

## zukû, bûsu, tersîtu Von der Kunst, farbiges Glas zu machen

Maren Siegmann

**Summary – zuku, busu, tersitu. The art of making coloured glasses.** *It all started harmlessly enough: to show how to make late bronze age glass beads in Unteruhldingen. Then: can you give us a paper, so our team knows the basics concerning bronze age glass? And by now, one stuck with Mesopotamian clay tablets and cuneiform texts up to the eyebrows of recipes describing the art of making coloured glasses.*

*Short abstracts of these recipes are well-known within glass-making literature. Regarding the complete thesaurus of recipes (excellently edited and translated), it becomes clear that the known "texts" are unacceptably reduced or a hodgepodge out of separate recipes. This paper discusses the recipes, the small steps from raw materials via semi-processed substances to the desired glass and the technical difficulties met (and solved). Furthermore, the processes described in the recipes are compared to archaeological finds such as Ulu Burun, Qantir and Amarna, and to glass-melting experiments.*

Es fing alles ganz harmlos an – mit einer Anfrage des Pfahlbaumuseums Unteruhldingen. Ob ich mir vorstellen könnte, drei Tage lang 'urnenfelderzeitliche' Glasperlenmacherei vorzuführen? Natürlich gerne: Wozu ist frau schließlich Archäologin-Perlenmacherin-Museumspädagogin? Es blieb harmlos – könnten Sie uns vielleicht eine kleine Einführung zu bronzezeitlichem Glas schreiben, als Einführung in das Thema für unsere Mitarbeiter? Wiederum natürlich gerne. Und schon steckt man mittendrin in mesopotamischen Keilschrifttexten. Anleitungen für die Kunst, farbiges Glas zu machen.

Kurze Auszüge dieser Rezepte geistern seit jeher in der Glasliteratur herum. Betrachtet man aber den Gesamtbestand der Rezepte (vorbildlich erschlossen und übersetzt) zeigt sich, dass diese Auszüge unzulässig gekürzt oder gar aus verschie-

denen Rezepten zusammengezogen sind. Um diese Rezepte wird es gehen, um die geschilderten Arbeitsschritte, und um die technischen Hürden, die dabei genommen wurden. Den Rezepten gegenübergestellt werden archäologische Funde und Befunde (wie Qantir, Amarna oder Ulu Burun) und Experimente zur bronzezeitlichen Glasherstellung.

Beschäftigt man sich mit Glasgeschichte und Glastechnik stößt man immer wieder in verschiedenen Varianten auf ein Rezept:

„Wenn du ungefärbtes Glas herstellen willst, so zerreiße getrennt voneinander 10 Minen Sand, 15 Minen Asche von Sodapflanzen und 1 Mine Styragummi. Mische diese Stoffe zusammen und bringe sie in den kalten Ofen, der vier Augen hat. Unterhalte dann ein gutes rauchloses

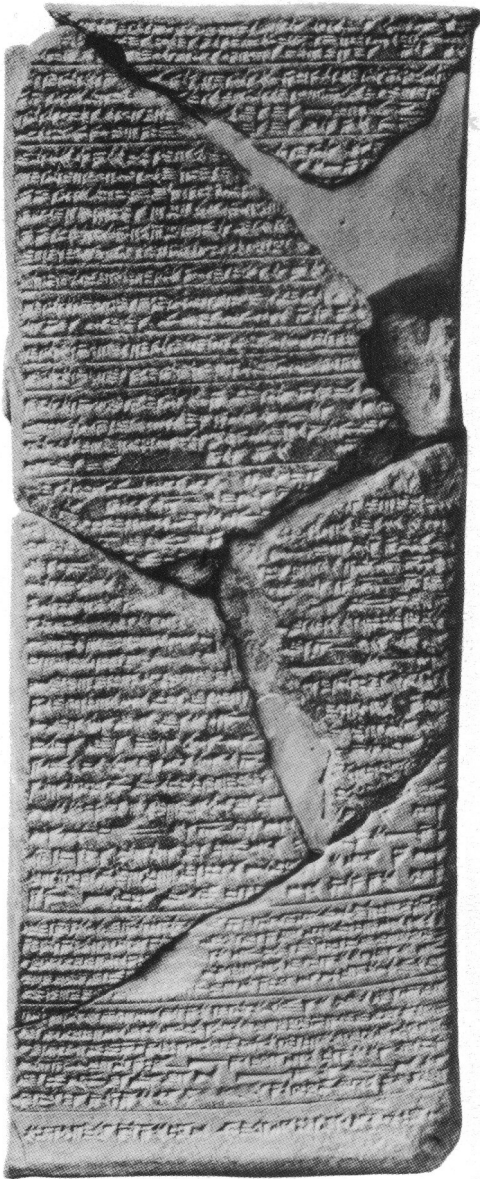


Abb. 1: Tablet A mit Rezepten § 7 bis § 15. – Tablet A with recipes § 7 to § 15.

Feuer, bis die Masse weißglühend ist. Nimm sie aus dem Ofen und lasse sie erkalten, zerreibe sie, bringe sie in einen reinen Schmelztiegel, setze sie in den kalten Ofen und unterhalte ein gutes Feuer bis die Masse flüssig ist. Diese geschmolzene Masse gieße dann auf

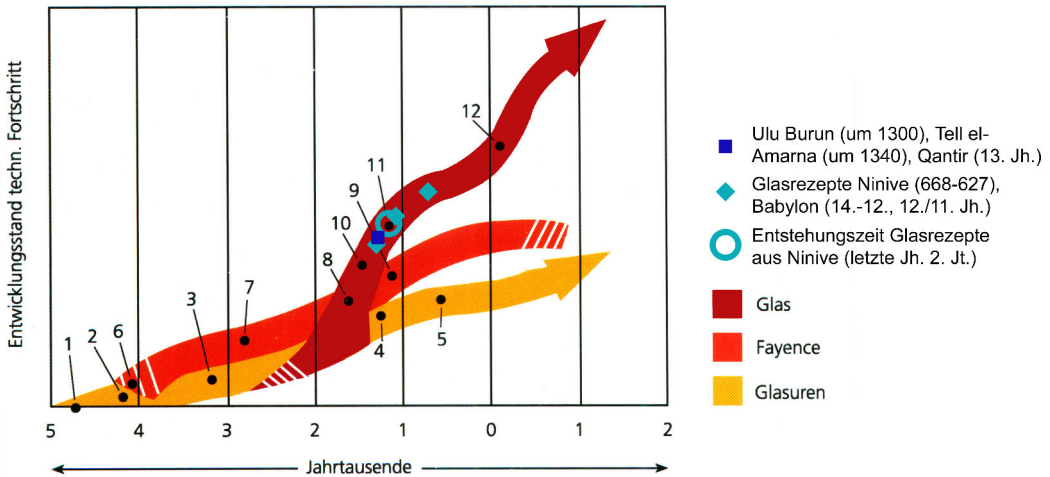


Abb. 2: Tablet B mit Einleitung und Rezepten § 1 bis § 7. – Tablet B with introduction and recipes § 1 to § 7.

Ziegel. Das Produkt ist helles Glas.“ (Rezept für Glasur, GANZENMÜLLER 1939, 8).

“If you want to produce zagindurû-colored glass, you grind finely, separately, 10 minas of immanaku-stone, 15 minas of naga-plant ashes and  $1 \frac{2}{3}$  minas of 'white plant'. You mix these together. You place the mixture into a cold kiln that has four openings. You keep a good and smokeless fire burning [...] As soon as the mixture glows yellow, you pour it on a kiln-fired brick and this is called zukû-glass [...]” (Rezept für Glas, SCHWEIZER 2003, 33).

Beide Übersetzungen sollen denselben Text wiedergeben, wobei die inhaltlichen Unterschiede z. T. gravierend sind. Also ad fontes – die bestmögliche Edition des Originals musste her. Gleich vorweg: Die publizierten Varianten des Rezeptes sind



- 1 erste Alkaliglasuren auf Kleingeräten aus Steatit aus einer jungsteinszeitlichen Siedlung bei Badari (Oberägypten), 5000 v. Chr.;
- 2 erste Bleiglasuren auf Ziegelsteinen, rot, gelb und braun, etwa 4200 v. Chr.;
- 3 blaue Kupferglasuren in Ägypten, etwa 3200 v. Chr.;
- 4 hochentwickelte Glasurtechnik, erste durch Zinnoxid getrübbte Glasuren, 1200 v. Chr.;
- 5 glasierte Keramik am Ischtartor in Babylon, 7. Jh. v. Chr.;
- 6 Perlen und Amulette aus Fayence in Ägypten und Mesopotamien, 4200 v. Chr.;
- 7 rechteckige Wand- und Bodenplättchen für die Pyramide des Königs Djoser, etwa 2800 v. Chr.;
- 8 Blütezeit der Technik der ägyptischen Fayence 1600 v. Chr.;
- 9 Kacheln aus Fayence aus dem Palast Ramses III., 12. Jh. v. Chr.; 10 – erste Glaserzeugnisse um 1500 v. Chr.;
- 11 Blütezeit der Sandkerntechnik in Ägypten, erste Millefioriarbeiten in Mesopotamien 15. Jh. v. Chr.;
- 12 Erfindung des Glasblasens mit der Glasmacherpfeife.

(nomenklatorisch an vorliegende Arbeit angeglichen)

Abb. 3: Zeitliche Entwicklung von Glasur, Fayence und Glas. – Evolution of glaze, faience and glass.

in der Regel gekürzt, aus dem Zusammenhang gerissen oder gar aus mehreren unterschiedlichen Rezepturen zusammengestückelt.

Ad fontes. Die Anweisung, wie zagindurüfarbenedes Glas zu machen sei, stammt aus Ninive, aus der Palastbibliothek Assurbani-pals, 668-627 v. Chr. Dieses Rezept und weitere 53 aus Ninive, Babylon und Bog-hazköy wurden 1970 mustergültig von Leo Oppenheim vorgelegt (OPPENHEIM 1988, 22-68). 'Unser' Rezept bildet dabei den Anfang (§§ 1-3).

Natürlich sind alle diese Rezepte in Keil-schrift auf Tontäfelchen notiert. Und eben-so natürlich sind diese Tafeln beschädigt,

zerbrochen, fragmentiert (Abb. 1-2). Einige Rezepte (wozu auch das zagindurü-farbene grüne oder türkise Glas gehört) finden sich in leicht abweichender Wort-wahl doppelt auf zwei verschiedenen Tafeln und liegen deshalb vollständig vor. Andere Rezepte sind lückenhaft.

Dazu kommen (wie sollte es anders sein) Übersetzungsschwierigkeiten – einige Wörter werden ausschließlich hier ge-nannt. Bei anderen ist die Zuordnung/ Übersetzung unsicher – Rezept § N bei-spielsweise fordert (sumerisch) IM. SIG7.SIG7 = wörtlich 'grüne Erde' = (ak-kadisch) guhlu = schwarze Augenschmin-ke als Zutat, womit Antimon (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ge-



meint sein kann (OPPENHEIM 1988, 78), aber keineswegs sein muss (BRILL 1988, 117-118). Rezeptliteratur allgemein ist meist spröde und wortkarg formuliert, nur wenig lässt sich aus dem Kontext erschließen. Selbstverständliches und Bekanntes wird gerne ausgelassen, besonders, wenn sich das Werk an Profis richtet. Auch die Tontafel-Glasrezepte sind keine Schritt-für-Schritt-Do-it-Yourself-Anleitung, sondern Expertenwissen. Irgendwann aus irgendeinem Anlass auf Befehl von Irgendwem Irgendwo von Schreibern festgehalten, geordnet, strukturiert und redigiert. Und dann als Abschrift von der Abschrift über die Zeit gerettet.

Von den verschiedenen 'Irgend's ist hier vor allem das Wann von Interesse. Die ältesten der Texte (§§ i-iv und §§ a-h) stammen aus dem 14.-12. bzw. 12./11. Jh. v. Chr. (OPPENHEIM 1988, 62; 65). Die 'Originale' zu den Abschriften aus Ninive scheinen anhand sprachhistorischer Erwägungen in den letzten Jahrhunderten des 2. Jts. v. Chr. (13. Jh. v. Chr.?) entstanden zu sein (OPPENHEIM 1988, 82).

Glasrezepte aus der späten Bronzezeit – ein einmaliger Glücksfall. Dabei ist die Quellenlage zu Glas des 14. und 13. Jhs. v. Chr. im Ostmittelmeerraum ohnehin schon sehr reichhaltig und vielfältig (Abb. 3). Objekte aus Fayence in unterschiedlichen Farben und kleine farbenfrohe Gefäße aus undurchsichtigem Glas (Abb. 4) fanden sich in Massen in den politischen und wirtschaftlichen Zentren der Zeit – Mykene, dem Hethitischen Großreich, Assyrien, Babylonien und Ägypten (Abb. 5). Dazu direkte und indirekte Belege für Glasverarbeitung und Glasherstellung in Ägypten, 200-350 kg Rohglas in Barrenform an Bord des Schiffswracks von Ulu Burun vor der türkischen Küste, Reste weiterer Rohglasbarren von verschiedenen Fundorten. Grund genug, sich die Rezept einmal näher anzuschauen und Werkstattfunden gegenüberzustellen.



Abb. 4: Typische Glasgefäße der späten Bronzezeit. – Typical Late Bronze Age glass vessels.

#### Die Vorbereitungen

Drei Tontafeln (A, B, C) beginnen mit Vorbereitungen: ein günstiger Zeitpunkt ist zu finden, Opfer sind zu bringen, die rituelle Reinheit aller beteiligten Personen zu gewährleisten. Brennmaterial ist zu besorgen: gebündeltes geschältes astfreies dickes Pappelholz, im Juli/August geschlagen, für ein starkes und rauchfreies Feuer.

#### Die technischen Einrichtungen – Öfen und Tiegel

Meist verwenden die Anweisungen das unspezifische *kūru* = Ofen bzw. *kūru ša abni* = Ofen für Glas. Einige Rezepte nennen spezielle Öfen, so den 4-Augen-*kūru* (mit 4 Öffnungen; §§ 1, 3, 4, 6, 7, 16, x), den *kūru ša takkanu/tukannu* (Kammerofen; §§ 1, 2, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 16), den *atūnu*-Ofen (§§ 8, 12, 18, L) und den *tenūru*-Ofen (§ U). *Tenūru* und *atūnu* könnten Synonyme sein. Der *atūnu*-Ofen wurde auch von Töpfern, Ziegelbrennern und Brauern verwendet, war geräumig und für sehr lange Feuerungsperioden



Abb. 5: Der östliche Mittelmeerraum im 14. Jh. v. Chr. – Eastern Mediterranean during 14<sup>th</sup> century BC .

geeignet. Atūnu und Kammerofen besaßen eine separate Feuerungskammer, der 4-Augen-Ofen dagegen nicht. Anschaulich ist die Anweisung in § 6, den Tiegel auf ein Podest zwischen die Öffnungen zu stellen und dann den Ofen zu befeuern, bis Flammen aus den Öffnungen schlagen.

Auch für Tiegel tauchen unterschiedliche Begriffe auf. Der normale 'Einheitstiegel' heißt dabtu, wohl ein eher niedriges und weites Gefäß. Der dabtu-Tiegel kommt unspezifiziert, sauber oder neu zum Einsatz. Eine andere Gefäßart scheint der haragu-Tiegel der §§ 13-15 zu sein, wobei er je nach Anwendung gebraucht oder neu sein soll. Tamšiltu (§§ 7, 8, 12, 18, L) ist dem Namen nach ("what creates a likeness") eher eine Form als ein Tiegel. Eine Sonderform ist der fest verschließbare imguru-Tiegel für rotes Glas der Anweisungen §§ i-iv.

Hinweise auf die Größe zumindest einiger dabtu-Tiegel geben die Füllmengen. In §

1 werden 26 ⅔ minas pulverisierte Zutaten gemischt, was ca. 13 kg bzw. ca. 7,5 l Rohmaterialien entspricht. Diese Mischung wird gesintert, fein zerrieben und in einem dabtu-Tiegel geschmolzen; nach BRILL (1988, 123) ergibt sie ca. 3,5 l Glas. Nach § 3 sind mehr als 22 ⅓ minas (ca. 11 kg) pulverisierte Zutaten in den dabtu-Tiegel zu geben. Das lässt Gefäßdurchmesser zwischen 20-25 cm (3,5 l) und 30-35 cm (7,5 l) vermuten. Wendet man die Faustregel frühneuzeitlicher Glasmacher an (Innenraum des Ofens = Randdurchmesser des Tiegels x 3) kann man für 4-Augen-Öfen Innendurchmesser zwischen 75 und 105 cm annehmen.

### Das Grundglas

Wie ein farbloses Grundglas (zukû-Glas) zu machen sei, erläutern die §§ 1, 4, 13 und 16. Immanaku-Stein ist fein zu zerreiben, dazu kommt ebenfalls feingeriebene Asche der naga- oder der ahussu-

Pflanze. Beides wird gemischt und im 4-Augen-Ofen zwischen den Öffnungen 'arrangiert'. Nun wird der Ofen angefeuert und das Gemisch gesintert, d. h. gerade soweit erhitzt, dass das Material zusammenpappt, ohne jedoch zu schmelzen. Nach § 13 soll das Material grün und nach § 4 rot glühend sein, dann aus dem Ofen genommen werden zum Abkühlen. § 13 fordert eine zweite Sinterung, diesmal in einem Tiegel. Nicht genannt, aber natürlich erforderlich, ist, die zusammengesinterten Brocken zuvor fein zu zerreiben. Nach Abschluss der Sinterung soll der Tiegelinhalt in kaltes Wasser geschüttet werden.

Dieser Arbeitsschritt – das Fritten – ist auch heute noch üblich und erfolgt bei ca. 850°C; unerwünschte Inhaltsstoffe werden so entfernt. Mechanisches Aussortieren beim anschließenden Feinreiben der Fritte und ggf. Waschen der Fritte in Wasser helfen weiterhin, das Gemenge zu klären und einen Überschuss an alkalischen Salzen herauszuwaschen. Während des Frittens muss das Material bewegt werden, um eine Schmelze zu verhindern (STROMER 1984, 29, Kap. IV). Keines der Grundglas-Rezepte fordert für das erste Fritten einen Tiegel, möglicherweise erfolgte das Fritten auf dem Ofenboden (sinnvollerweise auf einem Sandbett o. ä.).

Nun erfolgt die Hochtemperatur-Schmelze des eigentlichen Glases: Die pulverisierte Fritte kommt in einen sauberen Tiegel (dabtu bzw. haragu), der Tiegel in den kalten Kammerofen. Nun wird gefeuert, bis der Tiegelinhalt gelb glüht. § 16 fordert den Glasmacher auf, einmal einen Stab o. ä. durch das Glas zu ziehen und anhand des Glastropfens daran die Qualität/Homogenität zu prüfen. Nun wird der Tiegelinhalt auf einen gebrannten Ziegel gegossen.

Die Beurteilung der Temperatur von Glas anhand seiner Glüh-Farbe ist die einfachste und sicherste Methode – sowohl

die Farbangaben beim Fritten als auch beim Schmelzen sind stimmig. Für den eigentlichen Schmelzvorgang sind Temperaturen von 1000-1150°C nötig, wobei für die Spätbronzezeit von 1000-1100°C ausgegangen wird (STERN, SCHLICK-NOLTE 1994, 20). Der Homogenitäts-Test des § 16 war auch in neuzeitlichen Glashütten üblich. Das Aufbrechen der Oberfläche ließ Gase entweichen, das einmalige Hineintauchen von etwas Feucht-frisch-grünem brachte das Glas zum Aufwallen und verbesserte noch einmal die Qualität (BECKER 1988/89, 44).

### Die Zutaten zum Grundglas

Naga-Pflanze, Asche der naga-Pflanze, Asche von Trieben der naga-Pflanze, ahasu-Asche: Es gibt eine ganze Reihe von Pflanzen, deren Asche verschiedene Alkalien liefert, am bekanntesten sind die Gattungen *Salicornia* und *Salsola* (SCHWEIZER 2003, 33-36). Pflanzenaschen liefern als Flussmittel  $K_2O$  und geringe Anteile  $Na_2O$  (Soda dagegen nur  $Na_2O$ ), enthalten relativ viel Magnesium und Kalk (beides fehlt in Soda). Eigentlicher Grundstoff für Glas ist Siliciumdioxid ( $SiO_2$ ), Quarz. Zerklopfte ausgesucht weiß-farblose Kiesel liefern den reinsten Rohstoff, Sand dagegen kann (muss aber nicht) stark verunreinigt sein. Die dritte heute wichtige Komponente für stabiles Glas ist Kalk. Enthält Glas zu wenig oder zu viel Kalk, leidet die Qualität bis hin zur völligen Unbrauchbarkeit. Sinnvolle Rohstoff-Kombinationen sind Pflanzenasche + Quarzkiesel oder aber natürliche Soda + kalkhaltiger Sand; Soda + Quarzkiesel braucht einen Kalkzusatz, Pflanzenasche + Sand braucht ausgesucht kalkarmen Sand. Kalk ('weißes Material aus dem Meer') wird nur in den Rezepten §§ 3, 6, 7 und 14 zugesetzt, zusammen mit farbgebenden Komponenten.

Natürlich gibt es Uneinigkeit, ob mit immanaku Quarzkiesel oder Quarzsand ge-



meint seien. Ersteres ist aber wahrscheinlicher und wird auch durch sprachliche Indizien gestützt (BRILL 1988, 109-110). Die Anteile Asche : Quarz sprechen für die Verwendung der rohen Asche, nicht der raffinierten und konzentrierten Form als Pottasche (sehr informativ zu Pflanzenaschen PIERER'S UNIVERSAL-LEXIKON 1857-1865, Stichwort „Pottasche“).

Um es chemisch analysieren zu können, erschmolz BRILL (1988, 112-114) zukû-Glas entsprechend § 4. Das Ergebnis war ein Glas unerwartet hoher Qualität mit nur minimalen Spuren unreaktierter Bestandteile und nur wenigen Blasen. Wo genug Sauerstoff vorhanden war, war es transparent mit einem hellen Blaustich. Unter reduzierenden Bedingungen war ein durchsichtiges bernsteinfarbenes Glas entstanden – dieses ließ sich aber durch erneutes Einschmelzen unter Sauerstoffzufuhr entfärben. Interessanterweise behandelt Rezept § L (leider unvollständig) zukû-Glas „das aussieht wie Gold“.

### Farbiges Glas

In allen Rezepten geht es letztendlich um die Herstellung von farbigem Glas. Keines dieser Rezepte kann experimentell nachvollzogen werden, weil jedes entweder nicht identifizierbare Zutaten enthält, Gläser oder Pigmente unbekannter Zusammensetzung (z. B. anzahhu, busu, mekku, tuzkû), oder unvollständig überliefert ist. Halbwegs nachvollziehbar ist nur die Herstellung von tersitu-Glas aus 'slow copper compound' und zukû-Rohglas (§§ 2 und 5).

Einige Rezepte sind „nur“ reine Zutatenlisten. Andere geben detaillierte Anweisungen, wie zu verfahren sei. Generell beginnt jeder Arbeitsschritt damit, die Zutaten fein zu zerreiben, zu mischen und in einen Tiegel zu tun. Mal soll der Tiegel in einen heißen, mal in den kalten Ofen. Der Tiegelinhalt wird geschmolzen, dann entweder auf einen gebrannten Ziegel

oder in Wasser geschüttet. Dieses kann sich mehrfach wiederholen unter Zufügung weiterer Zutaten, gegebenenfalls sogar Quarz oder Pflanzenasche.

Der letzte Arbeitsschritt verläuft dann anders. In einigen Rezepten (§§ 7, 8, 12 und 18) kommt nun die tamšiltu-Form zum Einsatz: Das feingeriebene Glas aus dem letzten Zwischenschritt wird eingefüllt, geschmolzen und bis zu 7 Tage im heißen bzw. langsam auskühlenden Ofen belassen. Die Anweisungen der §§ 3 und 6 verlangen vom Glasmacher großes Geschick, denn er soll das geschmolzene Glas im heißen Ofen in einen neuen dabtu-Tiegel umfüllen, der dann samt Inhalt ebenfalls langsam im Ofen abkühlen wird. Das Auf-Ziegel-Schütten hat zu einiger Verwirrung geführt, u. a. der Deutung als Rezepte für Glasuren (GANZENMÜLLER 1939, 10). Die Anweisung anderer Rezepte, das heiße Glas in Wasser zu schütten (§§ 14, 15) oder (§ 13) das auf den Ziegel geschüttete Glas mit Wasser abzulöschen, machen aber die Intention klar: Die Glasmasse soll einen Temperaturschock bekommen und im nächsten Schritt einfacher zu zerreiben sein. Das Abschöpfen von geschmolzenem Glas in Wasser und das erneute Einschmelzen dient zudem wiederum der Qualitätsverbesserung und war/ist bis in die Neuzeit üblich (BECKER 1988/89, 44; GANZENMÜLLER 1936, 75).

### Rotes Glas

Eine technische Herausforderung stellt das Erschmelzen von opak rotem Glas dar, welches unter kontrollierter geringer Sauerstoffzufuhr erfolgen muss. Die Tricks sind eigentlich einfach – verschlossene Tiegel (§ 12) bzw. eine auf die Glasmasse gestreute Abdeckschicht (§ iii). Neben dem Umschlagen der Farbe durch zu viel drohte jedoch ein weiteres Problem, das Ausfällen von Kupfer bei zu wenig Sauerstoff (NEWTON 1980, 175;

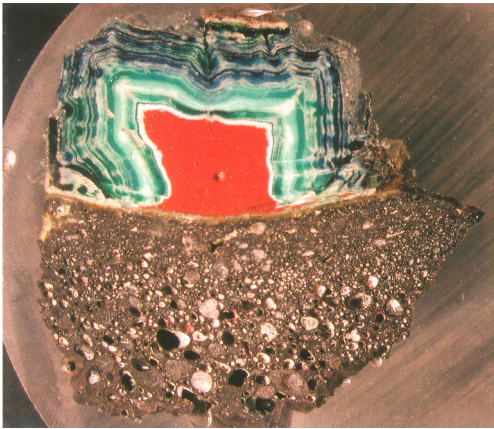


Abb. 6: Tiegelfragment mit anhaftendem rotem Glas aus Qantir. – Fragment of a crucible from Qantir with adherances of red glass .

MOOREY 1994, 214; REHREN, PUSCH 1997, 136-137; REHREN 1997, 364). Dabei war dem Glasmacher eine „Sichtkontrolle“ kaum möglich.

Generell gibt es in der Spätbronzezeit zwei verschiedene Sorten rotes Glas: eine „ältere“ Rezeptur ohne und eine „jüngere“ mit Blei im Glas. Bleiloses Rot ist dabei matter, bleihaltiges gleichzeitig leuchtender und einfacher herzustellen. Analytisch lässt sich das bleihaltige Rot erst seit dem frühen 1. Jahrtausend v. Chr. nachweisen (MOOREY 1994, 213f.); auch das rote Glas aus Qantir (Abb. 6) enthält kein Blei (REHREN, PUSCH 1997, 137). „Unsere“ Rezepte §§ I und Q für elamitisches Rot sowie – wichtiger – §§ i-iv für assyrisches, akkadisches und unbenanntes Rot enthalten Blei als Zutat. Letztere sind mittelbabylonisch und werden von OPPENHEIM (1988, 62) in das 14.-12. Jh. v. Chr. datiert.

#### Taktik der kleinen Schritte

Gemessen an den technischen Standards von heute wirken die Arbeitsabläufe der spätbronzezeitlichen Glasrezepte umständlich. Sehr umständlich. Zerreiben, schmelzen, zerreiben...

Natürlich taugen heutige Standards nicht zur Beurteilung von Arbeitsabläufen in der Spätbronzezeit. Die ersten Schwierigkeiten ergeben sich bei den Zutaten: Jede Charge Pflanzenasche ist chemisch anders zusammengesetzt als die davor. Gleiches gilt mit etwas Pech auch für das Quarzpulver. Ob und wie tauglich die Grundzutaten waren, zeigte sich erst bei der Verarbeitung selbst. Halbwegs kalkulierbar für den Glasmacher waren nur die Zwischenprodukte aus eigener Werkstatt – die Zutaten von anzahhu, busu, mekku, tuzkû, Augenschminke etc. aus fremder Hand mögen für ihn genauso rätselhaft gewesen sein wie für uns. Kleine Schritte, aus Erfahrung gewonnen, erlauben eine Zwischenkontrolle und eine Reaktion auf Fehlentwicklungen. Sie minimieren das Risiko eines Totalverlustes.

Glas ist kein einfaches Material, es hat Tücken!

#### Das Amarna-Experiment

Kehren wir kurz zurück zum Fritten der Zutaten. Neben den schon genannten positiven Effekten der Prozedur spielt hier das Problem der Volumina eine Rolle: Ein großer Haufen Pflanzenasche und Quarzpulver ergibt eine verhältnismäßig kleine Menge Glas. Was passiert, wenn dieser Faktor außer Acht gelassen wird, illustriert anschaulich ein Versuch von P. T. Nicholson in den späten 1990er-Jahren (NICHOLSON 1998; JACKSON, NICHOLSON, GNEISINGER 1998; NICHOLSON, JACKSON 2000). Bei neuen Ausgrabungen in Tell el-Amarna ab 1993 (NICHOLSON 1995; NICHOLSON 1996) deckte man u. a. zwei Öfen auf, einer durch starke Hitze innen partiell glasig verschlackt. Die Ausgräber vermuteten einen Zusammenhang mit Glasverarbeitung, allerdings ohne entsprechende Spuren an/in bzw. im direkten Umfeld der Öfen. Man befand sich mit der Ausgrabungsfläche allerdings nahe dem Bereich, der zu Zeiten von Flinders Petrie



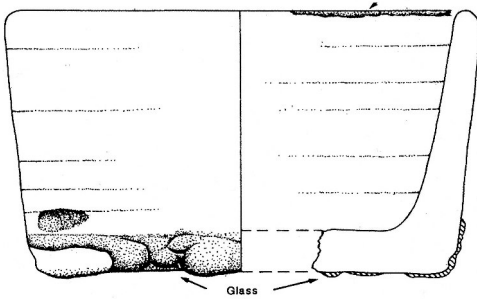


Abb. 7: Tiegel mit anhaftendem kobaltblauem Glas aus Tell el-Amarna. – Crucible from Tell el-Amarna showing traces of cobalt blue glass.

zahlreiche Belege für Fayence- und Glasbearbeitung erbracht hatte; auch 1993 kam einiges Material zum Vorschein. Die Öfen mit einem Innendurchmesser von ca. 1,5 m zeigten weder Spuren einer Lochplatte noch Spuren einer zusätzlichen Luftzufuhr. Man beschloss daher, einen Ofen an anderer Stelle nachzubauen und zu testen, ob er auf 1100/1150°C zu befeuern wäre. Dies gelang, unter Einsatz von 380 kg Brennholz.

Außerdem wollte man prüfen, ob man in diesem Ofen Glas herstellen könne, und zwar ohne irgendwelche Zwischenschritte. Hierzu wurden Amarna-Wüstensand und veraschter walischer Seetang gemischt und auf Tiegel verteilt. Diese bestanden aus modernem Hochtemperaturmaterial, eine hohe Form (Dm. 7,5 cm, H. 9 cm) und eine flache (Dm. 18,5 cm, H. 5,5 cm). Einen hohen Tiegel füllte man zusätzlich mit zerstoßenem Bierflaschenglas. Nach über 6 Stunden Befeuerszeit erreichte der Ofen eine Temperatur von 1150°C, eine Ofenbank brach zusammen, die darauf stehenden Tiegel stürzten ab. Der verbliebene hohe Tiegel mit Quarz-Asche-Mischung wurde inspiziert, wobei im unteren Bereich eine dunkle grau-grüne Masse mit zahlreichen Einschlüssen entstanden war und im oberen Bereich etwas, was optisch in etwa der 'blue frit' entsprach, die in Ägypten immer



Abb. 8: Tiegelfragment mit hochoverhitztem 'hotspot' vorne links. – Fragmented crucible with highly fired 'hotspot' in front on the left side.

wieder gefunden wird. Auch der Bierflaschentiegel wurde entnommen. Ein flacher Tiegel mit Quarz-Asche-Mischung verblieb über Nacht im abkühlenden Ofen. Sowohl der Bierflaschentiegel als auch der flache Tiegel enthielten ein weitgehend blasenfreies Glas guter Qualität. Das aus dem flachen Tiegel (man hatte eine Prise Kobalt zugefügt) war blau, und wird als „Barren“ bezeichnet (NICHOLSON 1998, 117). Dieser „Barren“ gilt fortan als Beweis, dass man das zeitraubende Fritten überspringen kann. „Barren“ in Anführungszeichen – das so gewonnene Glas hatte eine Dicke von ca. 1 cm (NICHOLSON, JACKSON 2000, 19; hier korrekterweise als 'thin layer' bezeichnet).

Tiegel, archäologisch

Sowohl in Tell el-Amarna als auch in Qantir-Piramesse wurden große Mengen an mehr oder minder großen Bruchstücken zylindrischer Tongefäße gefunden, die anhand anhaftender Glasreste als Glastiegel bestimmt werden können (REHREN 1997; REHREN, PUSCH 1997; NICHOLSON, JACKSON, TROTT 1997; REHREN,

PUSCH, HEROLD 1998; REHREN 2005; REHREN, PUSCH 2005; *Abb. 7-8*). Diese Gefäße bestehen aus Nilschlamm.

Bei der Durchführung des Amarna-Ofen-Versuchs wurde bewusst auf Nilschlamm-tiegel zugunsten moderner Hightech-Produkte verzichtet. Aus gutem Grund, denn Versuche von W. E. S. Turner 1954 zeigten, dass Gefäße aus Nilschlamm bei 1100°C weich werden und nach einer Stunde bei 1150°C zu einer schwarzen Masse verklumpen (NEWTON 1980, 176; REHREN, PUSCH 1997, 137). Idealerweise sollten sie maximal auf 1100°C, besser 1050°C erhitzt werden. Das macht ihre Verwendung als Glasschmelztiegel im Hochtemperatur-Bereich komplex.

Dabei setzt nicht nur die Temperatur den Tiegeln zu – auch das Glas selbst. Glas, und hier besonders das Rohglas der ersten Schmelze, ist aggressiv und kann große Schäden am Ofen anrichten, sollte es dem Tiegel entkommen. Es zerfrisst die Tiegelfwandung, macht sie instabil und erzeugt gleichzeitig einen starken Druck von innen. Runde, steilwandig-kegelförmige Formen mit flachem Boden halten dem am besten stand. Dabei darf der Ton möglichst wenig gemagert sein – das macht ihn widerstandsfähiger und er gibt dazu die Hitze besser weiter. Eine Schutzschicht gegen das Glas im Inneren ist sinnvoll. In neuzeitlichen Glashütten füllte man neue Tiegel mit Bruchglas, ließ es schmelzen und arbeitete sie leer; erst dann nutzte man die so glasierten Tiegel zur Rohglasschmelze (BECKER 1988/89, 17). Ob die „gebrauchten“ Tiegel der Glasrezepte ähnlich gebrauchsglasiert zu denken sind?

Die Tiegel aus Qantir und Amarna sind in Form und Magerung bestmöglich den Erfordernissen als Glasschmelztiegel angepasst. Innen sind sie mit einer Kalkschicht überzogen. An den Qantir-Tiegeln konnte im Kontaktbereich Kalk-Gefäßwandung eine dünne grüne Glasschicht beobachtet werden (REHREN 1997, 361). Diese ist aus

einer Reaktion des Kalks mit Salz und der Gefäßkeramik von selbst entstanden und schützte einerseits den Tiegel vor der Zersetzungskraft des Glases und andererseits das Glas vor chemischen Verunreinigungen (Eisen) aus der Tiegelfwand. Besonders gut an den Qantir-Tiegeln, aber auch am Amarna-Material, waren Spuren der Befuerung zu erkennen (REHREN 1997, 364-365; REHREN, PUSCH 1997, 137-140; NICHOLSON, JACKSON, TROTT 1997, 146; REHREN 2005, 534-537; REHREN, PUSCH 2005). Besonders hoch erhitzte Stellen, 'hotspots' im unteren Gefäßbereich zeigen, dass die Gefäße auf Lochplatten stehend genutzt worden waren. Konsequenterweise gab es weder Ruß- noch Holzkohlespuren. Die Temperaturunterschiede zwischen 'hotspots' und etwas weniger erhitzter Gefäßwandung dazwischen sorgte zwar einerseits für mehr Standfestigkeit, andererseits bildeten sich hier Mikrorisse, durch die Glas nach außen gesickert war. Vermutlich waren es diese Glasflecke, die seinerzeit Petrie irrtümlich haben vermuten lassen, die Gefäße hätten umgedreht als Untersatz für 'fritting pans' gedient (SCHWEIZER 2003, 100-105). Glastropfen außen, vom Rand heruntergelaufene Tropfen und durchgesickertes Glas unter dem Boden der Gefäße haben in mindestens einem Fall (Amarna) dazu geführt, dass Boden und Randlippe zweier Tiegel aneinander kleben. Dies wiederum führte zu der Idee, man habe die gefüllten Tiegel zum Abkühlen aufeinandergestapelt (NICHOLSON, JACKSON, TROTT 1997, 145). Dies ist aber technisch unmöglich. Vielmehr ist hier Rehren zu folgen, der die Tiegel bis an die Grenze des Stabilitätsbereichs erhitzt sieht und selbst ein einfaches Bewegen der heißen gefüllten Gefäße für unmöglich hält (REHREN 1997, 365).

Bemerkenswert ist, dass die Tiegel – verglichen mit Hochtemperatur-Glasschmelztiegeln anderer Zeiten, die oftmals verformt-zerflossen fast wie aus ei-

nem Dalí-Gemälde daherkommen – insgesamt erstaunlich gut erhalten sind. Dies mag aber schlicht an der im Bild publizierten Auswahl der Fragmente liegen. Stark blasig-verschlackte Stücke kommen in Qantir definitiv vor sowie mindestens ein 'collapsed crucible' mit blauem Glas darin (REHREN 1997, 361).

#### Glaserstellung in der Spätbronzezeit

Man nehme: Pflanzenasche und Quarz, reibe beides fein, mische es, fritte es bei mäßigen Temperaturen. Vielleicht mit Gefäß (in Qantir genommen: Bierkrüge; REHREN, PUSCH 2005, 1757), vielleicht ohne. Man reinige die Fritte, tue sie in einen Tiegel, lasse die Masse bis zur Gelbglut schmelzen, schrecke das frisch erschmolzene Rohglas ab. \* Feinreiben, mit weiteren feingeriebenen Zutaten mischen, in einen Tiegel tun, schmelzen, abschrecken. Dem Zwischenprodukt einen eigenen Namen geben, sollte es noch keinen tragen. Ggf. ab \* wiederholen.

Dann: fein reiben, in eine Form tun, schmelzen. Oder: fein reiben, in einen Tiegel tun, schmelzen, Tiegelinhalt im Ofen in einen neuen Tiegel umfüllen. Form bzw. Tiegel im Ofen belassen, irgendwann Ofen mit Inhalt auskühlen lassen. Form/Tiegel aus dem Ofen holen, Tongefäß zerschlagen, Glasbarren entnehmen. Fertig.

Ab dem \* kommt – neben dem Vorteil, fast volle und nicht fast leere Tiegel zu produzieren – ein weiterer Pluspunkt der Kleine-Schritte-Taktik zum Tragen: Die nun folgenden Schmelzprozesse benötigen weniger Hitze und weniger Brennmaterial, denn „fertiges“ Glas hat einen deutlich niedrigeren Schmelzpunkt als die Rohmaterialien alleine (deshalb genügt für den letzten Schmelzvorgang in § 7 der 4-Augen-Ofen). Ab dem \* können viel weniger Dinge schiefgehen, wirklich kritisch sind Schmelzgänge im Hochtemperaturbereich. Tiegel können kollabieren, Öfen



Abb. 9: Auswahl gut erhaltener Glasbarren aus dem Wrack von Ulu Burun. – Some well-preserved glass ingots from the Ulu Burun ship-wreck.



Abb. 10: Glasbarren (opak rotes Glas mit grüner Korrosionsschicht) aus Qantir. – Glass ingot (red glass corroded green) from Qantir.

zusammenbrechen. Dazu kommt die Gefahr der Verglasung: Wird Glasmasse zu lange zu hoch erhitzt, kristallisiert sie aus und wird unbrauchbar.

Heute findet keine Rohglasschmelze ohne einen gewissen Anteil an Altglas statt. Dieses beschleunigt die chemisch-physikalischen Reaktionen und spart viel Energie. Diesen Effekt kannten die Glasma-



cher der Spätbronzezeit anscheinend noch nicht.

Man wird kaum fehlgehen, die tamšiltu-Formen des letzten Schmelzanges der §§ 7, 8, 12 und 18 ähnlich den Tiegeln von Qantir und Amarna zu rekonstruieren. Erhaltene Glasbarren aus Ulu Burun und Qantir (ULUBURUN 2005, Kat. 62-79 und S. 538; *Abb. 9-10*) entstanden in vergleichbaren Formen. Schwieriger zu beurteilen sind die dabtu-Tiegel. Stimmt die pi-mal-Daumen-Größenschätzung, sind zumindest einige deutlich größer (faktisch in etwa so groß wie ihre „Berufskollegen“ des frühen 2. Jt. n. Chr.). Vielleicht erklärt sich so das Umfüllen der § 3 und 6 und das fertige Farbglas wird auf kleinere Einheiten verteilt. Dieses Umfüllen (wie auch das In-Wasser-Schütten an anderer Stelle) wird eher mit einer Kelle als durch Anheben und Kippen des Tiegels zu denken sein.

Für Qantir schlagen REHREN und PUSCH (2005, 1756) ein ständiges Nachfüllen von pulverisierten Zutaten während des Schmelzvorgangs vor und deuten eine ganze Reihe nachträglich an Tiegel angetöpferte Randverlängerungen als eine Art Trichter. Qantir produzierte aber überwiegend opak rotes Glas (Redox-Atmosphäre!), außerdem fehlen Glaströpfchen o. ä. von verschüttetem Pulver auf diesen Verlängerungen. Vielleicht dienten sie also eher zum Verschließen der Tiegel.

#### Glaswerkstätten in der Spätbronzezeit

Zu diesem Thema könnte man vieles sagen, was aus Platzgründen (die Redaktion wird mich sowieso schon hassen) unterbleiben muss – wer es wann wo erfunden hat, oder was unterschiedliche glasartige Materialien wie Glas, Glasur, Ägyptisch Blau etc. voneinander unterscheidet, was chemische Analysen verraten oder wie die für diese Zeit typischen farbenfrohen Glasgefäße gemacht sind.

Hier also nur einzelne ausgewählte Aspekte:

Wichtig – nicht nur für die späte Bronzezeit – ist, sauber zu unterscheiden zwischen: A) Werkstätten, die Rohglas aus Rohmaterialien erschmelzen. B) Werkstätten, die Rohglas einfärben bzw. veredeln. C) Werkstätten, die Farbglas verwenden, z. B. für Perlen oder Glasgefäße. ABC-Werkstätten können zusammengehören, 500 m oder auch 500 km auseinanderliegen. A-Werkstätten benötigen mindestens einen Hochtemperaturofen, für B-Werkstätten genügt eine einfachere Konstruktion. C-Werkstätten kommen im Extremfall mit einem Öllämpchen und einem Pusterrohr aus. Im Umfeld von A- und B-Werkstätten wäre eine Tiegeltöpferei zu erwarten, außerdem massive Reibvorrichtungen. Um A- und B-Werkstätten herum wäre viel Tiegelbruch zu finden, während die C-Werkstatt ihr Rohmaterial als „nackte“ Barren aus B-Werkstätten bezieht. Der Weg von A zu B bzw. von B1 zu B2 ist schwieriger nachzuvollziehen; Funde von farblosem Glas sind selten. Rohglas und Zwischenprodukte (zukû, busu, tersitu, anzahhu & Co.) könnten bröckelig in Amphoren oder Säcken verpackt auf die Reise gegangen sein.

Die spätbronzezeitliche C-Werkstatt arbeitet mit im Feuer erhitzten Glasbrocken, und nicht aus einem Tiegel mit geschmolzenem Glas heraus. Auch neuzeitliche Perlenmacher tun dies, nur dass sie ihr Glas nicht mit einer Zange halten, sondern mit der Hand, weil die benutzten Barren bleistift dick und 1 Meter lang daher kommen. Ein dem Perlenmacher aus leidiger Erfahrung vertrautes Problem bleibt in der Literatur unbenannt: das der Kompatibilität von Gläsern aus unterschiedlichen Werkstätten. Nur Gläser, die den gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben, lassen sich miteinander kombinieren, andernfalls kommt es zu Bruch. Der chemische Fingerabdruck ägyptischer

und vorderasiatischer Gläser des 14. und 13. Jhs. v. Chr. ist sehr ähnlich – gut für die spezialisierten C-Werkstätten. Ob diese Einheitlichkeit durch gleiche Rezepturen, gleiche Rohmaterialien oder die Grundversorgung mit Rohglas aus nur wenigen A-Werkstätten zustande kam, bliebe zu klären. Hier wird auch die Frage berührt, wann und warum nicht früher ägyptische A-Werkstätten (wie Qantir mit Sicherheit eine war) von Pflanzenasche-Quarz auf Soda-Sand-Rezepturen umgestiegen sind.

In den Glasrezepten scheinen Traditionen unterschiedlicher Werkstätten bzw. Glasmachermeister aufzuscheinen. In die gleiche Richtung weisen die Befunde aus Amarna und Qantir – letzteres auf rotes, ersteres auf kobaltblaues Glas spezialisiert. Weitere Werkstätten könnten weißes, gelbes, schwarzes Glas produziert haben. Das Ergebnis waren Edelsteine aus dem Ofen, (fast) genauso wertvoll wie das Pendant aus dem Berg (einführend hierzu SCHWEIZER 2003; ULUBURUN 2005).

C-Werkstätten bezogen Glasbarren aus unterschiedlichen B-Werkstätten. Einzelne Barren liegen aus verschiedenen Fundorten vor (PULAK 2005, 69), wichtigster Fund ist natürlich das Wrack von Ulu Burun (ULUBURUN 2005). Einige der Barren entsprechen in Farbe und Form so gut den Tiegeln aus Amarna, dass eine Herkunft der kobaltblauen Uluburun-Barren aus Amarna impliziert wird (NICHOLSON, JACKSON, TROTT 1997, 151). Es gibt jedoch einen kleinen, aber bedeutsamen Unterschied: Das Amarna-Blau enthält Antimon, die Uluburun-Barren dagegen nicht (PULAK 2005, 71). Antimon wird u. a. zur Trübung des Glases eingesetzt und findet sich regelhaft bei Analysen, jedoch nur zwei- oder dreimal in den Glasrezepten (§ 19, O, evtl. N). Das Glas der Uluburun-Barren ist durchsichtig. Die Glasobjekte dieser Zeit bestehen jedoch aus undurchsichtigem Glas – bevor ein C-Meister aus diesem Glas Einlagen oder Perlen

hätte fertigen können, hätte man es eintrüben müssen. Die Uluburun-Barren sind also eher ein Zwischen- als ein Endprodukt und waren vielleicht unterwegs zu einer Antimon-Beimischungs-B-Werkstatt. Der Kleinteiligkeit und Spezialisierung der einzelnen Arbeitsabläufe der Farbglasherstellung scheint die Spezialisierung einzelner Werkstätten auf einzelne Farben bzw. einzelne Veredelungsschritte zu entsprechen. Ein hervorragend organisiertes Distributionsnetz sorgte dafür, dass C-Werkstätten unterschiedlichster Art mit dem nötigen Farbglas versorgt wurden.

### Urnenfelderzeitliches Glas in Mitteleuropa

Kehren wir zum Ausgangspunkt zurück – urnenfelderzeitliche Glasperlen. Übersichtliche Formenvielfalt (im Wesentlichen 3 Typen), übersichtliche Farbgestaltung (im Wesentlichen 2 Farben). Mehrere Fundorte von C- und B-Werkstätten in Norditalien (BELLINTANI 2000; TOWLE U. A. 2001; BELLINTANI, CESARETTO, RESIDORI 2003; ANGELINI U. A. 2003). So weit, so gut. Nun wird es interessant: Die chemische Zusammensetzung der meisten analysierten Perlen zeigt, dass das verarbeitete Glas mitteleuropäisch-einheimisch ist. Auch dieses trübte man ein, allerdings nicht mit Antimon, sondern durch einen Trick. Sandkörner, dem heißen Glas zugefügt, brechen das Licht und lassen das Glas undurchsichtig(er) erscheinen (TOWLE U. A. 2001, 25). Die aus diesem Glas gefertigten Perlen zeigen oft einen Kern, der gesintert erscheint.

Gelegentlich werden diese Perlen für Fayence gehalten (GRATUZE U. A. 2013, 39), was aber falsch ist. Fayence (bzw. richtiger Quarzkieselkeramik oder Archäofayence) besteht zwar aus den gleichen Rohzutaten wie Glas, wird aber mit Wasser knetfähig gemacht, kalt geformt, getrocknet und dann gebrannt. Die fraglichen Perlen jedoch wurden heiß geformt,

bestehen also aus Glas. Die in Norditalien verarbeitete Glasmasse scheint aber den chronologisch älteren, ebenfalls in dieser Region gefertigten Fayenceperlen so ähnlich (GRATUZE u. A. 2013, 25), dass sich die Glasmacherei hier wohl aus der Fayenceproduktion entwickelt hat. Wie eng Fayence und Glas zusammenhängen können, mag folgendes Rezept illustrieren: „Nimm auf jedes Pfund des Alauns ein Pfund kalzinierten fein gepulverten Kristall, verrühre es miteinander ganz allmählich zu einem Teig und mach schnell Kugeln daraus wie ein Ei und mach sie so schnell du kannst und laß sie an der Sonne trocknen, und wenn sie trocken sind, leg sie in den Reverberierofen, der ganz rein sein soll und hüte dich wohl, daß im Ofen kein Metallrauch sei; und dann gib zuerst kleines Feuer eine Stunde lang und dann verstärke es, daß die Kugeln rot und schwarz werden, aber mehr schwarz; und dann verstärke das Feuer ein wenig mehr, daß sie mehr rot als schwarz werden; und das laß drei Stunden lang anhalten.' In derselben Umständlichkeit geht die Anweisung weiter über 'schön rot' (wieder drei Stunden Feuer) zur Weißglut. Dann nimmt man sie aus dem Ofen, legt sie in einen neuen, sauberen Topf aus terra di Valenza 'in einen schön weißen Ofen', läßt sie schmelzen und zwei Tage lang affinieren. Dann erfolgt der erwünschte Farbzusatz.“ (GANZENMÜLLER 1936, 75.). Ein italienisches Rezept aus einer Florentiner Sammlung, aus dem 14. Jh. – nach (!) Christus.

## Schluss

Es ist kaum vorstellbar, dass die mitteleuropäischen Glasmacher weniger Probleme mit Temperaturen, Tiegeln und Rohstoffen gehabt haben sollen als ihre Kollegen aus dem Ostmitteleerraum. Dabei geben die Rezepte wertvolle Einblicke in den Technologie-Standard der Zeit. Die Rezepte versammeln Expertenwissen –

wo Angaben zu Abläufen gemacht werden, handelt es sich um sehr taugliche Ansätze, mit den Unsicherheiten der Zusammensetzung der Zutaten, den Schwierigkeiten der Temperaturkontrolle in den Öfen und den Materialeigenschaften der Tiegel umzugehen bei größtmöglicher Risikominimierung. Viele der genannten Prozeduren waren bis in die frühe Neuzeit üblich bzw. sind es noch heute. Lückenhaftigkeit in der Beschreibung von Prozeduren ist ein Charakteristikum von Rezeptliteratur quer durch alle Zeiten inklusive der eigenen Keks-Back-Kladde. Dazu kommen spezifische Probleme – der Edelstein, die Farbe des Edelsteins und das Glas, welches Stein oder Farbe nachahmt, tragen den gleichen Namen. Ob Stein, Farbe oder Glas gemeint sind, muss aus dem Kontext einer Schriftquelle erschlossen werden, was natürlich mühsam ist und nicht immer sicher gelingt. Die Bewertung der Texte als "'useless' for reconstructing ancient methods and recipes" und "far removed from practical knowledge" (MOOREY 1994, 210-211) ist jedenfalls völlig unangebracht.

## Rezepte

Wenn du zagindurû-farbiges Glas machen willst...

"If you want to produce zagindurû-colored glass, you grind finely, separately, 10 minas of immanaku-stone, 15 minas of naga-plant ashes and 1 ⅔ minas of 'white plant'. You mix (these) together. You put (them) into a cold kiln wich has four eyes (openings) and arrange (the mixture) between the (four) eyes. You keep a good and smokeless fire burning until the 'metal' (molten glass) becomes fritted. You take it out and allow it to cool off. You grind it finely again. You collect (the powder) in a clean dabtu-pan. You put (it) into a cold chamber kiln. You keep a good and smokeless fire burning until it (the



'metal') glows golden yellow. You pour it on a kiln-fired brick and this is called [zukû-glass].

You place 10 minas of 'slow' copper-compound in a clean dabtu-pan. You put (it) into a hot chamber kiln and close the door of the kiln. You keep a good and smokeless fire burning until the copper compound glows red. You crush and grind finely 10 minas of zukû-glass. You open the door of the kiln and throw (the ground glass) upon the copper compound [and close the door of the kiln again]. As soon as the zukû-glass becomes mixed into the surface of the copper compound [and the copper compound settles underneath the 'metal'] you stir it a couple of times with the rake until you see some drops (of liquid glass form) at the tip (of the rake). When the 'metal' assumes the color of ripe (red) grapes, you keep it boiling (for a time). (Then) you pour it (the 'metal') on a kiln-fired brick. This is called tersitu-preparation.

You collect 10 minas of tersitu-preparation, 10 minas of busu-glass, as much sifted naga-plant ashes as is needed,  $\frac{2}{3}$  minas of 'white stuff', 1  $\frac{2}{3}$  minas of washed (cleaned) anzahhu-glass in a new dabtu-pan. You put (it) into a kiln which has four eyes (openings) and place it on a stand. [The base of the dabtu-pan must not touch the (bottom of the) kiln.] You keep a good and smokeless fire burning [so that the flames come out of the openings]. As soon as your mixture is melted you allow it to cool off. You take it out of the kiln and grind (it) finely. [You collect (the powder) in a clean dabtu-pan.] You put it into a cold chamber kiln. You keep a good and smokeless fire burning. Not until the 'metal' glows red do you close the door of the kiln. [After it has become red you [clo]se the door of the kiln and stir it once 'towards you' (with the rake) until it becomes yellow (hot). After it

has become yellow (hot), you observe some drops (forming on the tip of the rake). If the "metal" is homogeneous (without bubbles) you pour it (inside the kiln) in a new dabtu-pan, and out of the cooled-off kiln emerges zagindurû-colored glass."

... und aus dem Ofen kommt zagindurû-farbiges Glas.

Glasrezept aus Ninive (668-627 v. Chr.), OPPENHEIM 1970/21988, §§1-3

(): Ergänzungen Oppenheim zur Erklärung/Verdeutlichung

[]): Version, die nur in einer der beiden Kopien auftaucht (nur tablet A oder tablet B)

How to produce red stone glass...

"For each mina of zukû-glass (you take) ten shekels of lead, fifteen shekels of copper, half a shekel of anzahhu-glass (and half a shekel) of antimony. This is the material for Assyrian red-stone glass.

For each mina of zukû-glass (you take) one-sixth (shekel) of lead, ten shekels of copper, one shekel of antimony, one shekel of anzahhu-glass. This is the material for Akkadian red-stone glass.

(While each of these two batches is melting in their crucibles) you remove (them) twice (from the immediate heat of the fire). When you take it out the third time you throw on it hashaltu and you take it completely out (of the kiln), but you pour it again (into another crucible) and it should come (again) to a boil, and if it (looks like) parutu-stone when you inspect the product (literally: the baked mass) do not worry. You take equal parts of the Assyrian and Akkadian red-stone glasses and let them fuse into each other and after you have let them fuse into each other and it (the glass) is (still) hot, you pour into the fused mass, for each mina,

one and one half shekels of zukû-glass, seven and one half shekels of anzahhu-glass, seven and one half shekels of copper, seven and one half shekels of lead (all of) which you have ground finely in one Operation. You remove (the batch composed of all these constituents) only once (from the immediate heat) and then take it out (of the kiln) and allow it to cool off. (During this Operation) the (smoke produced?) should be ..... and clear and your fire should be going strong (literally: high). You pour (the mixture into another crucible) and scatter on it 'cumin-seed'-stone and ..... You test the glass (as to its viscosity) with the tip of your tongs and lower and raise (?) (the crucible as it is necessary). (Then) you allow the product to cool off. You inspect it and if the dipu-holes (show) parutu-texture/color do not worry (because) inside the clay cover is indeed red-stone glass.

If (with) this red-stone glass inside the clay cover, 'copper dust' and 'copper exudation' form, you mix into it ten shekels of zukû-glass, one-twelfth (shekel) of copper, one-twelfth of lead, one-twelfth of anzahhu-glass - (but) do not bring in any antimony - per mina (of glass) and (then) inspect it. During the mixing-in you do ..... and (then) you remove it.

According to Lē'e-kali-dŠÀ.Zu, son of Ussur-an(a)-dMarduk, scribe of Marduk, a native of Babylon.

Month AB.È, 24th day, year (after that in which) Gulkišar (became) king."

... inside the clay cover is indeed red-stone glass

mittelbabylonisches Glasrezept (14.-12. Jh. v. Chr.), OPPENHEIM 1970/<sup>2</sup>1988, §§ i-iv (:): Ergänzungen Oppenheim zur Erklärung/Verdeutlichung

## Literatur

**ANGELINI, I., U. A. 2003:** Project "Glass materials in the protohistory of North Italy": a first summary. In: Atti del II Congresso nazionale di Archeometria, Bologna 2002. Bologna 2003, 581-595.

**BECKER, H. 1988/89:** Waldglas aus dem Oberpfälzer Wald. Untersuchungen in einer Glashütte des 17. Jhs. bei Altglashütte, Lkr. Tirschenreuth. Unpubl. Magisterarbeit Universität Bamberg. Göttingen 1988/89.

**BELLINTANI, P. 2000:** I bottoni conici ed altri materiali vetrosi delle fasi non avanzate della media de Bronzo dell'Italia settentrionale e centrale. Padusa XXXVI, 2000, 95-107.

**BELLINTANI, P., CESARETTO, M., RESIDORI, G. 2003:** Progetto "I materiali vetrosi". Archeologie Sperimentali. Trento 2003.

**BRILL, R. H. 1988:** The Chemical Interpretation of the Texts. In: A. von Saldern u. a., Glass and Glassmaking in ancient Mesopotamia. Corning 1970, Reprint 1988, 105-130.

**GANZENMÜLLER, W. 1936:** Hüttengeheimnisse der italienischen Glasmacher des Mittelalters. Glastechnische Berichte 14, 321, 1936, 71-84.

**GANZENMÜLLER, W. 1939:** Glassätze vor 3000 Jahren. Die Glashütte 1939/1, 6-10.

**GRATUZE, B., U. A. 2013:** Les perles en faïence et en verre de l'âge du Bronze: contextes archéologiques et analyses pour l'Alsace et la Lorraine. Cahiers Alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire 2013, 21-45.

**JACKSON, C. M., NICHOLSON, P. T., GNEISINGER, W. 1998:** Glassmaking at Tell el-Amarna: an integrated approach. Journal of Glass Studies 40, 1998, 11-23.

**MOOREY, P. R. S. 1994:** Ancient Mesopotamian Materials and Industries. The Archaeological Evidence. Oxford 1994.

**NEWTON, R. G. 1980:** Recent Views on ancient glasses. Glass Technology 21/4, 1980, 173-182.

- NICHOLSON, P. T. 1995:** Glassmaking and glassworking at Amarna: some new work. *Journal of Glass Studies* 37, 1995, 11-19.
- NICHOLSON, P. T. 1996:** New evidence for glass and glazing at Tell el-Amarna (Egypt). In: *Annales du 13e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre 1995*. Lochem 1996, 11-19.
- NICHOLSON, P. T. 1998:** 'Kind of Blue': Glass of the Amarna Period replicated. In: P. McCray, W. D. Kingery (Hrsg.), *The Prehistory & History of Glassmaking Technology. Ceramics and Civilization VIII*. Westerville 1998, 105-120.
- NICHOLSON, P. T., JACKSON, C. M., TROTT, K. M. 1997:** The Ulu Burun Glass Ingots, Cylindrical Vessels and Egyptian Glass. *The Journal of Egyptian Archaeology* 83, 1997, 143-153.
- NICHOLSON, P. T., JACKSON, C. M. 2000:** Tell el-Amarna and the Glassmakers' Workshop of the Second Millennium BC. In: M.-D. Nenna (Hrsg.), *La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge*. *Travaux de la Maison de l'Orient Méditerranéen* 33. Lyon 2000, 11-21.
- OPPENHEIM, A. L. 1988:** The Cuneiform Texts. In: A. von Saldern u. a., *Glass and Glassmaking in ancient Mesopotamia*. Corning 1970, Reprint 1988, 2-104.
- PIERER'S UNIVERSAL-LEXIKON 1857-1865:** DVD-ROM-Ausgabe. Digitale Bibliothek 115. Berlin 2005 (4. Auflage).
- PULAK, C. 2005:** Das Schiffswrack von Ulu Burun. In: *Das Schiff von Uluburun. Welthandel vor 3000 Jahren*. Bochum 2005, 55-102.
- REHREN, T. 1997:** Ramesside Glass-colouring crucibles. *Archaeometry* 39/2, 1997, 355-368.
- REHREN, T. 2005:** Der Handel mit Glas in der Spätbronzezeit. In: *Das Schiff von Uluburun. Welthandel vor 3000 Jahren*. Bochum 2005, 533-539.
- REHREN, T., PUSCH, E. B. 1997:** New Kingdom glass-melting crucibles from Qantir-Piramesses. *The Journal of Egyptian Archaeology* 83, 1997, 127-141.
- REHREN, T., PUSCH, E. B., HEROLD, A. 1998:** Glass coloring works within a copper-centered industrial complex in Late Bronze Age Egypt. In: P. McCray, W. D. Kingery (Hrsg.), *The Prehistory & History of Glassmaking Technology. Ceramics and Civilization VIII*. Westerville 1998, 227-250.
- REHREN, T., PUSCH, E. B. 2005:** Late Bronze Age Glass Production at Qantir-Piramesses, Egypt. *Science* 308, June 2005, 1756-1758.
- SCHWEIZER, F. 2003:** Glas des 2. Jahrtausends v. Chr. im Ostmittelmeerraum. Remshalden 2003.
- STERN, E. M., SCHLICK-NOLTE, B. 1994:** Frühes Glas der Alten Welt 1600 v. Chr. - 50 n. Chr. Sammlung Ernesto Wolf. Stuttgart 1994.
- v. STROMER, W. (Hrsg.) 1984:** Technik des Kunsthandwerks im zwölften Jahrhundert. Des Theophilus Presbyter *Diversarum Artium Schedula*, übersetzt und erläutert von W. Theobald. *Klassiker der Technik*. Düsseldorf 1984.
- TOWLE, A., u. A. 2001:** Frattesina and Adria: Report of scientific analyses of early glass from the Veneto. *Padusa XXXVII*, 2001, 7-68.
- TURNER, W. E. S. 1954:** Studies in Ancient Glasses and Glassmaking Processes. Part I: Crucibles and Melting Temperatures Employed in Ancient Egypt at about 1370 BC. *Journal of Glass Studies* 38, 1954, 183; 436-444.
- TURNER, W. E. S. 1956a:** Studies in Ancient Glasses and Glassmaking Processes. Part III: The chronology of the glass-making constituents. *Journal of Glass Studies* 40, 1956, 39-52.
- TURNER, W. E. S. 1956b:** Studies in Ancient Glasses and Glassmaking Processes. Part IV: The chemical composition of Ancient glasses. *Journal of Glass Studies* 40, 1956, 162-186.
- TURNER, W. E. S. 1956c:** Studies in Ancient Glasses and Glassmaking



Processes. Part V: Raw Materials and Melting Processes. Journal of Glass Studies 40, 1956, 277-300.

**ULUBURUN 2005:** Das Schiff von Uluburun. Welthandel vor 3000 Jahren. Katalog zur Ausstellung. Bochum 2005.

#### Abbildungsnachweis

Abb. 1: nach OPPENHEIM 1988, Plate 3

Abb. 2: nach OPPENHEIM 1988, Plate 4

Abb. 3: nach SCHWEIZER 2003, 72, ergänzt

Abb. 4: nach SCHWEIZER 2003, 75

Abb. 5: nach ULUBURUN 2005, 680-681

Abb. 6: nach REHREN 2005, 537

Abb. 7: nach SCHWEIZER 2003, 109

Abb. 8: nach REHREN 2005, 535

Abb. 9: nach ULUBURUN 2005, 20

Abb. 10: nach REHREN 2005, 538

#### Autorin

Dr. Maren Siegmann

Hutgasse 3

79588 Efringen-Kirchen

Deutschland

maren.siegmann@arcor.de

#### Museum in der „Alten Schule“

Dr. Maren Siegmann

Nikolaus-Däublin-Weg 2

79588 Efringen-Kirchen

Deutschland

museum@efringen-kirchen.de