

Neutronenaktivierungsanalyse von karolingerzeitlichen Glasschmelztiegeln und typengleichen Schüsseln aus Aachen

H. Mommsen

27-02-2014

Helmholtz-Institut für Strahlen- und Kernphysik, Universität Bonn, Nussallee 14 – 16, 53115

Ad Projekt: Pfalz in Aachen (W. Giertz, S. Ristow)

Insgesamt 25 pulverförmige Proben von Töpfereierzeugnissen aus den Grabungen Büchelthermen/Kaiserbad 1956/57, Hof 1964/65 und Domquadrant 1993 in Aachen und eine Vergleichsprobe eines Glashafenfragmentes aus Huy wurden im Dezember 2013 mithilfe der Neutronenaktivierung analysiert. Ziel solcher Analysen des Elementgehaltes vor allem der Neben- und Spurenelemente ist es, zum einen, festzustellen, welche Stücke die gleiche Elementzusammensetzung haben und deshalb gleiche Herkunft, d. h. aus der gleichen Tonmasse, die in einer Werkstatt aufbereitet wurde, gefertigt sind, und weiterhin, wenn Referenzmaterial bekannter Herkunft mit diesem Elementmuster bereits existiert, die geographische Lage der produzierenden Werkstatt der untersuchten Stücke zu bestimmen.¹

Die NAA wird mit diesen Zielen seit etwa 30 Jahren in Bonn routinemäßig eingesetzt.² Aus einer Probenmenge von etwa 80 mg wird eine pillenförmige Probe gepresst. Ein Satz solcher Proben zusammen mit mehreren Standardmaterialien, darunter 6 Proben des Bonner Keramikstandards³ wird zusammen durch Neutronenbeschuss aktiviert. Seit Sommer 2010 finden diese 10-stündigen Neutronenbestrahlungen zur Aktivierung der Proben an dem Forschungsreaktor des Reaktorinstitutes in Delft, Delft University of Technology, bei einem Neutronenfluss von $5 \cdot 10^{12}$ Neutronen/(cm² s) statt. Nach dem Transport der Proben nach Bonn in unser Laboratorium beginnen die Messungen der emittierten Gamma-Strahlung mit 2 verschiedenen Ge-Halbleiterdetektoren in unterschiedlichen Energiebereichen. Dabei wird jede Probe insgesamt 3 mal (in der 1. Woche, der 2. Woche und der 4. Woche nach der Bestrahlung) vermessen, wodurch nach Auswertung der Linienspektren die Elementkonzentrationen von etwa 30 Elementen, falls ihre Konzentrationen über der Nachweisgrenze liegen, ermittelbar sind. Diese Mehrfachmessungen erhöhen die Sicherheit der Analyse, da auf diese Weise viele Elemente unabhängig mehrfach gemessen werden können.

In Tab. 1 sind die erhaltenen Rohdaten für jede der 25 Proben gegeben. Tab. 2 zeigt die von Herrn Giertz zusammengestellte Liste mit der Beschreibung der Proben. Darin enthalten ist bereits auch die Zuordnung der einzelnen Proben zu Gruppen gleicher Elementzusammensetzung und demnach gleicher Herkunft. Die als ‚singles‘ bezeichneten

¹ Perlman, I. and Asaro, F., 1969, Pottery analysis by neutron activation, *Archaeometry* 11, 21 – 52; Mommsen, H., 2007, Tonmasse und Keramik: Herkunftsbestimmung durch Spurenanalyse, in: *Einführung in die Archäometrie*, G. Wagner (Hrsg.), Springer Berlin, Kap. 10, 179-192; Mommsen, H., 2011, Provenancing of pottery, in: *Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research*, Vienna, International Atomic Energy Agency, Chap. 3: 41 - 70

² Mommsen, H., Kreuser, A., Lewandowski, E., and Weber, J., 1991, Provenancing of pottery: A status report on Neutron Activation Analysis and Classification, *British Museum Occ. Paper* 82, Neutron Activation and Plasma Emission Spectrometric Analysis in Archaeology, eds. M. Hughes, M. Cowell und D. Hook, 57 - 65

³ Die Elementzusammensetzung des Standards ist gegeben in; Mommsen, H., Sjöberg, B. L., 2007, The importance of the ‘best relative fit factor’ when evaluating elemental concentration data of pottery demonstrated with Mycenaean sherds from Sinda, Cyprus, *Archaeometry* 49, 357 – 369

Stücke haben eine uns unbekannte Elementzusammensetzung und sind chemische Einzelstücke, über die archäometrisch nichts ausgesagt werden kann. Sie können erste Vertreter einer noch unbekannten Produktionsserie einer Töpferei sein oder sie können auch in der alten Zeit oder erst jetzt verunreinigt worden sein.

Für den Vergleich der gemessenen Elementmuster und die Formierung von Gruppen gleicher Elementzusammensetzung setzen wir ein in Bonn entwickeltes, wie ein ‚Filter‘ arbeitendes statistisches Verfahren ein, das zu einem vorgegebenen Elementmuster, z. B. demjenigen einer neu gemessenen Probe, aus einer Datenbank alle diejenigen Muster herausfiltert, die innerhalb der Messunsicherheiten als gleich einzustufen sind.⁴ Dabei wird sowohl die Messunsicherheit der Methode als auch eine mögliche variierende ‚Verdünnung‘ der Tonmasse durch nicht gemessene Elementanteile, z. B. Sand (SiO₂), durch einen besten relativen Anpassungsfaktor berücksichtigt.⁵

Tab. 3 zeigt die Mittelwerte der so gebildeten Gruppen und Tab. 4 listet die Proben dieser Gruppen und gibt auch ihren besten relativen Anpassungsfaktor in Bezug auf die Gruppenmittelwerte an. Die beiden Gruppen AGTa und AGTb, obwohl archäologisch als zum gleichen Warentyp HUYT 4b gehörend, sind deutlich verschieden zusammengesetzt. Während zahlreiche Elemente, die präzise messbar sind, in AGTb tiefere Konzentrationen haben, ist der Cr Wert gleich und die Elementkonzentrationen von Hf und Ta sind in AGTb sogar höher (s. Tab. 1). Die geographische Lage der zugehörigen Werkstatt/Werkstätten kann nicht angegeben werden. Vergleichsmaterial dieser Warenart aus Aachen (Aach 53 und 54) hat andere, uns bisher nicht bekannte Elementzusammensetzungen, beide Proben sind chemische Einzelstücke.

Die archäologisch als Mayener(?) IR Ware gelb bezeichneten Stücke Aach 50,51, Wiederholungsmessung 51w und 55 bilden archäometrisch ebenfalls eine Gruppe, AaeE genannt, die uns jedoch bisher ebenfalls unbekannt ist. Dieses Muster passt chemisch nicht zu unseren anderen Gruppen aus Aachen oder Mayen und setzt sich sogar gut von allen anderen uns bekannten Gruppen ab. Ein Glastiegelfragment, ACK 35, das zu dieser Warenart gehört, ist ein chemisches Einzelstück.

Während die bisher besprochenen Gruppen neue Muster aufweisen, die nicht in der Bonner Datenbank der Muster zu finden waren, passt das Paar ACK 32 und 37 statistisch zu der uns bekannten Gruppe mayU,⁶ die die größte Gruppe in dem Scherbensatz von Mayen, der untersucht wurde, darstellt. Sie enthält verschiedene Warenarten, so geglättete Ware, hart gebrannte Ware, Faststeinzeug und auch spätmerowingische rauwandige Ware, was die Wahrscheinlichkeit einer lokalen Produktion dieser Gruppe erhöht. Eine Herkunft aus Mayen ist auch archäologisch anzunehmen. Es handelt sich um Stücke der Mayener Ware ME. Die

⁴ Mommsen, H., Kreuser, A., Weber, J., 1988, A method for grouping pottery by chemical composition, *Archaeometry* 30, 47 – 57; Beier, Th. and Mommsen, H., 1994, Modified Mahalanobis filters for grouping pottery by chemical composition, *Archaeometry* 36, 287-306; the same, 1994, A method for classifying multidimensional data with respect to uncertainties of measurement and its application to archaeometry, *Naturwissenschaften* 91, 546 - 548

⁵ Mommsen, H., Sjöberg, B. L., 2007, The importance of the ‘best relative fit factor’ when evaluating elemental concentration data of pottery demonstrated with Mycenaean sherds from Sinda, Cyprus, *Archaeometry* 49, 357 – 369

⁶ Stilke, H., Hein A., Mommsen, H., Results of Neutron Activation Analysis on Tating Ware and the Mayen Industry, *Medieval Ceramics* 20, Jg. 1996 (1998) 25-32; Stilke, H., Hein, A., Mommsen, H., 1999, Neutronenaktivierungsanalyse an mittelalterlicher Keramik aus Mayen und an Tatinger Ware, *Berichte zur Archäologie an Mittelrhein und Mosel*, H.-H. Wegener (Hrsg.), Bd. 6, Trier 1999, 403-418

ebenfalls zu dieser Ware gehörende Probe Probe ACK 33 zeigt starke Abweichungen in den Elementen Zn, Sb, Co und anderen. Es ist jedoch auffällig, dass z. B. die Fe-Konzentration in diesen 3 Proben der Mayener Ware ME mit etwa 5 % die höchste in dem Datensatz der Glastiegelproben ist (s. Tab. 1). Bei einer Vernachlässigung der Elemente Zn, Sb und Co kommt die Probe ACK 33 der Gruppe mayU zwar nahe, wenn man einen Anpassungsfaktor von 1.10 anwendet, allerdings passen die Konzentrationen bei Anwendung unserer üblichen strengen Kriterien statistisch nicht gut.

Scherben weiterer Warenarten sind Einzelstücke. Dies trifft auf die Probe ACK 20, eine graugelbe Irdenware der Warenart HUYT 4a/d od. 9c, zu wie auch auf die Probe Huy 88, die makroskopisch der gleichen Warenart zugeordnet werden kann, aber chemisch anders zusammengesetzt ist. Auch die Proben ACK 28, Badorf Typ? und Aach 52 haben uns unbekannte Elementmuster und sind chemische Einzelstücke. Einen Überblick der Ergebnisse gibt Tab. 5.

Tabelle 1: Konzentrationsdaten von 24 Proben von Keramikbruchstücken von Aachen und von einer Probe von Huy

Gegeben sind die Konzentrationen C von 28 Neben- und Spurenelementen in µg/g (ppm), wenn nicht anders bezeichnet, und die mittlere Messunsicherheit (Fehler), auch in % von C

Probe	As	Ba	Ca%	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe%	Ga
ACK9	1.39	250.	0.30	63.7	6.11	89.9	7.77	0.75	1.44	20.9
ACK12	3.94	265.	0.58	77.6	6.65	99.5	10.2	0.84	1.41	23.8
ACK20	7.11	262.	1.58	72.8	4.75	137.	10.7	0.93	1.64	38.3
ACK23	1.32	267.	0.61	58.4	5.07	98.7	8.63	0.65	1.24	22.8
ACK24	4.73	246.	0.33	78.8	6.93	96.7	10.4	0.94	1.28	22.1
ACK25	2.60	364.	0.67	86.6	7.47	105.	45.8	1.32	1.78	20.6
ACK26	1.55	125.	0.37	48.7	6.90	92.9	6.34	0.55	1.49	22.1
ACK28	14.4	367.	0.57	88.9	6.32	95.9	38.5	1.03	1.45	24.3
ACK29	3.43	222.	0.51	81.0	6.70	98.8	10.4	0.95	1.42	23.7
ACK30	2.01	297.	0.35	77.0	6.51	91.9	10.1	0.91	1.32	20.9
ACK31	3.08	305.	0.78	79.0	7.48	93.8	10.1	0.93	1.44	22.9
ACK32	12.5	500.	0.50	76.9	20.4	199.	5.62	1.14	4.95	21.5
ACK33	10.0	443.	0.79	72.2	16.6	201.	4.43	1.06	5.27	22.2
ACK34	2.37	134.	--	57.5	5.88	89.0	7.34	0.67	1.19	19.8
ACK35	6.19	384.	0.40	100.	5.10	95.8	28.0	1.19	1.54	27.1
ACK36	39.7	313.	0.78	94.4	9.10	104.	10.5	1.02	1.78	24.6
ACK37	13.8	538.	0.64	81.7	15.4	211.	6.23	1.26	5.24	26.5
ACK38	1.57	180.	0.38	61.4	5.91	102.	8.75	0.74	1.23	27.1
Aach50	10.5	378.	0.13	83.0	6.70	70.3	31.9	0.91	1.08	24.6
Aach51	7.02	360.	0.34	80.0	5.56	73.6	32.6	0.93	1.12	21.7
Aach51w	8.45	339.	1.94	90.2	4.99	78.5	34.6	1.03	1.22	31.9
Aach52	23.7	429.	0.83	80.7	17.3	113.	25.7	1.31	4.15	30.8
Aach53	1.54	155.	0.49	57.3	5.94	82.1	5.42	0.63	1.39	26.1
Aach54	4.41	444.	1.05	52.6	5.60	116.	8.48	0.65	1.39	28.1
Aach55	12.1	387.	0.32	79.7	6.37	73.7	32.4	0.90	1.13	35.1
Huy88	10.2	476.	1.12	84.8	5.65	117.	10.0	1.12	1.56	26.9
mittl. Fehler	0.12	44.	0.17	0.43	0.08	0.70	0.16	0.02	0.00	1.9
					7			1	9	
in %	1.4	14.	30.	0.6	1.1	0.6	1.0	2.2	0.5	7.9

Tabelle 1ff: Konzentrationsdaten von 24 Proben von Keramikbruchstücken von Aachen und von einer Probe von Huy

Probe	Hf	K%	La	Lu	Na%	Nd	Ni	Rb	Sb	Sc
ACK9	5.75	0.56	36.0	0.35	0.49	22.5	43.9	63.7	0.84	11.4
ACK12	4.97	1.50	42.3	0.33	0.46	25.9	42.1	92.1	4.18	15.6
ACK20	6.71	1.45	40.0	0.37	0.65	26.5	--	81.9	3.84	14.6
ACK23	6.36	0.90	34.9	0.34	0.17	16.0	20.5	75.4	0.75	11.2
ACK24	5.21	0.93	41.4	0.32	0.70	27.2	62.0	89.5	23.5	15.5
ACK25	6.33	1.42	45.9	0.38	0.37	32.5	58.3	118.	1.69	12.5
ACK26	6.20	1.35	26.9	0.37	0.44	15.2	42.3	65.6	5.19	10.5
ACK28	8.93	1.78	44.9	0.44	0.68	31.6	58.3	136.	21.2	16.2
ACK29	4.78	0.96	42.1	0.35	0.37	24.9	--	86.4	1.27	15.6
ACK30	4.64	1.04	40.6	0.33	0.45	24.2	--	89.9	2.36	14.7
ACK31	5.12	0.78	41.7	0.33	0.55	26.2	51.7	76.0	12.1	14.9
ACK32	7.55	0.99	42.6	0.41	0.33	27.1	48.2	115.	0.80	22.3
ACK33	7.35	2.12	40.6	0.41	0.54	22.4	116.	113.	2.27	22.2
ACK34	5.38	0.69	33.3	0.32	0.41	15.9	--	62.8	0.76	10.1
ACK35	10.3	2.98	51.1	0.52	0.58	38.2	59.4	140.	2.45	16.1
ACK36	5.35	1.17	48.3	0.35	1.38	31.8	49.1	90.4	81.2	16.7
ACK37	7.97	2.12	46.4	0.47	0.44	28.5	67.7	140.	1.59	23.7
ACK38	6.12	1.06	37.0	0.35	0.30	16.9	25.4	77.8	1.01	11.6
Aach50	9.69	1.62	43.0	0.35	0.08	30.5	--	139.	1.82	11.1
Aach51	9.09	1.71	41.0	0.39	0.09	36.4	40.5	153.	1.91	11.5
Aach51w	10.2	1.91	46.2	0.43	0.11	30.8	53.0	164.	2.14	12.4
Aach52	5.29	1.84	40.2	0.39	0.33	31.0	72.9	146.	1.19	16.2
Aach53	5.50	2.03	32.0	0.27	0.80	21.8	--	92.8	2.22	10.4
Aach54	7.84	0.85	29.1	0.38	0.14	20.3	--	67.9	0.95	12.4
Aach55	9.99	1.65	40.5	0.40	0.11	35.9	45.2	150.	1.95	11.3
Huy88	6.31	1.60	45.3	0.40	0.91	29.8	--	117.	51.5	15.3
mittl. Fehler	0.06	0.02	0.09	0.01	0.00	2.3	23.	2.4	0.12	0.01
5		8	9	3	4					9
in %	1.0	2.0	0.2	3.5	0.9	8.6	46.	2.3	1.3	0.1

Tabelle 1ff: Konzentrationsdaten von 24 Proben von Keramikbruchstücken von Aachen und von einer Probe von Huy

Probe	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn	Zr
ACK9	3.40	1.60	0.55	11.0	2.29	2.61	32.9	214.
ACK12	4.23	1.44	0.53	12.4	4.68	2.26	48.8	178.
ACK20	4.63	2.23	0.58	14.6	2.97	2.60	57.2	246.
ACK23	2.69	1.75	0.53	11.0	2.10	2.58	52.7	223.
ACK24	4.43	1.45	0.56	13.0	4.99	2.26	38.5	182.
ACK25	5.26	1.83	0.71	12.6	2.39	2.76	69.8	243.
ACK26	2.49	1.95	0.53	10.7	2.29	2.72	65.2	214.
ACK28	5.51	1.82	0.79	17.9	4.87	3.13	64.0	342.
ACK29	4.14	1.34	0.56	12.9	4.95	2.46	64.8	195.
ACK30	4.01	1.40	0.55	12.4	5.00	2.30	60.8	200.
ACK31	4.12	1.37	0.59	12.4	5.05	2.42	124.	185.
ACK32	4.56	2.17	0.71	13.3	2.83	2.74	108.	273.
ACK33	4.38	2.10	0.71	13.2	3.11	2.66	452.	260.
ACK34	2.61	1.54	0.46	10.1	2.59	2.34	113.	190.
ACK35	6.26	1.94	0.90	20.1	5.44	3.95	92.4	375.
ACK36	5.75	1.61	0.72	15.5	5.62	2.14	104.	231.
ACK37	5.17	2.24	0.78	14.4	3.72	3.10	198.	282.
ACK38	2.82	1.77	0.54	11.1	3.26	2.67	80.6	186.
Aach50	--	1.42	0.72	16.3	3.92	2.93	45.0	328.
Aach51	--	1.43	0.72	15.5	4.07	2.89	47.8	319.
Aach51w	5.14	1.53	0.69	17.4	4.98	3.07	46.3	358.
Aach52	--	1.10	0.68	12.3	2.92	2.77	172.	170.
Aach53	--	1.75	0.42	9.91	1.67	2.24	62.8	141.
Aach54	--	1.93	0.55	12.3	2.80	2.86	642.	295.
Aach55	--	1.43	0.68	15.4	4.13	3.02	60.5	326.
Huy88	5.31	1.39	0.62	12.0	3.16	2.69	79.0	248.
mittl. Fehler	0.02	0.05	0.05	0.07	0.19	0.05	2.6	20.
	4	1	1	3		1		
in %	0.6	3.1	8.1	0.5	5.2	1.9	2.3	8.3

Tabelle 2 (von W. Giertz, 12. 12. 2013): Neutronenaktivierungsanalyse von karolingerzeitlichen Glasschmelztiegeln und typengleichen Schüsseln aus Aachen, Grabungen Büchelthermen/Kaiserbad 1956/57, Hof 1964/65 und Domquadrum 1993
Probenliste mit Probennrn Bonn und Göttingen und Inv.-Nr. LVR-LM

ACK 9 (LM 67.651) - AC Kaiserbad, „10 Lesefunde“: Ws graugelbe IW, Glashafenfragment, bez. „20“ (Glasanalyse: „ACK_009“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

ACK 12 (LM 67.660) - AC Kaiserbad, „6a neue Nr. 12“: Ws graugelbe IW, Glashafenfragment, bez. „72“ (Glasanalyse: „ACK_012“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTa\]](#)

ACK 20 (LM 67.673,1) - AC Kaiserbad, „17 Lesefunde“: Ws graugelbe IW, Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_020“) [\[Ware HUYT 4a/d oder 9c\]](#) [\[single\]](#) makroskopisch wie Huy 88 !

ACK 23 (LM 67.670) - AC Kaiserbad, „4“ neue Nr. „15“: Ws schwarzgraue IW, Schüssel/Glashafen(?)fragment, bez. „74“ (Glasanalyse: „ACK_023“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTb\]](#)

ACK 24 (Stadtarchäologie) - AC Domquadrum, „178-1“: Ws graue IW, Glashafenfragment Glasanalyse: „ACK_24“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTa / Sb hoch\]](#)

ACK 25 (Stadtarchäologie) - AC Domquadrum, „97-7“: Ws braune IW, Glashafenfragment Glasanalyse: „ACK_25“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

ACK 26 (LM 67.683,1) - AC Hof, „139 Schnitt 19“: 2 Ws /anpassend) braugelbe IW, Glashafenfragmente (Glasanalyse: „ACK_026“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

ACK 28 (LM 67.679,1) - AC Hof, „83 siehe 81“: Ws graue IW, Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_028“) [\[Vorgebirgsware Badorf-Typ?\]](#) [\[single\]](#)

ACK 29 (LM 67.675,1) - AC Hof, „9 Schnitt 10“: Ws graugelbe IW, Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_029“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTa\]](#)

ACK 30 (LM 67.675,2) - AC Hof, „9 Schnitt 10“: Rs graugelbe IW, Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_030“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTa\]](#)

ACK 31 (LM 67.675,3) - AC Hof, „9 Schnitt 10“: Bs graugelbe IW, Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_031“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTa\]](#)

ACK 32 (LM 67.676,2) - AC Hof, „10 Schnitt 10“: Glashafenfragmente (Glasanalyse:

„ACK_032 [\[Ware Mayen ME\]](#) [\[AGTc = MayU\]](#) und

ACK 33 [\[single / ist aber wohl von demselben Gefäß wie ACK_32 ! \]](#)

ACK 34 (LM 67.681,1) - AC Hof, „87 Schnitt 11“: Rs graugelbe IW, Glashafenfragment
(Glasanalyse: „ACK_034“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTb\]](#)

ACK 35 (LM 67.682,1) - AC Hof, „93 Profile“: 2Rs und 1 Ws graubraune IW (anpassend),
Glashafenfragmente (Glasanalyse: „ACK_035“)
[\[Ware Mayen? gelb\]](#) [\[single\]](#)

ACK 36 (LM 67.677,1) - AC Hof, „33 Schnitt 12“: Bs graugelbe IW, Glashafenfragment
(Glasanalyse: „ACK_036“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

ACK 37 (LM 67.677,2) - AC Hof, „33 Schnitt 12“: Bs rotbraune IW (Linsenboden),
Glashafenfragment (Glasanalyse: „ACK_037“; NAA: „“) [\[Ware Mayen ME\]](#) [\[AGTc = MayU\]](#)

ACK 38 (LM 67.678,1) - AC Hof, „53 Schnitt 28“: Ws graugelbe IW, Glashafenfragment
(Glasanalyse: „ACK_038“; NAA: „“) [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[AGTb\]](#)

Aach 50 (LM 67.657) - AC Kaiserbad, „6a neue Nr. 12“: Rs gelbe IW, Schüssel/Glashafen,
bez. „9“ [\[Ware Mayen? gelb\]](#) [\[AacE\]](#)

Aach 51 (LM 67.658) - AC Kaiserbad, „6a neue Nr. 12“: Rs graugelbe IW,
Glashafenfragment, bez. „33“ [\[Ware Mayen? gelb\]](#) [\[AacE\]](#)

Aach 52 (LM ohne Inv.-Nr) - AC Kaiserbad, „16 Lesefunde“: Rs rötlichgelbe rwW,
Bandaufgabe M69 [\[rötlichgelbe rauhw. Ware\]](#) [\[single\]](#)

Aach 53 (LM 67.659) - AC Kaiserbad, „6a neue Nr. 12“: Rs graugelbe IW,
Glashafenfragment, bez. „71“ [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

Aach 54 (LM 67.656) - AC Kaiserbad, „10 Lesefunde“: Rs schwarzgraue IW,
Mörserfragment, bez. „11“ [\[Ware HUYT 4b\]](#) [\[single\]](#)

Aach 55 (LM 67.684,1) - AC Kaiserbad, „16 Lesefunde“: Rs gelbe IW,
Schüssel/Glashafen(?)fragment, [\[Ware Mayen? gelb\]](#) [\[AacE\]](#)

Huy 88 (Giertz G90/5-9+) - Huy/B, Ruelle des Coucous 1988-90, Straßenschnitt III,
Profil A-B, Schicht 2 ,oben‘: Ws graugelbe IW,
Glashafenfragment [\[Ware HUYT 9c oder 4a/d\]](#)
- makroskopisch wie ACK 20 ! [\[single\]](#)

Tabelle 3: Mittlere Konzentrationswerte M in µg/g (ppm), wenn nicht anders bezeichnet, und Varianzen (mittlere quadratische Abweichung in % von M) der Gruppen, die im Datensatz der 25 Proben von Aachen und Huy geformt wurden. Vor Berechnung der Mittelwerte wurden die individuellen Proben mit ihrem besten relativen Anpassungsfaktor (Verdünnungsfaktor) an M multipliziert (s. Tab. 4).

	AGTa 5 samples		AGTb 3 samples		mayU-ACK 2 samples		mayU-58 58 samples		AacE 3 samples	
	M	σ(%)	M	σ(%)	M	σ(%)	M	σ(%)	M	σ(%)
As	3.43	(29.)	1.77	(36.)	13.1	(1.9)	10.3	(33.)	9.89	(26.)
Ba	267.	(18.)	192.	(34.)	518.	(11.)	616.	(20.)	375.	(5.5)
Ca%	0.52	(35.)	0.48	(36.)	0.57	(26.)	0.71	(49.)	0.26	(45.)
Ce	78.7	(1.1)	59.1	(2.0)	79.3	(0.6)	84.1	(5.4)	80.9	(2.8)
Co	6.85	(5.3)	5.63	(10.)	18.0	(24.)	9.10	(30.)	6.21	(9.9)
Cr	96.1	(2.4)	96.3	(2.5)	205.	(1.0)	189.	(7.7)	72.5	(2.1)
Cs	10.2	(1.1)	8.22	(5.6)	5.92	(2.4)	6.31	(7.8)	32.3	(0.9)
Eu	0.92	(4.6)	0.69	(4.7)	1.20	(2.0)	1.25	(6.0)	0.91	(3.1)
Fe%	1.37	(4.8)	1.22	(3.3)	5.10	(0.8)	4.81	(16.)	1.11	(1.7)
Ga	22.8	(4.4)	23.1	(11.)	23.8	(9.8)	25.5	(15.)	26.2	(25.)
Hf	4.94	(4.2)	5.95	(5.9)	7.75	(1.1)	7.17	(7.1)	9.59	(4.8)
K%	1.04	(26.)	0.88	(17.)	1.53	(47.)	1.72	(14.)	1.66	(2.5)
La	41.6	(1.0)	35.0	(0.8)	44.5	(1.2)	46.7	(5.8)	41.5	(3.9)
Lu	0.33	(3.0)	0.34	(2.4)	0.44	(4.2)	0.46	(3.9)	0.38	(5.8)
Na%	0.51	(24.)	0.30	(44.)	0.38	(15.)	0.16	(22.)	0.096	(16.)
Nd	25.6	(6.5)	16.3	(8.6)	27.8	(6.6)	32.0	(9.0)	34.1	(11.)
Ni	51.8	(41.)	22.5	(83.)	58.1	(48.)	63.2	(20.)	42.7	(72.)
Rb	86.8	(7.7)	71.8	(7.1)	127.	(8.7)	138.	(9.1)	148.	(4.5)
Sb	--		0.84	(14.)	1.18	(42.)	0.91	(19.)	1.89	(3.1)
Sc	15.3	(1.8)	11.0	(2.8)	23.0	(0.8)	23.7	(4.8)	11.3	(1.6)
Sm	4.18	(3.0)	2.71	(1.3)	4.86	(4.0)	5.07	(6.3)	--	
Ta	1.40	(3.8)	1.69	(3.9)	2.21	(2.7)	2.37	(8.7)	1.43	(5.2)
Tb	0.56	(8.0)	0.51	(7.8)	0.74	(7.9)	0.73	(8.1)	0.71	(8.8)
Th	12.6	(1.7)	10.7	(2.1)	13.9	(1.0)	14.0	(3.9)	15.7	(3.7)
U	4.93	(3.9)	2.64	(20.)	3.26	(14.)	2.73	(7.1)	4.03	(4.7)
Yb	2.34	(3.7)	2.53	(2.2)	2.92	(3.9)	3.03	(4.6)	2.94	(2.2)
Zn	67.5	(50.)	82.9	(41.)	151.	(37.)	95.9	(12.)	51.1	(16.)
Zr	188.	(9.4)	200.	(11.)	277.	(8.2)	310.	(12.)	324.	(7.9)

Tabelle 4: Liste der Gruppenmitglieder und der individuellen besten relative Anpassungsfaktoren (Verdünnungsfaktoren)in () der Gruppen:

1. Group **AGTa** mit 5 samples:

ACK 12 (1.00), 24 (0.99), 29 (0.99), 30 (1.02), 31 (1.00)}

2. Group **AGTb** mit 3 samples:}

ACK 23 (1.00), 34 (1.05),38 (0.96)}

3. Group **mayU-ACK** mit 2 samples:}

ACK 32 (1.06), 37 (0.94)}

[Bester relative Anpassungsfaktor der Gruppe mayU-ACK in Bezug auf die Gruppe mayU58 (1.02)]

4. Group **mayU58** mit58 samples:}

Mayen 13 (0.99), 27 (0.97),29 (0.99), 31 (0.97), 33 (1.04), 34 (0.96), 36 (1.01), 37 (0.94), 39 (0.93), 40 (0.85), 42 (1.00), 43 (0.95), 45 (1.02), 46 (1.01), 47 (0.98), 50 (0.99), 51 (1.00), 53 (0.97), 54 (0.98), 56 (0.99), 57 (1.00), 58 (1.01), 59 (0.99), 60 (0.98), 61 (0.95), 62 (0.93), 63 (1.01), 64 (0.97), 65 (1.07), 66 (0.98), 67 (0.96), 68 (1.04), 69 (1.13), 70 (0.97), 71 (0.99), 72 (1.00), 73 (1.03), 74 (1.03), 75 (1.05), 76 (1.04), 77 (1.04), 78 (1.02), 79 (1.06), 80 (1.06), 81 (1.07), 83 (1.06), 85 (1.02), 86 (0.96), 87 (0.98), 88 (0.94), 89 (0.99), 90 (0.98), 91 (1.08), 92 (0.98), 93 (0.98), 94 (1.00), Dom 3 (0.93), Tati 8 (1.02)}

5. Group **AacE** mit 3 samples:}

Aach 50 (1.01), 51 (1.00), 51w (1.00),55 (1.00)}

Tab. 5: Gegenüberstellung der archäologisch und archäometrisch durch eine NAA gebildeten Gruppen der 25 untersuchten Bruchstücke (Probennummern unter 50 bezeichnen ACK Proben).

arch./NAA Gruppe	AGTa	AGTb	AacE	mayU	Einzelstücke
HUYT 4b	12, 24, 29, 30, 31	23, 34, 38			9, 25, 26, 36, Aach 53, 54
Mayen? IR gelb			Aach 50, 51, 51w,55		35
Mayen ME				32, 37	33
HUYT 4a/d od. 9c					20, Huy 88
Badorf Typ?					28
rötl. rauwand. Ware					Aach 52

Addendum zu: NA Analyse von Aachener Glastiegeln

(Mommsen, HISKP, Uni Bonn 27-10-2014)

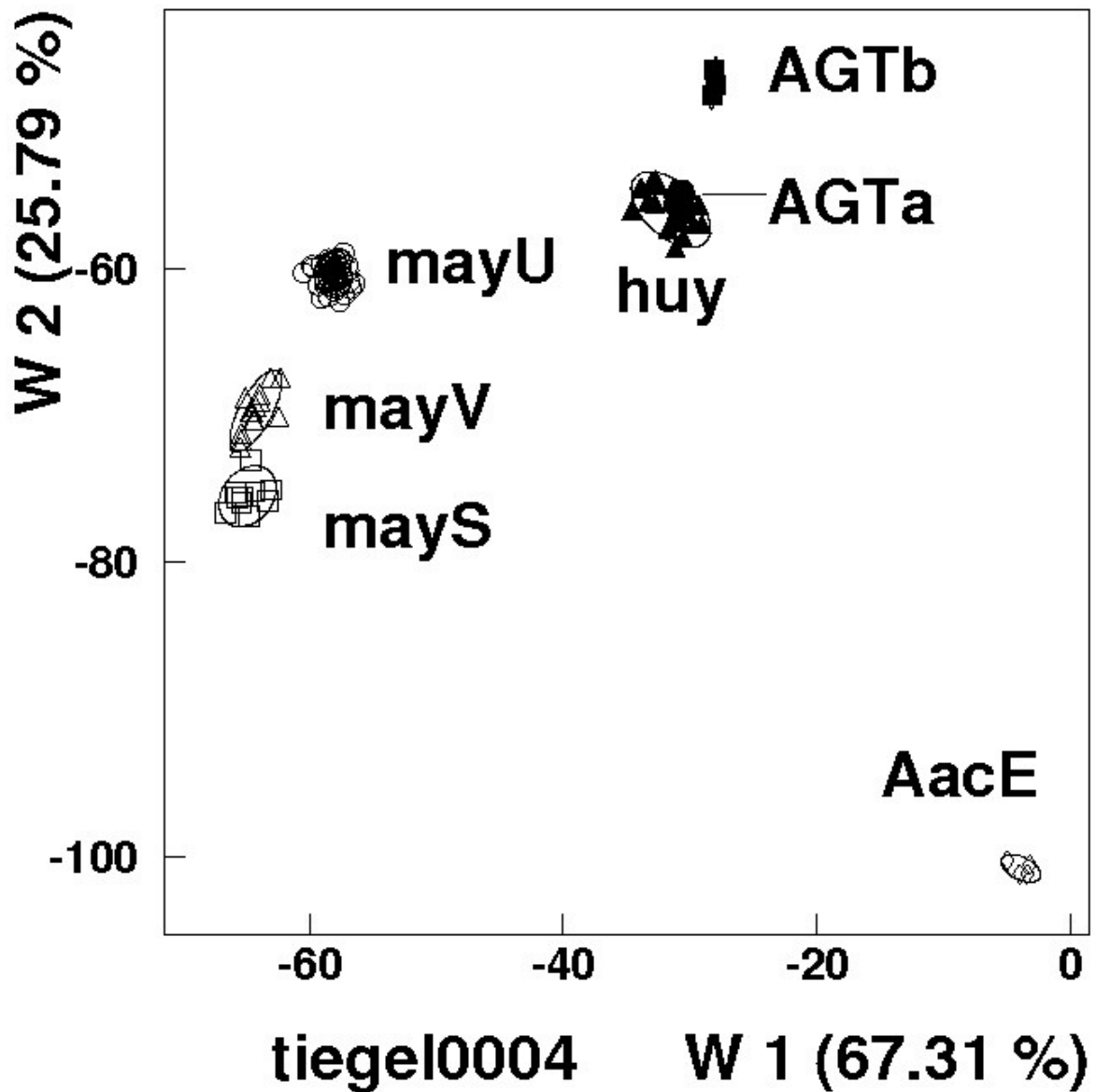


Fig. 1: Diskriminanzanalyse der Keramikproben in den 7 Clustern von Mayen (Muster mayS, mayV, mayU einschließlich der beiden Stücke von Glastiegeln von Aachen ACK 32 und 37), von Huy (Muster huy) und von den drei neuen Gruppen der Glastiegel von Aachen AGTa, AGTb und AacE. Dargestellt sind die Diskriminanzfunktionen W1 und W2, die 67 und 26 % der Gesamtvarianz beschreiben. Die Überlappung von Cluster huy mit AGTa ist in anderen Projektionen nicht gegeben, s. Fig. 2.

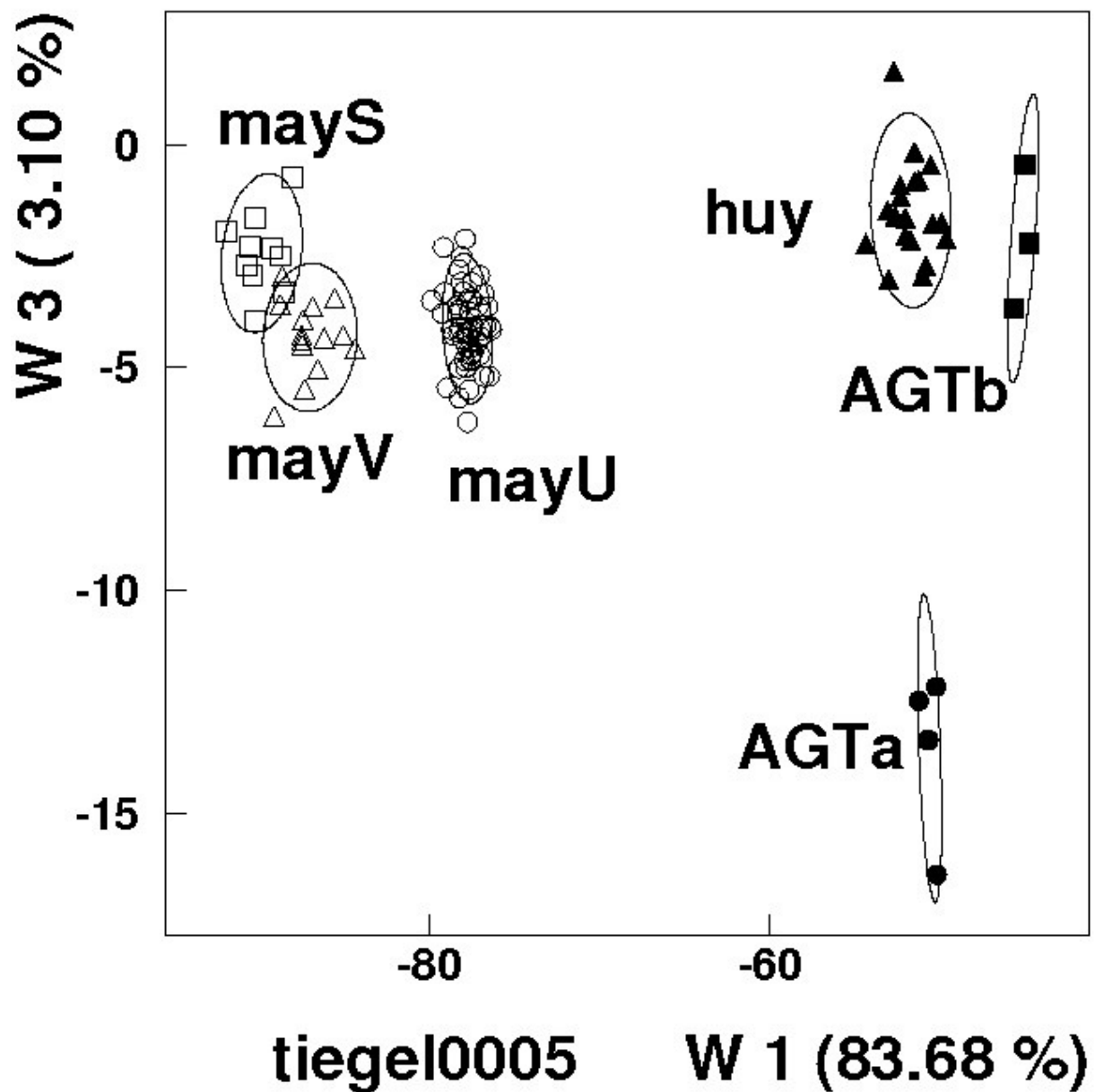


Fig. 2: Diskriminanzanalyse der Keramikproben in den 6 Clustern von Mayen (Muster mayS, mayV, mayU inklusive der beiden Stücke von Glastiegeln von Aachen ACK 32 und 37), von Huy (Muster huy) und von den zwei neuen Gruppen der Glastiegel von Aachen AGTa, AGTb, wobei hier der in Fig. 1 abseits liegende 7. Cluster AacE weggelassen ist. Dargestellt sind die Diskriminanzfunktionen W1 und W3, in der die Cluster huy und AGTa getrennt sind.