



Abb. 2018-1/24-01; (Maßstab ca. 60 %)

Türkis-blaue Kopfstütze aus dem Grab von Tutanchamun, Inschrift / Kartusche mit Namen Tutanchamun
H 18,5 cm, B 28,1 cm, Tiefe 8,7 cm

Ägyptisches Museum Kairo, Inv.Nr. JdE 62022 (Foto: Ch. Eckmann, RGZM); aus JGS 2017-59, S. 377, Fig. 1

Katja Broschat, Thilo Rehren

Die Kopfstützen von Tutanchamun aus Glas, 1332-1323 v.Chr.

[Auszug aus *Journal of Glass Studies* 2017-59, s. 377-380; *The Glass Headrests of Tutankhamen*
 Übersetzung aus dem Englischen SG]

Unter den vielen spektakulären Funden aus dem **Grab von Tutanchamun** befinden sich **2 Kopfstützen aus Glas**, die eine **türkis-blau** und die andere **dunkelblau** [1]. Beide sind von **Reisner Typ II-1** [2], mit einer kurzen Basis und einem einzelnen Stiel oder einer Säule, die die längliche rechteckige Basis oder den Fuß mit dem sichel-förmigen oberen Teil verbindet. Die Basen sind etwa 28 x 10 Zentimeter und am Rand knapp 1 cm dick; die Höhe der Kopfstützen beträgt etwa 18 cm, nahe der Breite des sichel-förmigen oberen Teils.

Während die Kopfstützen in Größe und Form ähnlich sind, **unterscheiden sie sich nicht nur in der Farbe, sondern auch in den Details ihrer Herstellung und Dekoration** sowie in ihrer Geschichte der Nachgrabung. Dieser Bericht enthält einige Beobachtungen, die auf **Analysen** dieser Kopfstützen basieren, die im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts durchgeführt wurden, das durch die **jüngste Restaurierung der Goldmaske von Tutanchamun** ausgelöst wurde [3].

Danksagung. Wir sind dem **ägyptischen Ministerium für Altertümer** für die Genehmigung unserer Forschung und dem Ägyptischen Museum, insbesondere Frau **Hala Hassan**, sehr dankbar, dass sie uns Zugang zu den Funden gewährt haben. Die Hilfe von **Dr. Myrto Georgakopoulou** und **Dr. Stavroula Golfomitsou** während der **Analysen** wird dankbar anerkannt.

[1] Das **Grab** enthielt **mehrere Kopfstützen**, darunter eine **dunkelblaue aus Fayence** (Carter 403b, JE 62021), eine Miniatur aus **Meteoreisen** (Carter 256,4v, JE 61869) und einige aus **Elfenbein** (Carter 403c JE 62020; Carter 403d, JE 62023) und **Holz** (Carter 021c; Carter 101o, JE 62025; Carter 547d, JE 62026; Carter 548a, JE 62027).

Illustrationen und Informationen zu den Objektkarten aller Kopfstützen finden Sie in der sehr hilfreichen offenen **Datenbank des Griffith Institute, Universität Oxford**
 (www.griffith.ox.ac.uk/griffith.html)
 (www.griffith.ox.ac.uk/discoveringTut/)

Zu den **Kopfstützen aus Elfenbein und Fayence** siehe auch Anmerkung 4 und Thomas Garnet Henry James, Tutanchamun, Kairo: The American University in Cairo Press, 2000, S. 300-301. Für die Miniatur **Kopfstütze aus Meteoreisen**, siehe z.B., Howard Carter, Das Grab von Tut-Ankh-Amen, entdeckt von dem späten Earl of Carnarvon und Howard Carter, V. 2, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1933, S. 109-110, pl. LXXVII; und Florian Strobele und andere, Die Eisenobjekte von Tutanchamun, in Jahrestagung an der Georg-August-Universität Göttingen, 28. September bis 1. Oktober 2016, hrsg. Susanne Greiff und andere, Archäometrie und Denkmalpflege, 2016, Metalla [Bochum], V. 8, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2016, S. 186-189

Die Kopfstützen

Die **opake türkis-blaue Kopfstütze** besteht aus **Ober- und Unterteil**; das Gelenk ist mit einem dünnen **Goldband** in der Mitte des Stiels bedeckt (Abb. 1 / Abb. 2018-1/24-01). Optisch scheinen beide Teile in der **Farbe und Glasqualität identisch** zu sein, mit einer deutlichen **Braunverfärbung**, die große Teile der Oberfläche beider Hälften betrifft, die an das unregelmäßige Aussehen des geflickten Fells einer Kuh erinnern. Eine alte Reparatur ist an der Basis sichtbar, wo ein Chip abgebrochen wurde und in der Antike wieder angebracht wurde [4].

Die **dunkelblaue Kopfstütze** besteht aus einem **einzigem Stück lichtdurchlässigem** Glas und ist damit eines der **größten Objekte**, die bis jetzt aus der **späten Bronzezeit** bekannt sind (Abb. 2 / Abb. 2018-1/24-02) [5]. Es ist fast makellos erhalten, mit einem durchgehenden **Band aus Gold**, das den Rand des oberen Teils schmückt, und gut ausgeführten **ingeritzten Inschriften** auf dem zentralen Stamm. Die einzigen Unvollkommenheiten sind 3 anscheinend alte Lückenfüllungen. Die größte davon ist ein kreis-förmiger Einsatz (D rund 5 cm) an der Unterseite der Basis; 2 kleinere unregelmäßige Füllungen befinden sich auf einer Seite des oberen Teils. Die Einsätze sind ebenfalls **transparentes blaues Glas**, aber sie haben vom Hauptkörper verschiedene Farbtöne, wobei der größere Einsatz dunkler und der kleinere heller blau ist.

Zusammensetzung [Composition]

Beide Kopfstützen wurden an mehreren Punkten unter Verwendung eines tragbaren **Röntgenfluoreszenzgeräts** analysiert und erhielten quantitative Daten für die in **Tabelle 1** angegebenen Elemente [6]. Das Glas entspricht der bekannten Zusammensetzung von **Glas mit Pflanzenasche** der **späten Bronzezeit**, mit **Kupfer** als Hauptfarbstoff und für das **türkis-blaue** Glas mit **Antimon** als Trübungsmittel. Die **Abwesenheit von Kobalt** in der dunkelblauen Kopfstütze und der insgesamt relativ **geringe Gehalt von Kupfer** im Vergleich zu anderen **blauen Gläsern des Neuen Reichs** sind bemerkenswert. Die niedrigen Kupferwerte können zum Teil auf Kalibrierungs- und Analyseprobleme zurückzu-

führen sein, während die Farbe der dunkelblauen Kopfstütze durch die Dicke des Glases vertieft wird.

Die **kreis-förmige Lückenfüllung** an der Unterseite der dunkelblauen Kopfstütze weist einen deutlich **höheren Gehalt von Kupfer** auf als der Hauptkörper, was zu einer dunkleren Farbe der Füllung führt (Abb. 3 / Abb. 2018-1/24-03). Dieser höhere Kupfergehalt geht mit einem **höheren Zinngehalt** einher, der in einem Verhältnis von etwa **10:1 Kupfer zu Zinn** vorliegt. Dieses Verhältnis ist **typisch für Bronze der Bronzezeit**, die wahrscheinlichste Quelle für den hier verwendeten Farbstoff. Die Konzentrationen der anderen analysierten Elemente unterscheiden sich nur geringfügig zwischen dem Hauptkörper und der Füllung, was darauf hindeutet, dass die **Füllung aus einer separaten Schmelze** hergestellt wurde, aber in der gleichen Glasmachertradition des **Neuen Reichs**.

- [2] George A. Reisner, Ausgrabungen bei Kerma, P 4/5, Harvard African Studies, V. 6, Cambridge, Massachusetts: Peabody Museum der Harvard University, 1923, S. 229-241
- [3] Eine **vollständige Aufzeichnung unserer Untersuchung der Kopfstützen** und verwandter Glasartefakte wird an anderer Stelle veröffentlicht (Katja Broschat, Christian Eckmann & Thilo Rehren, eingereicht bei **Restaurierung und Archäologie, V. 9, für 2016**).
- [4] Howard Carter, Das Grab von Tut-Ankh-Amen, entdeckt vom späten Earl of Carnarvon und Howard Carter, V. 3, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1933, S. 115-118
- [5] Andrea M. Gnirs, Katalognummer 76, Kopfstütze, in Tutanchamun - Das goldene Jenseits: Grabschrift aus dem Tal der Könige, hrsg. Andre Wiese und Andreas Brodbeck, Heidelberg: Vernissage Verlag, 2004, S. 314-315
- [6] Wir haben ein **Olympus InnovX Delta Instrument** mit dem werksseitig kalibrierten „Soil“-Modus verwendet. Aufgrund des Betriebs an der Luft berichten wir nicht über Daten für leichte Elemente bis zu Kalium. Die Rohdaten für MnO, FeO, Sn und Pb wurden dann um Faktoren zwischen 1,3 und 1,4 korrigiert, basierend auf der Analyse von zertifizierten Referenzmaterialien und Corning-Gläsern B und D, durchgeführt am selben Tag und unter gleichen Messbedingungen; Alle anderen Elemente lagen innerhalb von 10 Prozent der erwarteten Werte.

Tabelle siehe unten Seite 4!

Die beiden **Teile der türkis-blauen Kopfstütze** sind analytisch nicht zu unterscheiden; Sie wurden wahrscheinlich aus derselben Glascharge hergestellt. Das Färbemittel ist wieder **Kupfer**, aber **ohne Zinn** bei Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze. Während der **Spätbronzezeit** ist dies für **ägyptisches Glas weniger üblich und häufiger in Glas aus Mesopotamien** zu sehen. Verglichen mit der dunkelblauen Kopfstütze weist es auch deutlich **niedrigere Werte von Strontium und Zirkonium** auf, ein Merkmal, das

regelmäßig in **Mesopotamien** und nicht in ägyptischem Glas zu finden ist, was wiederum auf eine **andere geographische Herkunft des Glases** hinweist [7]. Das Glas in den **verfärbten braunen** Teilen ist in den meisten Elementen nicht vom türkis-blauen Glas zu unterscheiden; nur sein Gehalt an **Eisenoxid** ist etwas höher, während der Gehalt an **Kalk** und **Kali** signifikant niedriger ist. Wir gehen davon aus, dass die **Verfärbung** durch partielle **Entglasung der Glasmatrix** verursacht wurde, wodurch ein Teil des **Eisen- und Manganoxids** als dunkle Kristallite [crystallites] ausfallen muss.

Die **antike Reparatur** an der Basis, die vom Hauptkörper optisch nicht zu unterscheiden ist, besteht aus unterschiedlich zusammengesetztem Glas (s. **Tabelle 1**, „**Fragment**“), obwohl es vom gleichen Typ wie der Hauptkörper ist. Wie bei der Reparatur der dunkelblauen Kopfstütze scheint es, als ob die **Reparatur von der selben Werkstatt** durchgeführt wurde, die das Objekt **hergestellt** hatte. Dabei wurde ein ähnliches, aber anderes Stück Glas verwendet, das sorgfältig geformt wurde, um das fehlende Teil auszufüllen.

Herstellung

Die **Kopfstützen** sind **herausragende Stücke** von **Glas des Neuen Reichs**, **größer** als die meisten anderen bekannten Glasobjekte. Dies wirft die Frage auf, **wie sie gemacht wurden**. Es ist **unwahrscheinlich, dass sie in der Tradition der Obsidianarbeit aus einem massiven Glasblock geschnitten** wurden. Ihre **enorme Größe** macht es schwer, das zu glauben.

Die **größten regelmäßigen Glasblöcke aus dieser Zeit sind die in zylindrischen Tiegeln** [crucibles] **in Amarna und Qantir hergestellten Barren** [ingots]. Die rund **175 Barren aus dem Schiffswrack von Uluburun** wiegen im Durchschnitt nur etwa **2 Kilogramm**; Sie haben einen Durchmesser von 12 bis 18 Zentimetern und sind zwischen 3 und 8 Zentimeter dick [8]. Etwas dickere Barren sind bekannt aus **Qantir** (JdE 64296, Ägyptisches Museum in Kairo [9]) und **Lisht** (im Metropolitan Museum of Art in New York City [10]), deren Durchmesser jedoch 20 Zentimeter nicht überschreitet, was immer noch nicht ausreicht.

Es ist auch **unwahrscheinlich, dass flüssiges Glas in eine Form gegossen** wurde, wie es beim **Bronzeguss** gemacht wurde, angesichts der **Viskosität von Glas** bei Temperaturen, die während der Zeit des Neuen Reichs erreichbar waren, und des Mangels an **Tiegeln**, die den notwendigen Temperaturen widerstehen können, damit das Glas ausreichend flüssig wird. **Solche feuerfesten Tiegel waren erst viel später bekannt**.

Stattdessen schlagen wir vor, dass die **Kopfstützen durch Gießen** [casting] hergestellt wurden, dass eine **Form mit zerstoßenem Glas gefüllt und erhitzt** wurde, bis es geschmolzen ist und die gesamte **Form ausgefüllt** hat, in einem von **Katharina McCarthy** experimentell rekonstruierten und von **E. Marianne Stern** dokumentierten Prozess [11]. **Paul Nicholson** schlug vor, dass die Kopfstützen in ihren breiten Umrissen **gegossen** [cast] und dann mit **lapidaren Techniken in Form gebracht** wurden [12].

- [7] Für **Kupfer statt Bronze** als Farbstoff, siehe z.B. Andrew J. Shortland, Die Rohmaterialien früherer Gläser: Die Implikationen neuer LA-ICPMS-Analysen, AIHV Annales, V. 16, London, 2003 (Nottingham, 2005), S. 1-5
Allerdings hat etwa die Hälfte des analysierten **kupfer-blauen Glases** aus **Lisht** in Ägypten auch keine oder eine sehr geringe **Zinnmenge**, was darauf hindeutet, dass dies nicht unbedingt auf einen nicht-ägyptischen Ursprung des Glases schließen lässt: Melina Smirniou & Thilo Rehren, Lisht as a New Kingdom Glassmaking Site with Its Own Chemical Signature, Archaeometry, incoming. Für Unterschiede in den **Spurenelement**-Gehalten siehe z.B. Andrew J. Shortland, Nick Rogers & Katherine Eremin, Spurenelementdiskriminanten zwischen ägyptischen und mesopotamischen spätbronzezeitlichen Gläsern, Journal of Archaeological Science, V. 34, No. 5, 2007, S. 781-789, Tabelle 2.
- [8] Für eine Liste von Gewichten von **19 Uluburun-Glasbarren** siehe Edgar B. Pusch & Thilo Rehren, Hochtemperatur-Technologie in der Ramses-Stadt: Rubinglas für den Pharao, Forschungen in der Ramses-Stadt, die Grabungen des Pelizaeus-Museums Hildesheim in Qantir-Piramesse, V. 6, Teil 1, Text, Hildesheim: Gerstenberg, 2007, S. 271. Zwei Barren wiegen ungefähr 3 Kilogramm, einer ist unvollständig und wiegt weniger als 1 Kilogramm, während alle anderen zwischen 1,1 und 2,4 Kilogramm wiegen.
- [9] 1930 von Mahmoud Hamza ausgegraben
Siehe Pusch & Rehren [Anm. 8], Teil 2, Katalog, S. 750-751
- [10] Siehe Abbildung in Smirniou & Rehren [Anm. 7], Abb. 1b
- [11] **E. Marianne Stern, Formschmelzen, in E. Marianne Stern & Birgit Schlick-Nolte, Frühes Glas der Antike, 1600 B.C.-A.D. 50: Ernesto Wolf Sammlung, Ostfildern, Deutschland, Verlag Gerd Hatje, 1994, S. 48-54**
- [12] Paul T. Nicholson, Glas, in altägyptischen Materialien und Technologie, hrsg. Paul T. Nicholson & Ian Shaw, Cambridge, U.K., Cambridge University Press, 2000, S. 202

Wir denken jedoch, dass es wahrscheinlicher ist, dass die Formen sorgfältig vorgeformt und innen mit der gleichen **Trennschicht** ausgekleidet wurden wie die **Glastiegel von Amarna und Qantir** [13], wodurch **gegossene Objekte** erzeugt wurden, die nur eine abschließende **Oberflächenpolitur** erforderten, um jegliche Rauigkeit nach dem Glühen zu entfernen. Um genügend Material zu liefern, um die Form vollständig zu füllen, wenn das Glaspulver schmilzt, wären die Formen mit **trichter-förmigen Erweiterungen** versehen worden, die jenen ähnlich sind, die aus der **Glaswerkstatt in Qantir** archäologisch dokumentiert wurden [14].



- [13] W. E. S. Turner, Studies of Ancient Glass and Glass-Making Processes. Part I: Crucibles and Melting Temperatures Employed in Ancient Egypt at about 1370 B.C., Journal of the Society of Glass Technology, V. 38, 1954, S. 436T-444T
 Thilo Rehren, Ramesside Glass-Colouring Crucibles, Archaeometry, V. 39, pt. 2, August 1997, S. 355-368
 Stephen Merkel & Thilo Rehren, Parting Layers, Ash Trays, and Ramesside Glass-Making: An Experimental Study, in Pusch & Rehren [note 8], S. 201-221
- [14] Pusch & Rehren [note 8], Part 2, Catalog, S. 626-641

Der Beweis dafür ist am besten in den **durchscheinenden Flügeln der dunkelblauen Kopfstütze** zu sehen. Hier findet man ein charakteristisches Muster von **Schlieren** (Bereiche mit leicht unterschiedlichem Aussehen) und einen **welligen Farbunterschied**, begleitet von Spuren von **Luftblasen**, die deutlich ihren (verkümmerten) Aufstieg an die Oberfläche zeigen, darunter auch größere **Blasen**, von denen wir glauben, dass sie später mit Flecken [patches] aus anderem Glas **gefüllt** wurden, als Teil der Fertigstellung des Objekts. Zusammen zeigen sie ein **Strömungsmuster**, das mit der genauen Form des **Halbmondes** übereinstimmt, der mit viskosem Glas gefüllt ist, das in situ schmilzt, während es die Form vollständig ausfüllt [sagging as it fills the form completely], während jegliche Luft an die Oberfläche steigt, die in dem zerstoßenen Glas eingeschlossen ist.

Die **Formen** wurden durch die Kombination der Fähigkeiten von **Glasmachern** und der Erfahrung von **Bronzegießern** mit **Wachsausschmelzverfahren**, einer damals etablierten Technik, unter Verwendung sorgfältig hergestellter **Keramikformen** mit **kalkhaltigen Trennschichten** hergestellt, die aus **Keramiktiegeln** zur Herstellung von **Glasblöcken** bekannt sind. Ein solches Trennmittel hätte verhindert, dass das Glas an dem Formmaterial anhaftet, wodurch eine **glatte Freigabe des Rohgusses mit minimaler Notwendigkeit für eine Oberflächenbearbeitung** erleichtert wird. Auf diese Weise zeigen diese Kopfstützen - abgesehen von ihrer **herausragenden Schönheit** und **eindrucksvollen Erscheinung** - das nahtlose Zusammenspiel und den Austausch von Fähigkeiten zwischen **Bronzegießer, Keramiker und Glasmacher**, um Objekte zu schaffen, die buchstäblich für einen **König** - und einen **Gott** - geeignet sind.

Katja Broschat

Leiter, Konservierungsabteilung für Archäologisches Glas, Römisch-Germanisches Zentralmuseum Mainz, Deutschland
 katjabroschat@rgzm.de

Thilo Rehren

Professor of Archaeological Materials and Technologies
 UCL Institute of Archaeology
 London, England, United Kingdom
 th.rehren@ucl.ac.uk
 and Honorary Visiting Professor
 College of Humanities and Social Sciences
 Hamad Bin Khalifa University Doha, Qatar

Tabelle 1: Komposition der zwei Kopfstützen aus Glas vom Grab des Tutanchamun

Kopfstütze	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	CuO	Co	Ni	Zn	Sr	Zr	Sn	Sb	Pb
Dunkelblau	1.7	6.2	0.04	0.01	0.21	0.76	*	5	30	850	40	520	130	90
Runde Füllung	1.5	6.6	0.03	0.02	0.18	1.15	*	10	20	750	40	950	100	35
Türkis	2.1	5.3	0.04	0.04	0.28	0.45	*	10	40	360	20	*	10,500	10
Braun	1.2	3.0	0.06	0.05	0.35	0.49	*	10	70	340	20	*	11,200	15
Fragment	1.4	4.2	0.39	0.03	0.22	0.63	*	*	35	410	10	*	8,000	30

Analysiert von **pXRF**. Oxide werden in Gewichtsprozent und Spurenelemente in mg / kg angegeben.

* Unterhalb der Nachweisgrenze, schätzungsweise etwa 30 mg / kg für Kobalt, etwa 5 mg / kg für Nickel und etwa 100 mg / kg für Zinn. Die Daten weisen insbesondere bei niedrigen Konzentrationen zwangsläufig eine höhere Unsicherheit auf als solche aus laborgestützten Verfahren.



Abb. 2018-1/24-02 und Abb. 2018-1/24-03; (Maßstab ca. 60 %)

Dunkelblaue Kopfstütze, im Zusammenhang mit Tutanchamun, H 17,5 cm, B 28,3 cm, Tiefe 10 cm
Inschrift / Kartusche mit Vornamen [praenomen] Tutanchamun; Ägyptisches Museum Kairo, Inv.Nr. TR. 2/3/60/1
Eingelegtes fast perfekt kreis-förmiges Glas an der Unterseite der Basis der dunkelblauen Kopfstütze
(Foto: Ch. Eckmann, RGZM); aus JGS 2017-59, S. 378, Fig. 2; JGS 2017-59, S. 379, Fig. 3



E. Marianne Stern & Birgit Schlick-Nolte

Frühes Glas der alten Welt 1600 v.Chr. - 50 n. Chr., Sammlung Ernesto Wolf, Hatje, Ostfildern 1994

Auszug aus Stern, Formschmelzen, S. 48-54

SG: Abbildungen und Fußnoten wurden weggelassen!

Mit „Formschmelzen“ wird hier der englische Begriff „casting“ [Metall gießen] übersetzt, für den es kein deutsches Äquivalent gibt. Casting ist das **Füllen einer Form mit amorphem Glas**, sei es heiß oder kalt. **Casting mit heißem Glas** kann problemlos mit „Gießen“ übersetzt werden, aber **Casting mit kaltem Glas** (das heißt mit **Brocken, Bröckchen, Kröseln** usw.) kann man im Deutschen **nicht „Gießen“ nennen**. Wenn man kaltes Glas benutzt, werden **Form und Glasstücke zusammen erhitzt, bis das Glas verschmilzt** (wie beim heutigen *Pâte-de-Verre*). In diesem Katalog wird daher der Terminus „Formschmelzen“ für alle Varianten von Casting mit kaltem Glas eingeführt.

Heute wird das Casting meistens mit heißem, geschmolzenem Glas gemacht, also **gegossen**, im englischen auch „hot pour“ genannt. Das **geschmolzene Glas muss so heiß wie möglich** sein, ca. **1150 °C** oder **höher**. Die relativ niedrigen Temperaturen, die die Handwerker **in der Antike** erreichen konnten, hätten es **nicht möglich gemacht, geschmolzenes Glas zu gießen**. Im 2. und 1. Jahrtausend v.Chr. beruhten die meisten Casting-Techniken auf dem **Verschmelzen von Brocken und Bröckchen von kaltem Glas** [191]. Je nach der Größe der Glasbrocken, der Temperatur und der Dauer des Erhitzens ergab dieser Prozess **durchsichtiges, durchscheinendes, schwach durchscheinendes und fast opakes Glas**.

Schmelzen in offenen Formen

Die **frühesten Glasobjekte sind kleine Schmuckstücke und Perlen, die in wieder verwendbaren, einteiligen offenen Formen geschmolzen** wurden [192]. **Ägyptische** Glasverarbeiter waren Meister in der Herstellung von **form-geschmolzenen Glaseinlagen**, zum Beispiel Kat.-Nr. 12 (Abb. 49) [193]. Die **frühesten** erhaltenen ägyptischen Formen stammen aus dem **14. Jhdt. v.Chr. (18. Dynastie)** und sind aus **Ton** [194]. Es ist aber nicht klar, ob sie nur für **Fayence** oder auch für **Glas** verwendet wurden [195].

Zum Füllen der Formen verwendeten die **ägyptischen** Handwerker vermutlich nicht nur **kalte Bröckchen und Krösel**, sondern auch **kleine Glasbrocken**, die bis zum Erweichen auf einem Spieß im Feuer erhitzt und in die **Form gedrückt** wurden [196]. War die Form relativ kalt, so blieb das Glas nicht einmal haften, und man konnte die Einlage sofort herausnehmen. Manche ägyptische Einlagen haben auf der Rückseite als Folge der **Oberflächenspannung** des Glases während des Abkühlens „Elefantenhaut“ (Kat.-Nr. 113, Abb. 50), andere sind nahezu glatt, wieder andere leicht konkav (Kat.-Nr. 120). Es kommt vor, dass eine **offene Form nicht genügend mit Glas ausgefüllt** wurde und der gewünschte Gegenstand nicht vollständig abgeformt ist wie beispielsweise der **ptolemäer-zeitliche Hathorkopf** in der Sammlung Wolf (Kat.-Nr. 113, Abb. 50, S.

354 f.). In seltenen Fällen ist auf der Rückseite der Einlage ein zusätzliches **Glasplättchen angeschmolzen** (Kat. Nr. 107, Abb. 51, 52, S. 49 und 343). Viel häufiger stammen aus **Ägypten** jedoch **ptolemäer- und römer-zeitliche flache Glaseinlagen**, bei denen das Glas über die Ränder der Negativform hinausgeflossen ist und gewöhnlich stehen gelassen wurde [197].

[Ptolemäer 332 - 31 v.Chr.

Römer 30 v.Chr. - 395 n.Chr.]

Werkzeugspuren auf der **Rückseite der Einlagen** sollten allerdings nicht immer als Beweis für die Verwendung **vorgehitzter Glasbrocken** gedeutet werden. Man konnte auch während der Feuerung das **Glas mit Zangen in die Ecken der Form drücken**. Diese Arbeitsweise zeigt eine aus aneinander geschmolzenen Mosaikglas-Scheiben hergestellte Einlage aus **Heis** [Hais, Xiis] an der Nordküste von **Somalia** [198]. Die Mosaikscheiben dieser Einlage wurden kalt arrangiert, aber auf der Rückseite ist deutlich eine Werkzeugspur erhalten.

Im **mykenischen Griechenland** verwendeten die Glasverarbeiter wahrscheinlich **Formen aus Speckstein** (Steatit) wie beispielsweise eine Form aus **rotem Speckstein**, die in **Mykene** ausgegraben wurde (Abb. 53) [199]. Die Form hat **flache Negativbilder von Schmuckstücken**, die man sowohl aus Glas als auch in Gold kennt. Ein experimenteller Versuch, mykenische Perlen zu reproduzieren ergab [200], dass es **sehr schwierig** war, kleine, flache Vertiefungen gleichmäßig mit heißem Glas zu füllen, und dass es sogar noch schwieriger war, die langen dünnen Fadenlöcher zu bilden, die an beiden Enden von vielen mykenischen Plättchenperlen vorkommen (siehe Kat.-Nr. 16, 17, S. 152-155). Das heiße Glas kühlte ab und erstarrte so schnell, dass es mit einem **Holzstück in die Form gedrückt** werden musste.

[Mykenische Palastzeit 1420-1190 v.Chr.]

Es ist **unwahrscheinlich, dass mykenische Glasverarbeiter jemals geschmolzenes oder auf Stäben erhitztes Glas verwendeten**. Die Rückseite der meisten mykenischen Schmuckstücke und Perlen der Sammlung Wolf sind leicht konkav anstatt flach, wie sie gewesen wären, wenn man **geschmolzenes Glas mit einem Brettchen in die Form gedrückt** hätte, auch haben sie keine Werkzeugspuren an dieser Stelle. Die Plättchenperlen sind außerordentlich dünn, und die Rückseiten sind glänzend und schwach gebogen (Kat.-Nr. 16, Abb. 54, S. 152 f.). Eine alternative Herstellungsweise wäre, die Form mit einem Trennmittel zu beschichten, einen kleinen Glasbrocken darauf zu legen und die Löcher für den **Fadendurchzug** mit Kupferdraht (eventuell ebenfalls mit Trennmittel beschichtet) zu bilden, der nachträglich entfernt wird. Während des Erhitzens wird der Glasbrocken schmelzen und die Form ausfüllen, (hoffentlich) nicht mit dem Draht verschmelzen und eine glänzende Oberfläche auf der Rückseite bilden.



Mykenische Perlen haben oft abgekröselte (gezielt abgebrochene) Kanten, ein Hinweis, dass das Glas während des Erhitzens über die Ränder der Form floss und nach dem Kühlen entfernt wurde.

Im späten **5. Jhdt. v.Chr.** verwendete der griechische Bildhauer **Pheidias ungebrannte Tonformen**, um **Palmettenblätter** und andere Ornamente aus **farblosem Glas** für den Thron seiner berühmten **Zeus-Statue in Olympia** zu schmelzen (Abb. 55, S. 50) [201]. Ähnliche Palmettenblätter aus Glas kamen in vielen Gräbern des **4. Jhdts. v.Chr. in Nordgriechenland** zutage [202].

Schmelzen in geschlossenen Formen

Hohle Gefäße sowie **massive Gegenstände** und **Rohlinge für Gefäße** konnten in **geschlossenen Formen geschmolzen** werden. Es ist nicht klar, **wann die ersten form-geschmolzenen Gefäße** hergestellt wurden. Eine leuchtend blaue Glasschale mit achtfach gewellter Wandung aus einem **mykenischen Grab des 15.-14. Jhdts. v.Chr. in Kakovatos** auf der Peloponnes soll form-geschmolzen und geschliffen worden sein [203]. Aber es sind **keine anderen form-geschmolzenen Gefäße vor dem 8. Jhdt. v.Chr.** bekannt, als **Assyrien** ein wichtiges Herstellungsgebiet war.

Luxusgegenstände wie die oben genannte **Sargon-Vase** (siehe Abb. 43, 44, S. 47) wurden wahrscheinlich in **einteiligen Formen geschmolzen, die zerstört werden mussten**, als sie vom Glas entfernt wurden [204]. Erst wurde ein **Modell** gemacht und um dieses die „**Guss**“-**Form** mit einem **Einfülltrichter** gebaut. Das Modell bestand wahrscheinlich aus **weichem Ton**, der dann aus der Form gekratzt wurde (Abb. 56, S. 51). Nun füllte man Form und Trichter mit **zerkleinerten Glasbrocken, erhitzte sie zusammen** und gab - wenn nötig - mehr Glas ein, bis das schmelzende Glas die ganze Form ausfüllte (Abb. 57, S. 51). Nachdem die Form und das Glas abgekühlt waren, brach man vorsichtig die Form von dem Glas ab (Abb. 58, S. 51), bohrte in einem nächsten Arbeitsgang die innere Höhlung des Rohlings aus (Abb. 59, S. 51) und **polierte zum Schluss die Außenseite blank**.

Massive Rohlinge

Die Glasverarbeiter, die **massive Rohlinge** herstellten, haben wahrscheinlich auch entdeckt, dass es möglich ist, **Hohlgefäße** zu schmelzen. Das Schmelzen von Hohlgefäßen hätte nicht nur den Herstellungsprozess beschleunigt, sondern hätte auch die Gefahr vermieden, dass der Rohling während des Ausbohrens brach. Die **frühesten Glasgefäße, die hohl geschmolzen** sein könnten, sind **Trinkschälchen** aus dem Palast von **Nimrud**, die wie die Sargon-Vase aus dem **späten 8. bis frühen 7. Jhdt. v.Chr.** stammen (Abb. 60, S. 51) [205]. Die **Nimrud-Schälchen** sind alle leicht unterschiedlich, ein Hinweis, dass sie noch in einteiligen Formen geschmolzen wurden, die man beim Wegbrechen zerstören musste. Es hätte Schwierigkeiten bereitet, Modelle für solche dünnwandigen Schälchen herauszukratzen, wenn die Modelle aus Ton gewesen wären. Deshalb nimmt man an, dass die **Modelle aus Wachs** waren, das heraus geschmolzen wurde, ehe man

die **Formen mit kaltem Glas füllte** - eine Technik, die vom **Bronzegießen** übernommen wurde, wo sie als **Wachsausschmelzverfahren** mit verlorener Form bekannt ist.

Bei einem **Rekonstruktionsversuch in Toledo** [206] wurde das **Wachsmo- dell** eines Schälchens mit einem großen konischen Einfülltrichter (ebenfalls aus Wachs) auf eine Glasplatte mit dem Schälchen nach oben und der Öffnung des Trichters nach unten gestellt (Abb. 61, S. 52).

Es ist nicht bekannt, aus welchem Material die Formen in der Antike waren. Im Experiment bestand die Form aus **Gips**, der von einer äußeren Hülle aus Pappe zusammengehalten wurde. Zuerst wurde das nach oben offene Wachsschälchen mit Gips gefüllt, dann der Hohlraum zwischen dem Wachsschälchen plus Trichter und der Pappe bis etwa 3 cm über den Rand des Wachsschälchens, das nun **vollkommen vom Gips eingehüllt** war (Abb. 62). Nach dem **Erstarren des Gips** wurde die Pappe entfernt (Abb. 63), das **Ganze umgedreht** und der **Einfülltrichter aus Wachs aus dem Gips** herausgehoben, was sehr einfach war, weil die Innenseite des Trichters, der von Anfang an umgekehrt auf der Unterlage gestanden hatte, sich nicht mit Gips angefüllt hatte (Abb. 64). Zum Herausschmelzen des Wachsschälchens wurde die Gipsform wieder umgekehrt, mit dem nun freien Einfülltrichter (aus Gips) nach unten, und das Wachs floss durch das Einfüllloch, das zwischen dem Einfülltrichter und dem Wachsschälchen entstanden war, nach unten weg. Das **Wachsmo- dell ging verloren** (die „verlorene Form“). Übrig blieb, im Gips verborgen, eine einteilige, nur **einmalig verwendbare Hohlform des Schälchens**, das durch den **Einfülltrichter mit Kröseln gefüllt** werden konnte. Das weitere Vorgehen ähnelte dem oben beschriebenen Arbeitsgang beim **Schmelzen eines massiven Rohlings** mit dem einzigen Unterschied, dass nach dem Wegbrechen der Gipsform vom Glas sowohl die äußere als auch die innere Oberfläche des Schälchens **poliert** werden mussten, weil sie durch den Kontakt mit der Form stumpf geworden waren (Abb. 65, S. 52). Das Schälchen wurde im Kühllofen bei ca. **870 °C gebrannt**. Die „Flügel“ an den Seiten entstanden durch Risse in der Gipsform. Unter der stumpfen Oberfläche ist das Glas ganz klar und durchsichtig.

[Achämenidische Dynastie spätes 6. Jhdt. - spätes 4. Jhdt. v.Chr. - 330 v.Chr. (Alexander)]

Sehr elegante Trinkschalen aus form-geschmolzenem klarem, farblosem Glas wurden im 5. und 4. Jhdt. v.Chr. zur Zeit der **achämenidischen Dynastie** in Persien hergestellt. Sie wurden **nachträglich geschnitten und geschliffen**. Ein hervorragendes Exemplar in der Sammlung Wolf ist mit einem kunstvoll gestaffelten **Blattkelch aus breiten Lotusblättern** verziert (Kat.-Nr. 24, Abb. 66, S. 166-169), aber die häufigste Verzierung besteht aus **schmalen Zungenblättern** wie an einer unversehrt erhaltenen Schale in München (Abb. 67) [207]. Glasschalen dieser Art wurden vielleicht von unverzierten **achämenidischen Bronzeschalen abgeformt** wie etwa das getriebene Exemplar der Sammlung Wolf (Abb. 68, S. 53) [208].

In der **hellenistischen** Zeit wurden **wieder verwendbare zweiteilige Formen zum Schmelzen** üblich, wie aus den Formnähten auf einem Spielknöchel (Astragal) der Sammlung Wolf hervorgeht (Kat.-Nr. 104, Abb. 69, S. 54 und S. 338 f.).

Anmerkung SG:

Die Vorstellung von Broschat & Rehren, dass bei der kopfüber gefüllten Form das **flüssige Glas** so homogen in die beiden schmalen und dünnen Flügel der Kopfstützen fließen konnte, dass keine Furchen an der Oberfläche außen und innen entstanden sind, ist **nur schwer nachvollziehbar!** Noch dazu konnte man wegen der Form nicht kontrollieren, ob das Glas die Enden der Flügel wirklich ausgefüllt hat! Solche Fehlstellen hätte man nicht nachträglich vervollständigen können, wenn das Glas erkaltet war und die Form entfernt wurde ...

Trotzdem ist die von Broschat & Rehren vorgeschlagene Technik der Herstellung **noch am ehesten nachvollziehbar**. Dabei muss man aber auch bedenken, dass alle bisher gefundenen antiken Gläser nur wenig darüber berichten, wie hoch man **Glas in Formen aus innen „glasierter“ Keramik so weit erhitzen** konnte, dass es bis in die **schmalen Flügel der Kopfstütze so fließen konnte, dass man keine Fugen erkennen kann**, die ausgebessert werden mussten wie andere Fehlstellen!

Das verwendete kalte Glas enthielt sicher keine „Brocken“ oder Bröckchen“, sondern war feiner zerkleinert bis zu „Kröseln“ und wohl grobem Pulver ... **Weil man die Kopfstützen „kopfüber“ herstellen musste, konnte man die Glasmasse nicht von der Basis her bis in die Enden der Flügel „drücken“, das Glas musste tatsächlich in der Form aus Keramik so weit fließen!**

Nach Stern 1994 musste das Glas bis **über 1.000 °C erhitzt** werden! Eine solche Hitze war mit der Technik Bronzeguss um **1400 v.Chr.** wohl bereits erreichbar.

Ich kann mir vorstellen, dass man eine stabile, dickwandige, 2-teilige **Keramikform** - innen „glasiert“ - mit der **Füllung** von fein zerstoßenem **blauem Glas kopfüber** in einem großen Haufen von **glühender Asche aus Holzkohle** (aus dem Holz von Laubbäumen und mediterranen Sträuchern - Hartholz härter als Buche - vergraben hat und mit **Blasebälgen** bzw. **Winddüsen** so lange erhitzt hat, wie es die Erfahrung vieler **Versuche** ergeben hat. **Fehlversuche** waren kein Problem, weil man das missglückte Glas wieder zerstoßen konnte. Dabei konnte man z.B. auch mehr Kupferoxyd als Pulver beimischen. Für die Keramikform hatte man sowieso eine **Vorform**, ebenfalls hart gebrannt ...

Mit dem Halbedelstein Lapislazuli hat man erstmals das Blau des Himmels auf der Erde gefunden.

In der Kupferschlacke hat man erstmals **blaues Glas** gefunden und danach mit Kupferoxyden hergestellt, das dem **Lapislazuli** sehr ähnlich war ...

Diese Entdeckung und Entwicklung wird vor allem den **Mitanni** zugeschrieben. Nach Kriegen von **Thutmosis III.** (1479-1425 v.Chr., 33.-42. Regierungsjahr) wurden

Glasmacher der Mitanni als Gefangene nach Ägypten gebracht, um dort eine Glasherstellung aufzubauen und ägyptische Glasmacher auszubilden.

Mit **Ägyptisch Blau** hat man erstmals ein Pigment mit neutral-blauer Farbe für Keramik, Glasuren und Glas künstlich hergestellt - in Ägypten erstmals belegt 2639-2504 v.Chr. / 4. Dynastie mit blau glasierter Keramik.

Beim **Ishtar-Tor** in Babylon wurden um 605-562 v.Chr. / Nebukadnezar II. blau glasierte Ziegel verwendet.

„**Blau**“ wurde - neben der künstlich erzeugten Farbe „**Purpur**“ für Gewebe - die Farbe für Weihgaben, Schmuck für Lebende und Tote und prominente Gebäude wie Tempel und Stadtmauern.

Die **Kopfstützen** im Grab von **Tutanchamun** aus **blauem Glas** sind sicher die extravagantesten Stücke der Antike, die bisher gefunden wurden. Dabei muss man noch bedenken, dass es aktuell Thesen gibt, dass beim plötzlichen Tod des Pharaos vielleicht das für seine Mutter **Nofretete** vorgesehene **Grab** und teilweise deren **Grabbeigaben** verwendet wurden. Besonders der goldene Kopfschmuck ihrer Mumie könnte für Tutanchamun umgearbeitet worden sein ...

Wie auch immer: **Echnaton**, der Mann von **Nofretete** und der Vater von **Tutanchaton / Tutanchamun**, hat die Glasherstellung in **Amarna** zu bis dahin ungekannten Höhen weiter entwickeln lassen. **Die Kopfstützen für Tutanchamun sind also das Werk der Glasmacher von Echnaton in Amarna - ob sie Mitanni, Ägypter oder Sumerer waren!**

Wieder einmal beweisen die **Kopfstützen**, dass die „Alten“ keine „Deppen“ waren und Dinge geschaffen haben, bei denen man mit den aktuellen Methoden der Analyse von antikem Glas noch **nicht hieb- und stichfest beweisen kann, wie sie die hergestellt haben!**

Broschat & Rehren stützen sich bei ihrem Bericht in **JGS 2017-59** auf den **Bericht von E. Marianne Stern von 1994** über Stücke der Sammlung Wolf. Stern behandelte **viel kleinere und sehr viel einfachere Stücke** von antikem Glas! Stern berichtet auch über Stücke aus „**massivem Glas**“. Darunter ist keines, das in seiner Größe und seiner Kunstfertigkeit den **Kopfstützen** auch nur entfernt ähnlich ist! **Stern berichtet in „Formschmelzen“ nicht über die Kopfstützen von Tutanchamun!**

Die Frage in **PK 2000-2:**

„**Köpfe von Pharaonen und Cäsaren aus Glas: gegossen, geschmolzen, gepresst, gedrückt, überfangen und dann geschnitten, geschliffen, poliert oder was?**“

ist also auch **2017 noch nicht beantwortet!**

www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2000-2w-glas-pharao-caesar.pdf

www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2000-2w-glas-aegypten-mitanni.pdf

www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2002-2w-glas-aegypten-mitanni.pdf

Die Farbe Blau:**Lapislazuli / Lasurit:**

Hauptvorkommen Afghanistan / Badachschan
 Handel seit 5.000 v.Chr.
 Bergbau seit 4.000 v.Chr.
 Ostpersien seit 2.700-2.300 v.Chr.
 Mesopotamien seit 2.000 v.Chr.
 Assyrien seit 18. Jhdt. v.Chr.
 Ägypten seit 2.980 v.Chr. / 1.550-1.070 Neues Reich ...

Kupfer:

verwendet seit 8.000 v.Chr.
 Kupferzeit 5. - 3. Jtsd.
 Vorkommen Timna, Negev-Wüste 4.000-1.200 v.Chr.
 Jordanien Bergbau Wadi Arabah seit 4.000 v.Chr.
 Ägypten seit 4.000 v.Chr.
 Zentralanatolien seit 3.000 v.Chr. ...

Kupferbarren 2. H. 14. Jhdt. v.Chr. Uluburun
Glasbarren 2. H. 14. Jhdt. v.Chr. Uluburun

Bronze:

Bronzezeit 2.200-800. Jhdt.
 Zinnbronze westl. Kasp.Meer seit 4. Jtsd. v.Chr.
 Balkan seit 3.600 v.Chr.
 Palästina seit 3.300 v.Chr.
 Mesopotamien seit 3.000 v.Chr.
 Ägypten seit 2.700 v.Chr.
 Mohenjo Daro / Indien seit 2.500-2.000 v.Chr.
 Mitteleuropa seit 2.200 v.Chr.
 Nordeuropa seit 1.800 v.Chr.

Kobalt:

Wikipedia DE: **Kobaltblau** wurde im Laufe der Geschichte mehrfach entdeckt: im **Alten Ägypten**, in **China** und durch Louis Jacques Thénard **1802**. Der erste kobaltblaue Farbstoff **Smalte** wurde bereits in der Antike in **Persien** zur Dekoration von Tonwaren genutzt. Cobaltaluminat wurde nach Analysen antiker Scherben im **Alten Ägypten** während der **18. bis 20. Dynastie (Neues Reich 1550-1070 v.Chr.: Ahmose I. ... Echnaton / Tutanchamun ... Sethos II. / Tausret)** verwendet, danach geriet es wieder in Vergessenheit. Für die Herstellung des Cobaltaluminats wurden wahrscheinlich kobalthaltige Alaune von den westägyptischen **Oasen Dachla** (ad-Dakhla) und **al-Charga** (El-Kharga) als Rohmaterial verwendet.

Ägyptisch Blau:

Wikipedia DE: **Ägyptisch Blau zählt zu den ältesten, künstlich hergestellten Farbpigmenten.** Eine Verwendung im alten Ägypten ist seit der **4. Dynastie** (Snofru ... Cheops ... 2620–2500 v.Chr.) durch Lucas & Harris belegt. Die Entdeckung des Pigments stand vermutlich in engem Zusammenhang mit der älteren Herstellung von **farbig glasierter Keramik (ägyptische Fayence)**, da hierfür dieselben Rohstoffe verwendet wurden.

Ägyptisch Blau wurde nahezu durch alle folgenden Dynastien hinweg verwendet. Ausnahmen finden sich in den politisch unruhigen Zwischenzeiten, wo als Blaupigment Mischungen aus Ruß und Weiß nachgewiesen

wurden. In der Antike verbreitete sich Ägyptisch Blau nach **Mesopotamien, Griechenland** sowie dem **Römischen Reich** und seinen **Provinzen**.

www.aegyptologie.com/forum/cgi-bin/YaBB/YaBB.pl?action=lexikond&id=030910232254

Ägyptisch Blau. Farbpigment. Kupfer-Kalium-Silikat, das dem Mineral Kuprorivaat (CuCaSi4O10) entspricht.

Es ist das wahrscheinlich das **älteste synthetische Pigment**, das schon seit etwa der **4. Dynastie** sozusagen industriell hergestellt wurde, um teure Importe zu sparen.

Quarzsand, Kalk und Soda wurden gemischt und auf über **800 Grad Celsius** erhitzt. Die blaue Farbtonung lieferten dann zugesetzte **Kupferverbindungen** aus Mineralien, aber auch aus **Bronze**.

Beim Schmelzen dieses Gemenges war eine sehr exakte Regulierung der Temperatur äußerst wichtig, da sich das „Ägyptisch Blau“ nur innerhalb eines Temperaturbereiches zwischen **800 und 1050 Grad Celsius** bildet. Während bei zu niedriger Temperatur das Gemisch nicht richtig schmilzt, kommt es bei einer zu hohen Temperatur zu chemischen Reaktionen der Kupferverbindungen und der blaue Farbton geht verloren.

In Abhängigkeit von der Mischung sowie den Schmelz- und Temperatur-Bedingungen konnten die **Ägypter unterschiedliche Blautöne** erzielen. Die Temperatur wurde meist über den Ascheanteil reguliert. Die einzelnen Bestandteile des Pigments wurden zunächst vollständig geschmolzen und dann rasch abgekühlt. Nach dem Erstarren wurden sie zu Pulver gemahlen.

Bergbaumuseum Bochum: Kupfer / Bronze

www.bergbaumuseum.de/de/forschung/projekte/bergbau-metallurgie-anatolien

In den letzten Jahren konzentrierten sich die Arbeiten des DBM u.a. auf „**Die Anfänge der Metallverwendung in Anatolien**“. Die hier entstanden, hoch entwickelten neolithischen Kulturen verwendeten bereits gegen **Ende des 9. Jahrtausends v.Chr. gediegenes Kupfer** und verarbeiteten es zu kleinen **Perlen**. Offenbar nahmen in Anatolien **Hochtemperaturprozesse** in der Metallurgie und wahrscheinlich auch bei anderen Werkstoffen wie Kalk und Ton ihren Ursprung. Entscheidend ist herauszufinden, wie man Artefakte aus gediegenem Kupfer von solchen unterscheidet, die aus Erzen erschmolzen wurden. [...]

www.bergbaumuseum.de/de/forschung/projekte/fruehe-montanlandschaften-alter-orient-zentralasien/kupfer-iran

Der **Iran** ist reich an **Lagerstätten**, die für die **Hochkulturen des Zweistromlands große Bedeutung** hatten, weil sie selbst keine ausreichenden Erzressourcen besaßen. Bisher gab es nur wenige Ansätze, die Kenntnislücke zur **primären Rohstoffgewinnung** zu schließen. Diese bezogen sich auch nur auf die vor- und frühislamische Zeit und fanden 1978 mit dem Ausbruch der Iranischen Revolution ein abruptes Ende.

Das im Jahr 2000 vom Deutschen Archäologischen Institut (DAI), der Berguniversität Freiberg und dem DBM zusammen mit iranischen Stellen initiierte Projekt "**Ancient Mining and Metallurgy**" war demnach ein echter Neubeginn. Ziel war es, Aktivitätsmuster der **regionalen Metallversorgung, ihre technischen und wirtschaftlichen Strukturen, in der Zeit vom 4. bis zum Ende des 2. Jahrtausends v. Chr.** aufzuklären. Initiiert durch **Erzfunde** bei Ausgrabungen des DAI im Dorf **Arisman**, ca. 200 km südlich von Teheran gelegen, wurde das DBM eingebunden. Zusammen mit iranischen Partnern forschen wir zur Herkunft des Erzes. Der Fokus lag dabei auf **Veshnaveh**, das ca. 150 km südlich von Teheran entfernt ist, und seinen umliegenden **3 prähistorischen Grubenrevieren**: Laghe Morad, Mazrayeh und Chale Ghar. Dort führten wir nach einer ersten Survey- und Vermessungskampagne montanarchäologische Ausgrabungen durch. Lagerstättenkundliche Kartierungen, archäobotanische Untersuchungen, Radiokarbondatierungen, Tierknochenanalysen ergänzten unsere Feldarbeiten. Es galt, die Grubenbaue zu datieren, sowie die Gewinnungstechnik und Arbeitsabläufe vor Ort zu klären. Weiterhin beschäftigten uns Fragen zur allgemeinen Betriebsführung – etwa zur Saisonarbeit in den Grubenbauen –, zur Herkunft und Nutzung von Ressourcen wie **Holz und Steinmaterial** für die Steinschlägel oder zu den **Transportwegen**. [...]

www.bergbaumuseum.de/index.php/de/forschung/projekte/97-alacahoyuek [**Alaca Höyük**]

Die Fritz-Thyssen-Stiftung förderte zunächst für ein Jahr ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben, das sich die **Analyse und geochemische Charakterisierung von Metallobjekten aus Alacahöyük in Zentralanatolien** zum Ziel gesetzt hat. Im Vordergrund stehen grundlegende Fragen zur Entwicklung und Struktur der **Metallurgie in Anatolien während des 3. Jahrtausends**. Hierbei werden neben technologischen auch kulturhistorisch-wirtschaftsarchäologische Aspekte betrachtet.

Die ersten systematischen Ausgrabungen in Alacahöyük – initiiert und durchgeführt von der damals noch jungen Türkischen Republik – begannen 1935. Gleich im ersten Jahr wurden 4 reich ausgestattete Fürstengräber entdeckt; in den darauf folgenden Jahren kamen weitere Gräber hinzu. Zu den Funden gehören zahlreiche **Sonnenstandarten und Tierstatuetten aus Bronze und Silber**, filigran bearbeitete Gefäße, Schmuck und Verzierungselemente aus **Gold und Silber** sowie einige Objekte aus **Eisen**. Aufgrund ihrer künstlerischen Vollkommenheit und ihrer Materialität zählen die Funde – neben denen aus Ur, Maikop, Varna und Troja – zu den wichtigsten prähistorischen Fundkomplexen der Vorgeschichte. [...]

Unsere Untersuchungen haben vielfältige interessante Ergebnisse erzielt; besonders überraschend war, dass die meisten der bisher für **Gold** gehaltenen Objekte eigentlich aus **Silber oder Bronze** bestehen und nur vergoldet sind. Für die Vergoldung benutzten die Goldschmiede von Alacahöyük **Goldfolien**, die teilweise bis zu 1 Mikrometer dünn sind. [...]

Holzkohle

www.geschichtsforum.de/thema/kohle-koks-und-oel-in-antike-und-mittelalter.24588/page-2

Holzkohle besitzt einen sehr hohen Heizwert, an den andere Kohlearten erst herankommen, wenn sie weiterverarbeitet werden. Bei dem damaligen Kohlebedarf in **Schmieden und der Verhüttung reichte die Holzkohle vollkommen aus**.

Nur mit **Holzkohle** erreichte man den nötigen Schmelzpunkt von über **1.000 Grad bei Kupfer**.

www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca03-2/bronze.html

Ab dem ausgehenden **5. Jahrtausend v. Chr.** waren die **Ostalpen** für Zentraleuropa eine wichtige Industrie-region: Solange das **Eisen** den Werkstoff **Kupfer** und seine **Legierungen [Bronze]** nicht überflügelt hatte, war man auf die **Kupfererzlagerstätten in den Alpen** und auf die Spezialisten des Berg- und Hüttenwesens angewiesen, die dieses recycelbare Material nicht nur meisterhaft herstellten, sondern bereits **nachhaltig Forstwirtschaft** betrieben und **technische Rationalisierungsmaßnahmen** einsetzten.

Mit Beginn der **Bronzezeit (um 2000 v. Chr.)** stieg die Nachfrage an **Kupfer- und Bronze-Produkten** in Mitteleuropa enorm an. Das können wir beispielsweise an den Ausstattungen der **Gräber** erkennen. **Massen-anfertigung durch den Guss war ein Vorteil der Kupfer- und Bronze-Erzeugung**. Als Folge davon führten die neuen Metallwerkstoffe zu einem deutlichen **Aufschwung** in der Landwirtschaft, im Handwerk und Handel, in der Entwicklung des Siedlungs- und Kriegswesens und im Gefolge davon auch zu einer **stärkeren Gliederung der Gesellschaft**.

Um Kupfer und Bronze zu erzeugen, waren einerseits die Rohstoffe notwendig - **Kupfererz, Holzkohle, Schlackenbildner** - andererseits die technischen Anlagen sowie das metallurgische Wissen und Können. All dies besaß die Urbevölkerung der Alpen.

Das Heidelberger Institut für Ur- und Frühgeschichte erforscht seit mehr als 20 Jahren die berg- und hüttenmännischen Fundplätze in den **Ostalpen**. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben das Wissen um den Bergbau, die Aufbereitung der Erze sowie die Bauweise und Funktion der **bronze-zeitlichen Kupferhütten** entschieden bereichert.

Mindestens im **6. Jahrtausend vor Chr.** setzte die bergmännische Suche nach **Feuerstein** in den **Ostalpen** ein [mit **Handelsrouten** bis an die Nord- und Ostsee und nach Vorderasien wie beim **Bernstein**]. Dadurch kam es auch auf zahlreichen **Buntmetall-Lagerstätten** in paläozoischen Schichten zum Abbau von Erz, da **gediegene Metalle** bereits mit dem Einsetzen des Neolithisierungs-Prozesses - der nahezeitlichen Sesshaftwerdung des Menschen mit Ackerbau und Viehzucht - bekannt waren.

Drei Lagerstättentypen mit unterschiedlicher Metallogeneese wurden in der **Urzeit** abgebaut: kleinsträumige Verdrängungslagerstätten im Kalk, synsedimentäre

Vererzungen, oftmals vom Fahlerztyp, und Spaltenfüllungen, also Ganglagerstätten mit **Kupferkies**, die erst im Zuge der Alpenaufaltung entstanden sind.

Auch für die Herstellung von **Industrie-Keramik** war das technische „Know-how“ bereits in der **Spätbronzezeit** vorhanden. Dazu mussten **Winddüsen** hergestellt werden, deren Aufgabe es war, gezielt kalte Luft für die chemische Reaktion mit Kohlenstoff (Holzkohle) in den **Schmelzofen** einzubringen. Dabei wurde die Winddüse am inneren Düsenmund von der Luft gekühlt; außen dagegen von der **flüssigen, aggressiven Schlacke auf rund 1.400 Grad Celsius** erwärmt.

Für diesen technologischen Einsatz musste der Rohstoff für die **Winddüsen** qualitativ hochwertig sein. Die Hüttenleute verwendeten dazu **Lehm** von ausgesuchter Qualität sowie geringe Mengen an Magerungsmitteln, also **Quarz, Feldspat, Glimmer oder Keramikbruch** mit einer **Korngröße über 1 Millimeter**. Man erreichte damit eine relativ **homogene, feinkörnige Keramik-Struktur**, die der Temperatur von **1.400 Grad Celsius**, vor allem aber dem **chemischen Angriff der Ofenschlacke**, sehr gut widerstand.

Die Verhüttung der Kupfererze erfolgte in der **Spätbronzezeit in Schmelzhütten**, die in den **Ostalpen** nach **einheitlichen Bauplänen** errichtet worden waren. Dies lässt darauf schließen, dass die Kupfererzeugung auch **überregional nach identischen Bauplänen** bewerkstelligt wurde. In den schneereichen Gebirgslagen mit häufigen Niederschlägen ist es fast selbstverständlich, dass diese Kupferhütten überdacht waren. Block- oder fachwerkartig errichtete, luftdurchlässige Gebäude mit einem **Dach** aus Legschindeln umgaben das **Röstbett**, in dem das Erz und die Zuschläge getrocknet und poröser gemacht wurden. Davor befanden sich die **Öfen**, in denen mit Hilfe von **Holzkohle** und in einem mehrstufigen Prozess das **Schwarzkupfer** produziert wurde.

Zunächst erhielt man aus dem Erz ein Zwischenprodukt, den bei hohen Temperaturen dünnflüssigen **Kupferstein**. Tagtäglich wurde im Ofen zuerst dieser Kupferstein durch **Aufblasen von Luft verflüssigt**; nach dem Verlust des verbliebenen Schwefels bildete man daraus **Schwarzkupfer**. In diesem schmelzflüssigen Bad wurde das **Erz mit Holzkohle niedergeschmolzen**. Ein Teil des Schwarzkupfers reichte erneut aus dem Erz Kupferstein an, während das Eisen in die dünnflüssige, leichtere Schlacke gebunden wurde.

Von der **Schlacke** wurden die inhomogenen und nicht gut geflossenen Stücke auf eine Halde unterhalb der Hütte geworfen oder in das nächste Bachbett entsorgt. Die beste Qualität war begehrtes **Flussmittel**, das solcherart noch einmal eingesetzt wurde. Es diente neben Quarzsand auch dazu, an anderen Standorten **Kupfergusskuchen** aus Schwarzkupfer zu erzeugen.

Die Beschaffung der Kupfererze erforderte Bergknappen, die den **Bergbau** schon damals bis in eine **Tiefe von 200 Metern** betrieben. Kupfererze, meist Sulfide, wurden aufbereitet, das heißt von den Gangmaterialien getrennt und auf diese Weise in ihrem Gehalt angereichert. Von der Aufbereitungsanlage wurden die Kupfererze zur Schmelzhütte transportiert, dort geröstet und danach zusammen mit Holzkohle und Zuschlägen in einen Schmelzofen eingesetzt. In diesem Ofen wurde ein **Rohkupferkuchen** von **0,5 bis 5 kg** Gewicht erzeugt.

Das **Rohkupfer** wurde anschließend aufgeschmolzen, raffiniert und **legiert**. Danach wurde es in **Gussformen** gegossen. Die Produkte wurden danach in den Werkstätten fein bearbeitet und von **Händlern** im Voralpengebiet in Umlauf gebracht. Verbreitungsmuster von Fertigprodukten legen nahe, dass **Kupfer aus den Alpen** bis nach **Südschweden**, mindestens aber ins **Pariser Becken** und wohl auch nach **Südosteuropa** geliefert wurde.

Die an der Metallproduktion Beteiligten - vom **Berg- und Hüttenmann über den Händler bis zum Gießer und Schmied** - benötigten eine funktionsfähige **Infrastruktur**. Die Menschen im Bergbau mussten mit **Lebensmitteln, Kleidung, Werkzeugen oder Holz** versorgt werden. Die Hüttenarbeiter benötigten **Baustoffe** für die hütten technischen Anlagen, für die Röst- und Schachtofen oder für die feuerfesten Winddüsen.

Nimmt man in einer groben Einschätzung an, dass für einen **funktionierenden Schmelzbetrieb 500 bis 1.000 Personen** - Bergleute, Holzknappen, Köhler, Schmiede, Händler, Bauern, Töpfer, Jäger, Krieger und deren Familien - notwendig und gleichzeitig in einem Tal mehrere Schmelzhütten in Betrieb waren, erkennt man das archäologische Potenzial im Paltental und in den Tälern entlang der Grauwackenzone in den **Ostalpen**.

SG: Es liegt nahe, dass die für die Ostalpen geschilderten Verhältnisse im Nahen Osten noch mindestens 500 Jahre früher geschaffen wurden! Von der Ägäisküste über Mesopotamien, Persien, Indien bis China gab es in der Bronzezeit seit der Jungsteinzeit aufgebaute Handelswege. Die technische Erfahrung wanderte dann vom Osten nach Westen ... Um 1500 v.Chr. hat es also bereits in Mesopotamien über Syrien bis Ägypten Glasmacher gegeben, die Kopfstützen aus blauem Glas herstellen konnten wie die im Grab von Tutanchamun gefundenen - wie auch immer sie das gemacht haben ...

Das können Sie sicher mal in einer PK nachlesen ...



Siehe unter anderem auch:

WEB PK - in allen Web-Artikeln gibt es umfangreiche Hinweise auf weitere Artikel zum Thema: suchen auf www.pressglas-korrespondenz.de mit GOOGLE Lokal →

- PK 2000-6 SG, Die "Pressglas-Korrespondenz" im "Journal of Glass Studies", Volume 42, 2000
 PK 2002-1 SG, Die "Pressglas-Korrespondenz" im "Journal of Glass Studies", Volume 43, 2001
 PK 2003-1 SG, Die "Pressglas-Korrespondenz" im "Journal of Glass Studies", Volume 44, 2002
 PK 2004-1 SG, Die „Pressglas-Korrespondenz“ im "Journal of Glass Studies", Volume 45, 2003
 PK 2006-1 SG, Journal of Glass Studies Volume 47, 2005: Ernesto Wolf Sammlung antiker Gläser
 PK 2006-1 SG, Journal of Glass Studies Volume 47, 2005: Robert Alan Truitt (1935-2005)
 PK 2007-1 SG, Besonders interessante Gläser aus dem Journal of Glas Studies 2006-48
 PK 2007-4 SG, Journal of Glass Studies, Volume 49, 2007, Inhaltsverzeichnis
 PK 2009-1 Whitehouse, David, 50 Jahre Journal of Glass Studies des Corning Museum of Glass
 PK 2010-1 SG, Journal of Glass Studies Volume 51 - 2009, Inhaltsverzeichnis
 PK 2011-1 SG, Journal of Glass Studies No. 52 - 2010 ist erschienen (Inhaltsverzeichnis)
 PK 2011-1 Whitehouse, David, Thomas S. Buechner (1926 - 2010); Journal of Glass Studies 2010-52
 PK 2012-1 Gaustad, Ada Buch Pollak (1914-2010) (Auszug und Übersetzung aus JGS 53, 2011
 PK 2013-1 SG, Journal of Glass Studies Volume 54 - 2012, Inhaltsverzeichnis
 PK 2013-2 SG, Mourning the Loss of Former Director David Whitehouse
 PK 2013-4 SG, A Life in Archaeology & Glass: Honoring David Whitehouse (1941-2013) Symposium
 PK 2013-4 SG, Journal of Glass Studies Volume 55 - 2013, Inhaltsverzeichnis
 PK 2014-4 SG, Journal of Glass Studies Volume 56 - 2014, Inhaltsverzeichnis
 PK 2015-3 SG, Journal of Glass Studies Volume 57 - 2015, Inhaltsverzeichnis
 PK 2016-2 SG, Journal of Glass Studies Volume 58 - 2016, Inhaltsverzeichnis
 PK 2018-1 SG, Journal of Glass Studies Volume 59 - 2017, Inhaltsverzeichnis

Siehe unter anderem auch:

WEB PK - in allen Web-Artikeln gibt es umfangreiche Hinweise auf weitere Artikel zum Thema: suchen auf www.pressglas-korrespondenz.de mit GOOGLE Lokal →

- www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2006-3w-whitehouse-sasanian-glass.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2010-1w-whitehouse-tarshis.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2010-2w-sg-whitehouse-islamic-glass.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2010-2w-sg-whitehouse-medieval-glass.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2010-3w-sg-whitehouse-schale-voegel.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2004-1w-pk-rakow-library.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2004-1w-suche-rakow-library.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2005-1w-cmog-rakow-db-pk.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2005-1w-cmog-rakow-db-suche.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2007-4w-jgs-varl-slowenien.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2008-1w-sg-launay-rakow.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2008-1w-sg-launay-rakow-suche.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2009-4w-sg-lieke-glasgeschichte-2009.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2010-1w-jgs-2009-51-inhalt.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2011-1w-sg-jgs-2010-52.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2011-1w-sg-jgs-2010-52-barag.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2011-1w-sg-jgs-2010-52-buechner.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2011-1w-sg-jgs-2010-52-loibl-glastechnik-barock.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2011-1w-sg-jgs-2010-52-tassinari-pasten.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2012-1w-sg-jgs-2011-53.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2012-1w-gaustad-ada-polak-1914-2010.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-1w-sg-jgs-2012-54.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-2w-whitehouse-1941-2013.pdf
www.cmog.org/event/life-archaeology-and-glass-honoring-david-whitehouse-1941-2013
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-4w-clairefontaine-glas-jgs-2013-55.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-4w-whitehouse-symposium-2014.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-4w-sg-jgs-2013-55.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2013-4w-ertman-akhenaten-inlay.pdf



www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2014-4w-sg-jgs-2014-56.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2014-4w-sg-jgs-2014-56-loibl.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2015-2w-sg-schale-erotische-szenen-ennion-2014.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2015-3w-sg-jgs-2015-57.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2016-2w-sg-jgs-2016-58.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2018-1w-sg-jgs-2017-59.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2018-1w-reade-tel-sera-glas-jgs-2017-59.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2018-1w-broschat-tutanchamun-kopfstuetzen-jgs-2017-59.pdf

www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2000-2w-glas-pharao-caesar.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2000-2w-glas-aegypten-mitanni.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2002-2w-glas-aegypten-mitanni.pdf

www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2014-4w-ricke-lierke-geburtstag-2014.pdf
www.pressglas-korrespondenz.de/aktuelles/pdf/pk-2018-1w-lierke-diatret-glaeser-2018.pdf

