugesetzt. Die einzelnen Schmelzversuche zeigten, dass die ursprünglich angesetzten Werte von 1% Fe_2O_3 und 0,8 MnO nicht zu den gewünschten Farberscheinungen führten. Die Variation des Verhältnisses von Fe_2O_3 zu MnO - auf 1,6% zu 0,4% führte zu einer Veränderung der Farbe von olivgrün zu grünoliv. Die Farbe des Glases war somit fast identisch mit dem Originalglas.

6. Al_2O_3 - Anteil

Der Anteil von Aluminiumoxid fällt mit 4% fast doppelt so hoch wie bei dem Ritterglas aus. Dies ist bedingt durch das Einbringen von Aluminiumoxid in Form von Tonerde aus Sand und Kalk aus dem Thüringer Raum. Die Schwankungsbreite des Al_2O_3 - Anteils illustrieren die Funde aus dem Raum Hannover. Diese bewegen sich in einer Spannbreite von 1,66% bis 5,3% [19]; [24]. Der äußerst niedrige Wert von 0,90% bei dem Ritterglas rührt aus den in diesem Schmelzprozess verwendeten Tonerden her. Auch das französische Geräteglas von 1830 weist mit 4,5% fast identische Werte zum „Standardglas“ auf.

7. MgO - Anteil

Der Anteil an Magnesiumoxyd aus der eingesetzten Holzasche und zusätzlichem Kalkmehl wurde mit 3% gegenüber den Analyseergebnissen von Glasfunden (0,95% - 1,9%) relativ hoch angesetzt.

Zur Verhinderung von Kristallisation in diesem unbekanntem Glassystem musste aus technologischen Gründen dieser erhöhte Anteil gewählt werden, obwohl uns bekannt war, dass ein entsprechender Anteil an MgO in Thüringen nicht häufig anzutreffen ist.

Zusammenfassung:

Anhand der von Johann Christoph Schmidt im Jahre 1773 herausgegebenen Beschreibung wurde seine Elektrisiermaschine repliziert. Dabei wurde versucht, die Glasteile der Maschine aus einem Glas zu verfertigen, welches den um 1800 verwendeten Gläsern entspricht.



Abb. 5 Die Elektrisiermaschine von Schmidt in perspektivischer Aufnahme.

Da für Gläser aus dem Thüringer Raum – mit Ausnahme von Gläsern aus dem Eichsfeld, die jedoch aus räumlichen und zeitlichen Gründen für Herstellung des Glases der Schmidtschen Elektrisiermaschine nicht in Betracht kommen – keine Befundanalysen vorliegen und eine Analyse der noch vorhandenen Teile der Maschine nicht möglich war, wurde an Hand einer angenommenen glastechnischen Entwicklung der Thüringer Glasindustrie um 1800 die Zusammensetzung und Verarbeitung des Glases rekonstruiert. Durch die Bereitstellung einer Probe des im Deutschen Museum verwahrten Ritterschen Wasserzersetzungsapparates konnte jedoch eine erste Analyse eines Geräteglases aus der Zeit um 1800 erstellt werden [25]. Die Vergleiche der massenspektroskopischen Analyse

dieses Glases mit verschiedenen Schmelzen europäischer Herkunft zeigen allerdings, dass dieses Ritterglas definitiv nicht aus dem Thüringer Raum stammt. Entsprechend den Angaben Wedepohls sind für den deutschen Raum vor 1800 Silikatwerte um 60% charakteristisch [16]; [17]. Dieser Wert wird bei dem Ritterglas weit überschritten. Entsprechend bildet es keine Referenz für den Raum Weimar-Jena. Die derzeit einzige Glasanalyse aus dem deutschen Raum um 1800 [19] weist ein der verwandten, experimentell erstellten Glasschmelze entsprechendes Verhältnis der chemischen Verbindungen auf. Allein der Silikatanteil liegt um 7% unter dem von uns benutzten Wert. Die analysierten Glasfunde zeigen allerdings Schlieren und Körnerbildung, was auf eine inhomogene Schmelze mit nicht völlig gelösten Rohstoffen hindeutet, die auf Grund der geringen Temperatur des Schmelzofens nicht aufgelöst werden konnten. Entsprechend waren auch keine höheren Silikatwerte zu erreichen. Für die hier beschriebenen Glasinstrumentarien war eine derart mangelhafte Schmelze – mit entsprechend geringem Silikatanteil – aber nicht zureichend. Der hohe Silikatwert bei schlierenfreiem Glas zeigt, dass im Raum Weimar- Jena auch hohe Glasschmelztemperaturen erreicht werden konnten. Dies war eine der Vorbedingungen für die Konstruktion der Schmidtschen Elektrisiermaschine.

IX. Danksagung

Die Forschungen wurden durch die DFG im Rahmen des SFB 482 „Ereignis Weimar-Jena. Kultur um 1800“ gefördert.

Dem Deutschen Museum München danken wir für die Bereitstellung eines Bruchstückes des „Ritterglases“ aus ihrem Fundus, Herrn Dr. G. Völksch vom Otto-Schott-Institut für Glaschemie der Friedrich-Schiller-Universität für die Durchführung einer Mikroanalyse des „Ritterglases“.

X. Literatur

- [1] Schmidt, G. Chr.: Beschreibung einer Elektrisir-Maschine und deren Gebrauch. Mit einer Vorrede des Herrn CammerRath Wiedeburg. Jena: Crökersche Buchhandlung, 1773
- [2] Schimank, H.: Geschichte der Elektrisiermaschine bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts. In: Zeitschrift für technische Physik **16** (1935)no. 9, p. 245-254
- [3] Heinz, L.: Die Geschichte der Glashütten des Thüringer Waldes: ein Beitrag zur Wirtschaftsgeschichte des Bezirkes Suhl. Kulturbund d. DDR - Bezirksleitung Suhl. Suhl: Kulturbund d. DDR - Bezirksleitung, 1983
- [4] Lappe, U.; Möbes, G.: Glashütten im Eichsfeld. (mit einer zugehörigen Glasanalyse des Labor des VEB Glaswerk Gräfenroda). Weimar: Alt-Thüringen Verlag Böhlau, 1984
- [5] Pischel, B.: Die thüringische Glasbläserei: eine volkskundliche Untersuchung über Geschichte und Wesen einer thüringischen Volkskunst. Weimar: Fink, 1936
- [6] Pischel, F.: Thüringische Glashüttengeschichte. Weimar: R. Wagner & Sohn, 1928
- [7] Turner, W. E. S.: Glas bei unseren Vorfahren. Vortrag auf der 29. Glastechnischen Tagung in Berlin am 10. Mai 1955. Glastechnische Berichte **28** (1955) no. 7, p. 255-259
- [8] Städtisches Museum Jena und Stadtmuseum Weimar (Hrsg.): „Wie zwey Enden einer Stadt...“ Die „Doppelstadt Jena-Weimar“ im Spiegel regionaler Künstler 1770-1830. Jena: Stadtmuseum
- [9] Hackmann, W. D.: Electricity from glass: the history of the frictional electrical machine 1600-1850. Alphen aan den Rijn: Sijthoff & Noordhoff, 1978
- [10] Lemper, E.-H.: Adolf Traugott von Gersdorf. 1744-1807. Naturforschung und soziale Reformen im Dienste der Humanität. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1974
- [11] Wiedeburg, J. E. B.: Vorrede zu: Georg Christoph Schmidt: Beschreibung einer Elektrisir-Maschine und deren Gebrauch. Jena: Crökerische Buchhandlung, 1773, p. II-III.
- [12] Hoffmann, R.: Thüringer Glas aus Lauscha und Umgebung. Leipzig: Seemann, 1993
- [13] Kühnert, H.: Urkundenbuch zur thüringischen Glashüttengeschichte. Jena: Biedermann, 1934
- [14] Kühnert, H.: Urkundenbuch zur thüringischen Glashüttengeschichte: und Aufsätze zur thüringischen Glashüttengeschichte. Wiesbaden: Steiner, 1973
- [15] Ulbrich, P.: Die Thüringer Glasindustrie. Oberweißbach in Thür.: Schmerbach, 1923
- [16] Wedepohl, K. H.: Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser. Stuttgart: Franz Steiner, 1993
- [17] Wedepohl, K. H.: Mittelalterliches Glas in Mitteleuropa: Zusammensetzung, Herstellung, Rohstoffe. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1998

- [18] Thiene, H.: Glas. Band 2. Jena: Gustav Fischer, 1939
- [19] Geilmann, W.: Beiträge zur Kenntnis alter Gläser III. Die chemische Zusammensetzung einiger alter Gläser, insbesondere deutscher Gläser des 10. bis 18. Jahrhunderts. Nach Untersuchungen von K. Beyermann, Th. Brückbauer, H. Jenemann und anderen. Aus dem Institut für anorganische und analytische Chemie an der Universität Mainz. Glastechnische Berichte **28** (1955) no. 4, p. 146-156
- [20] Stieda, W.: Thüringische Glashütten in der Vergangenheit. Leipzig: Edelmann, 1910
- [21] Ganzenmüller, W.: Eine Besichtigungsreise durch deutsche und französische Glashütten zu Anfang des 19. Jahrhunderts. Die Glashütte. Das Emailierwerk. Zeitschrift für die gesamte Glas- und Emaille-Industrie. **65** (1934) no. 12, p. 191-193 und **66** (1935) p. 168-169
- [22] Kahlert, W.: Die Wärmewirtschaft mittelalterlicher Glasschmelzöfen. Glastechnische Berichte **28** (1955) no. 12, p. 483-485
- [23] Hartmann, G.: Late-medieval Glass Manufacture in the Eichsfeld Region (Thuringia, Germany). Chemie der Erde **54** (1994), no. 2, p. 103-128
- [24] Bezborodov, M. A.: Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser. Mainz: von Zabern, 1975
- [25] Weber, H.; Breidbach, O.; Heide, K.; Brachner, A. (im Druck): Zerbrechliche Forschung – Zu den Experimentalapparaturen des „romantischen“ Physikers Johann Wilhelm Ritter. München: Deutsches Museum
- [26] Schmidt, R.: Der praktische Glasschmelzer. 5. verb. Aufl. Leipzig: Fachbuchverlag, 1953
- [27] Bowles: Die Fabrikation des Glases nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen oder Anweisung, alle Sorten grünes, weisses und farbiges Glas nach den neuesten englischen und französischen Methoden zu verfertigen. Nach dem Englischen bearbeitet und mit Zusätzen vermehrt. Quedlinburg; Leipzig: Basse, 1833
- [28] Glocker, W.: Technikgeschichte im Deutschen Museum. Glastechnik. München: C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung und Deutsches Museum, 1992
- [29] Gerth, K.; Wedepohl, K. H.; Heide, K.: Experimental Melts to Explore the Technique of Medieval Woodash Glass Production and the Chlorine Content of Medieval Glass Types. Chemie der Erde **58** (1998) no. 3, p. 219-232

Autorenverzeichnis

Dr. Heiko Weber
Friedrich-Schiller-Universität Jena
SFB 482 „Ereignis Weimar-Jena“ Kultur um 1800
Humboldtstr. 34
07743 Jena

Prof. Dr. Dr. Olaf Breidbach
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaft und Technik
„Ernst-Haeckel-Haus“
Berggasse 7
07745 Jena

Prof. Dr. Klaus Heide
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Mineralogie
Ernst-Abbe-Platz 4-6
07745 Jena

Horst Grimm
Glastechnische Werkstatt Horst Grimm
Ritterstraße 1
98559 Gehlberg