

# Die Neutronenaktivierungsanalyse

Einführung und Anwendungen in der Archäologie

---

Felix Kußmaul

23. Juli 2016

Seminar zu naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden  
von Fundkeramik und ihrer archäologischen Interpretation

Universität zu Köln

## Before we start ...

- Zu langsam/schnell/leise/laut/undeutlich? **Bitte meckern!**

## Before we start ...

- Zu langsam/schnell/leise/laut/undeutlich? **Bitte meckern!**
- Fragen **jederzeit** willkommen

## Before we start ...

- Zu langsam/schnell/leise/laut/undeutlich? **Bitte meckern!**
- Fragen **jederzeit** willkommen
- Ich bin kein Kernphysiker, deshalb:  
Darstellungen und Ausführungen sind stark vereinfacht!

## Before we start ...

- Zu langsam/schnell/leise/laut/undeutlich? **Bitte meckern!**
- Fragen **jederzeit** willkommen
- Ich bin kein Kernphysiker, deshalb:  
Darstellungen und Ausführungen sind stark vereinfacht!
- Du sollst keine anderen Editoren neben **vim** haben

# Agenda

Einordnung

Neutronenaktivierung

Grundlagen

Neutronenaktivierung

Anwendungsbeispiel

Einrichtungen

Fazit

# EINORDNUNG

---

*“NAA is a sensitive analytical technique useful for performing both qualitative and quantitative **multi-element analysis** of major, minor, and trace elements in samples from almost every conceivable field of scientific or technical interest.”*

– Dr. Michael Glascock, MURR



Wir Archäologen nutzen NAA seit Jahrzehnten erfolgreich für

- die Bestimmung der **Herkunft** eines Objektes
- die Überprüfung der **Echtheit** eines fragwürdigen Gegenstandes
- Studien zur **Herstellung** und **Nutzung** von Artefakten

Wir treffen folgende wichtige Annahmen:

- (i) Kein Handel mit Rohstoffen
- (ii) Bei hoher Präzision gilt ein Elementmuster als **charakteristisch** für einen Ort
- (iii) Gefäße mit gleichem Elementmuster stammen vom selben Ort





Herkunft<sub>A</sub>

$\stackrel{?}{=}$

Herkunft<sub>B</sub>





Herkunft<sub>A</sub>

Muster<sub>A</sub>

$\stackrel{?}{=}$

$=$

Herkunft<sub>B</sub>

Muster<sub>B</sub>





Herkunft<sub>A</sub>

=

Herkunft<sub>B</sub>

Muster<sub>A</sub>

=

Muster<sub>B</sub>



## Bekannte Herausforderungen:

- Nur selten wurde Rohton direkt verwendet.

*Meist wurde er vor dem Töpfern gesäubert oder mit anderem Ton vermischt.*

## Bekannte Herausforderungen:

- Nur selten wurde Rohton direkt verwendet.  
*Meist wurde er vor dem Töpfern gesäubert oder mit anderem Ton vermischt.*
- Variation bei der Aufbereitung führt zur Veränderung der Zusammensetzung.  
*Die Konzentrationswerte müssen relativ zueinander betrachtet werden.*



## Bekannte Herausforderungen:

- Nur selten wurde Rohton direkt verwendet.  
*Meist wurde er vor dem Töpfern gesäubert oder mit anderem Ton vermischt.*
- Variation bei der Aufbereitung führt zur Veränderung der Zusammensetzung.  
*Die Konzentrationswerte müssen relativ zueinander betrachtet werden.*
- Veränderungen durch Brand und Bodenlagerung für bestimmte Elemente.  
*Die betroffenen Elemente werden bei der Messung nicht berücksichtigt.*

## Bekannte Herausforderungen:

- Nur selten wurde Rohton direkt verwendet.  
*Meist wurde er vor dem Töpfern gesäubert oder mit anderem Ton vermischt.*
- Variation bei der Aufbereitung führt zur Veränderung der Zusammensetzung.  
*Die Konzentrationswerte müssen relativ zueinander betrachtet werden.*
- Veränderungen durch Brand und Bodenlagerung für bestimmte Elemente.  
*Die betroffenen Elemente werden bei der Messung nicht berücksichtigt.*
- Messungenauigkeiten oder -fehler.

## Problem mit Streuungen

Gewisse Streuungen (5-10%) sind normal für Proben mit homogener Masse.

Zur Einteilung in Gruppen von Proben wollen wir nicht mehr als diesen Toleranzbereich zulassen, da sonst das zu „diffuse“ Gesamtmuster eine Unterscheidung verschiedener Herkünfte stark erschwert.

## Zuordnung: Muster $\mapsto$ Werkstatt, VLLT STREICHEN?!

- Schwerster Schritt.
- Notwendig: Finden von Referenzmaterial *für jede Produktionsserie*.  
Dafür gut geeignet sind **Fehlbrände** aus Abfallhaufen.

## Zuordnung: Muster $\mapsto$ Werkstatt, VLLT STREICHEN?!

- Schwerster Schritt.
- Notwendig: Finden von Referenzmaterial *für jede Produktionsserie*.  
Dafür gut geeignet sind **Fehlbrände** aus Abfallhaufen.

Alternativ: Logische Schlüsse anhand von **Verteilungen**:

Lokale Produktion genau dann, wenn chemisches Muster dort in großen Stückzahlen gefunden wurde (nicht nur Keramik)

(1) Jede Probe  $s$  ist ein **Punkt** in einem  $n$ -dimensionalen Raum:

$$s = (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

wobei  $c_i$  die Konzentration des  $i$ -ten Elements in der Probe ist.

- (1) Jede Probe  $s$  ist ein **Punkt** in einem  $n$ -dimensionalen Raum:

$$s = (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

wobei  $c_i$  die Konzentration des  $i$ -ten Elements in der Probe ist.

- (2) Ähnlich zusammengesetzte Proben liegen in einer **Punktwolke**.

- (1) Jede Probe  $s$  ist ein **Punkt** in einem  $n$ -dimensionalen Raum:

$$s = (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

wobei  $c_i$  die Konzentration des  $i$ -ten Elements in der Probe ist.

- (2) Ähnlich zusammengesetzte Proben liegen in einer **Punktwolke**.
- (3) Finden von Punktwolken durch statistische Verfahren am Computer  
⇒ **äquivalent zum Gruppieren der Proben!**



Ermitteln von zweidimensionalen Bildern durch *Diskriminanzanalyse* (anm: zB 3 gruppen: mittelpunkte d. wolken spannen ebene auf)

# NEUTRONENAKTIVIERUNG

---

(i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1

- (i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1
- (ii) *Neutronen*  $n$  sind el. neutral geladene Teilchen mit Masse 1

- (i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1
- (ii) *Neutronen*  $n$  sind el. neutral geladene Teilchen mit Masse 1
- (iii) Protonen und Neutronen fassen wir als *Nukleonen* zusammen

- (i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1
- (ii) *Neutronen*  $n$  sind el. neutral geladene Teilchen mit Masse 1
- (iii) Protonen und Neutronen fassen wir als *Nukleonen* zusammen
- (iv) Protonenzahl (*Ordnungszahl*)  $Z$  im Atomkern bestimmt das *Element*

- (i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1
- (ii) *Neutronen*  $n$  sind el. neutral geladene Teilchen mit Masse 1
- (iii) Protonen und Neutronen fassen wir als *Nukleonen* zusammen
- (iv) Protonenzahl (*Ordnungszahl*)  $Z$  im Atomkern bestimmt das *Element*
- (v) Nukleonenzahl (*Massenzahl*)  $A$  im Atomkern bestimmt die *Atommasse*

- (i) *Protonen*  $p$  sind positiv geladene Teilchen mit Masse 1
- (ii) *Neutronen*  $n$  sind el. neutral geladene Teilchen mit Masse 1
- (iii) Protonen und Neutronen fassen wir als *Nukleonen* zusammen
- (iv) Protonenzahl (*Ordnungszahl*)  $Z$  im Atomkern bestimmt das *Element*
- (v) Nukleonenzahl (*Massenzahl*)  $A$  im Atomkern bestimmt die *Atommasse*
- (vi) Wir schreiben:

${}^A_Z \text{Element}$     oder kurz     ${}^A \text{Element}$





Kohlenstoffisotop mit 14 Nukleonen im Kern: 6 Protonen und  $14 - 6 = 8$  Neutronen.

(i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst
  - (2) Radionuklide  $\Rightarrow$  instabil; Spontanzerfall, bis stabiler Zustand erreicht wird

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst
  - (2) Radionuklide  $\Rightarrow$  instabil; Spontanzerfall, bis stabiler Zustand erreicht wird
- (ii) Produkte des Zerfalls bzw. der Spaltung:

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst
  - (2) Radionuklide  $\Rightarrow$  instabil; Spontanzerfall, bis stabiler Zustand erreicht wird
- (ii) Produkte des Zerfalls bzw. der Spaltung:
  - (a)  $\alpha$ -Strahlung: Helium-Kerne (zwei Protonen, zwei Neutronen)

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst
  - (2) Radionuklide  $\Rightarrow$  instabil; Spontanzerfall, bis stabiler Zustand erreicht wird
- (ii) Produkte des Zerfalls bzw. der Spaltung:
  - (a)  $\alpha$ -Strahlung: Helium-Kerne (zwei Protonen, zwei Neutronen)
  - (b)  $\beta$ -Strahlung: Elektronen bei  $\beta^-$ , Positronen bei  $\beta^+$

- (i) Atomkerne teilt man in zwei Gruppen auf:
  - (1) Stabile Nuklide  $\Rightarrow$  zerfallen *nicht* von selbst
  - (2) Radionuklide  $\Rightarrow$  instabil; Spontanzerfall, bis stabiler Zustand erreicht wird
- (ii) Produkte des Zerfalls bzw. der Spaltung:
  - (a)  $\alpha$ -Strahlung: Helium-Kerne (zwei Protonen, zwei Neutronen)
  - (b)  $\beta$ -Strahlung: Elektronen bei  $\beta^-$ , Positronen bei  $\beta^+$
  - (c)  $\gamma$ -Strahlung: Photonen



# Agenda

Einordnung

Neutronenaktivierung

Grundlagen

Neutronenaktivierung

Anwendungsbeispiel

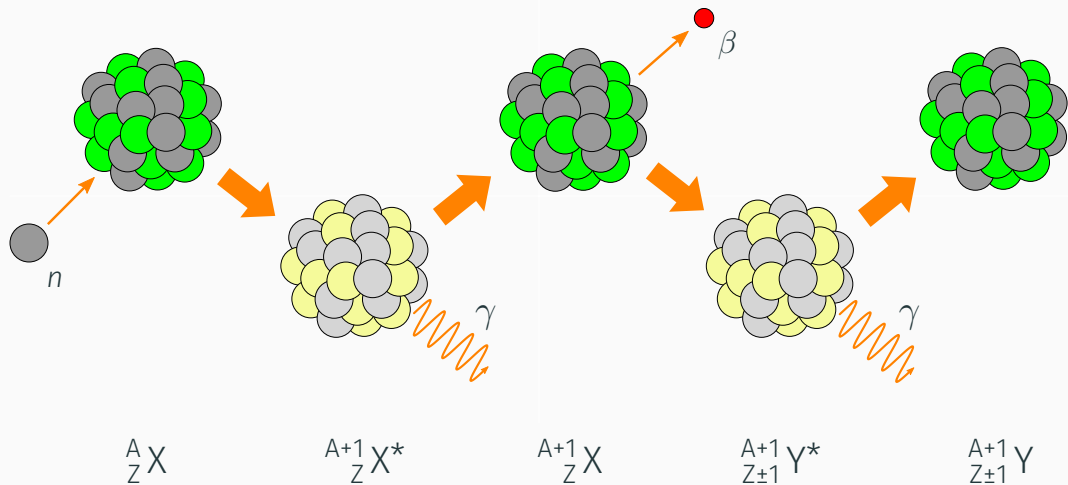
Einrichtungen

Fazit

## Prinzip:

Neutronen werden auf ein Objekt geschossen, dessen Atome dann nach und nach angereichert und somit radioaktiv. Die Strahlung gibt Aufschluss über die Elementkonzentration im Objekt.

# Neutronenaktivierung





## ANWENDUNGSBEISPIEL



---

## EINRICHTUNGEN

---

## FAZIT

---

-  H. Mommsen, Naturwissenschaftliche Keramikanalysen durch Neutronenaktivierung (NAA): Methode und Ergebnisse, in: Töpferzentren der Ostägäis, hrsg. von F. Krinzing, Ergänzungshefte zu den Jahresheften des Österreichischen Archäologischen Institutes 3 (Wien 2002)
-  H. Mommsen, Naturwissenschaftliche Keramikanalysen durch Neutronenaktivierung (NAA): Methode und Ergebnisse, in: Töpferzentren der Ostägäis, hrsg. von F. Krinzing, Ergänzungshefte zu den Jahresheften des Österreichischen Archäologischen Institutes 3 (Wien 2002)



# Die Neutronenaktivierungsanalyse

Einführung und Anwendungen in der Archäologie

---

Felix Kußmaul

23. Juli 2016

Seminar zu naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden  
von Fundkeramik und ihrer archäologischen Interpretation

Universität zu Köln