

# Eine Rekonstruktion der Ausbreitung bronzezeitlicher Bestattungssitten im weiteren Mitteleuropa anhand von C14-Daten – Methodische Inspirationen zu Cultural Transmission

Clemens Schmid



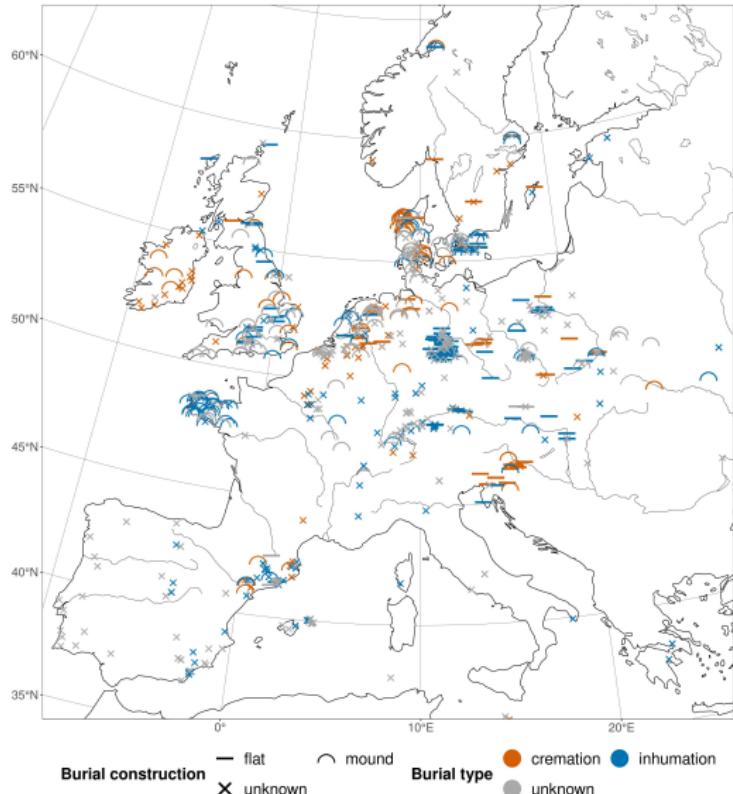
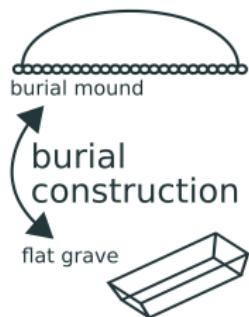
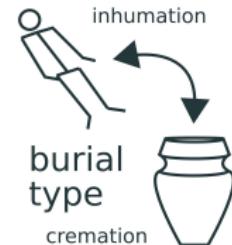


© Niels Bach - <http://nielsbach.blogspot.com>

- Einführung zum Datensatz
- Kulturelle Distanz, räumliche Distanz und Korrelation
- Interpolation und Gruppen (neu!)
- Cultural Evolution
- Ideenausbreitung simulieren

# Einführung zum Datensatz

# Radiokarbondatierungen an Gräbern



**Radon-B:**  
Datenbank mit  
 $^{14}\text{C}$ -Daten aus  
der europäischen  
Bronzezeit

$^{14}\text{C}$ -Datierung ist  
eine wichtige  
absolute  
Datierungs-  
methode:  
Eine Datierung  
entspricht einem  
unscharfen  
Punkt in Raum  
und Zeit mit  
Kontext-  
informationen

Abbildung 1: Radon-B  $^{14}\text{C}$  Daten von Gräbern im Zeitraum 2200-800 calBC  
(Albers-Kegelprojektion).

# Gräber durch die Zeit

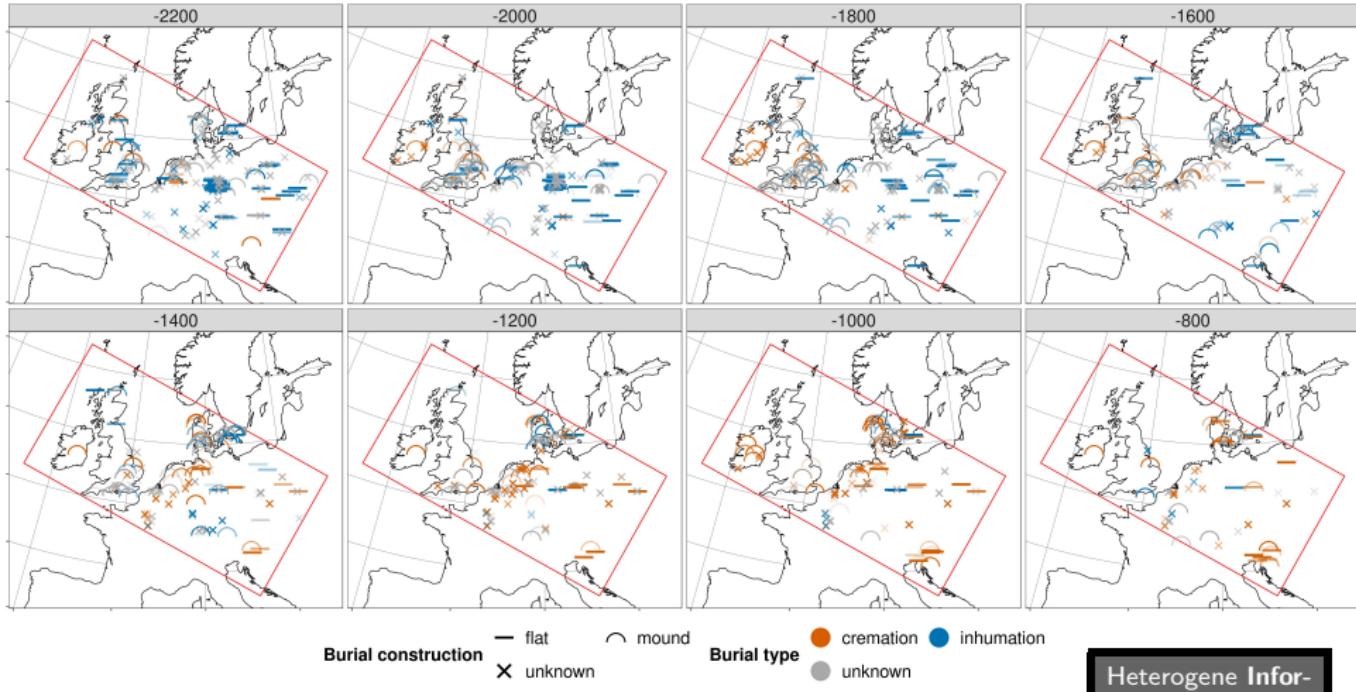


Abbildung 2:  $^{14}\text{C}$ -Daten an Gräbern durch die Zeit

Heterogene Informationsdichte in Raum und Zeit

# Künstliche Macro-Regionen

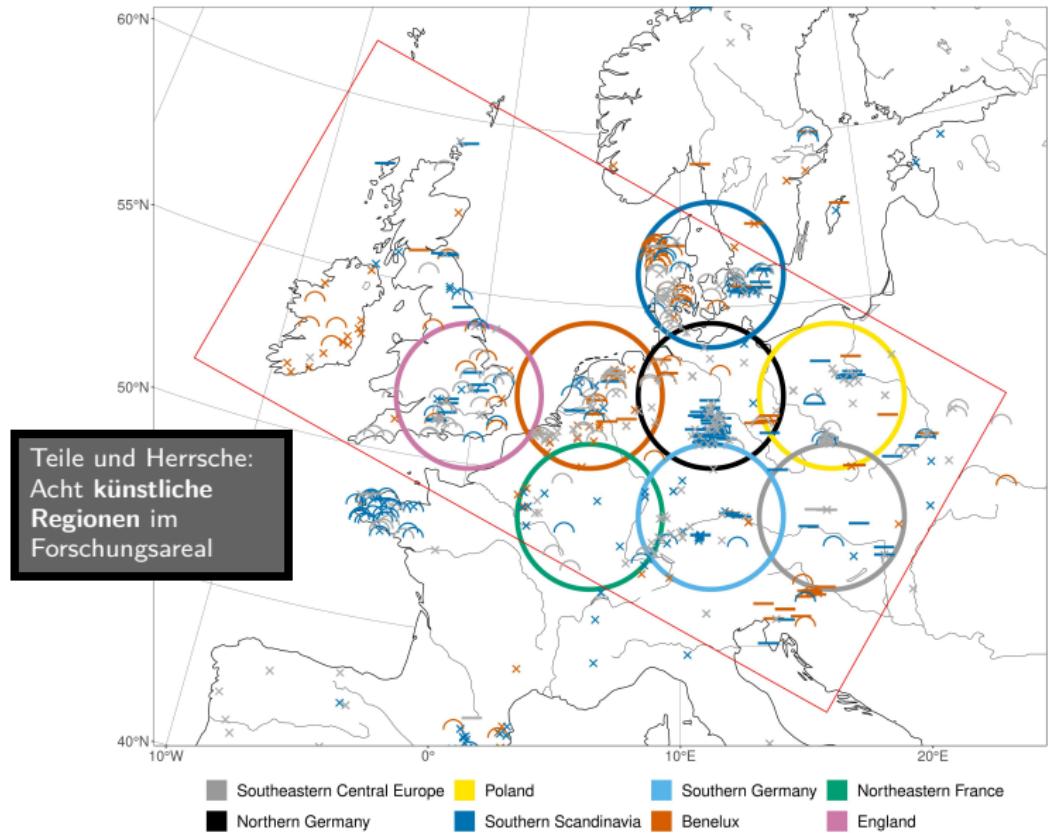


Abbildung 3: Künstliche Regionen: 400km Abstand, 240km Radius,  $\geq 70$  Datierungen.

# Regionale Zeitreihen – Absolute Anzahl

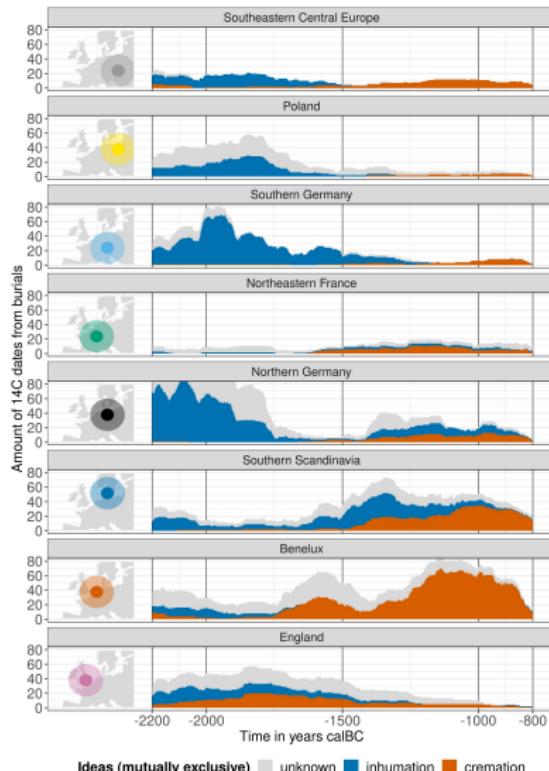


Abbildung 4: **burial type** development:  
Summe der  $^{14}\text{C}$ -Datierungen deren  $2\sigma$   
Bereich das jeweilige Jahr enthält.

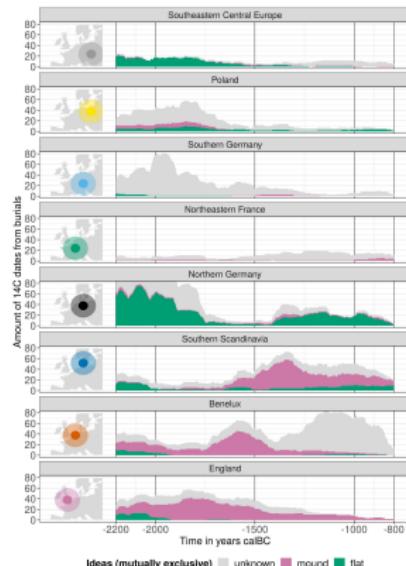


Abbildung 5: **burial construction**

Von einzelnen  $^{14}\text{C}$ -Datierungen zu  
regionalen Zeitreihen der  
Anwesenheit bestimmter  
Bestattungssitten.

# Regionale Zeitreihen – Relative Anteile

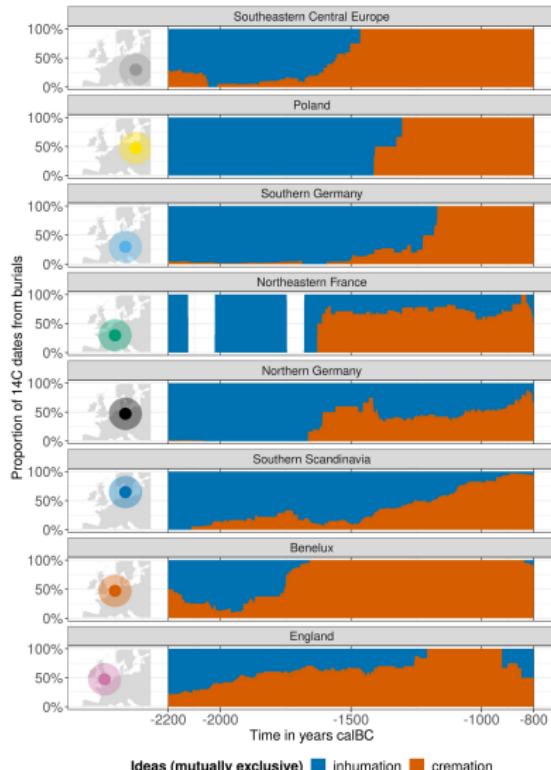


Abbildung 6: **burial type** Entwicklung:  
Jahrweise Anteile der Bestattungssitten.  
*unknown* wurde entfernt.

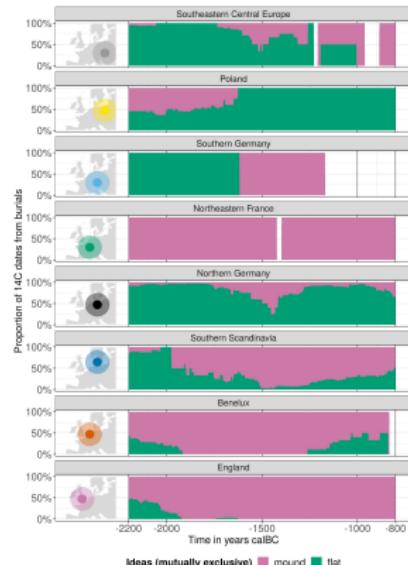


Abbildung 7: **burial construction**

Von Zeitreihen der absoluten Anzahl zu Zeitreihen der Anteile – ein Proxy

## Beobachtungen und Hypothesen

- **Punktdaten in Raum und Zeit** lassen sich zu **Proxies** umwandeln.
- Die **wichtigsten Entwicklungen** in der Verteilung europäisch-bronzezeitlicher Bestattungssitten lassen sich mit dieser **Radiokarbonatensammlung nachvollziehen**.

# Kulturelle Distanz, räumliche Distanz und Korrelation

## Kulturelle Distanz messen

Wie verhalten sich die regionalen Entwicklungen hinsichtlich **burial type** und **burial construction** zueinander? Welche Regionen verhalten sich ähnlich?  
Können wir die **Intensität räumlicher Interaktion** messen?

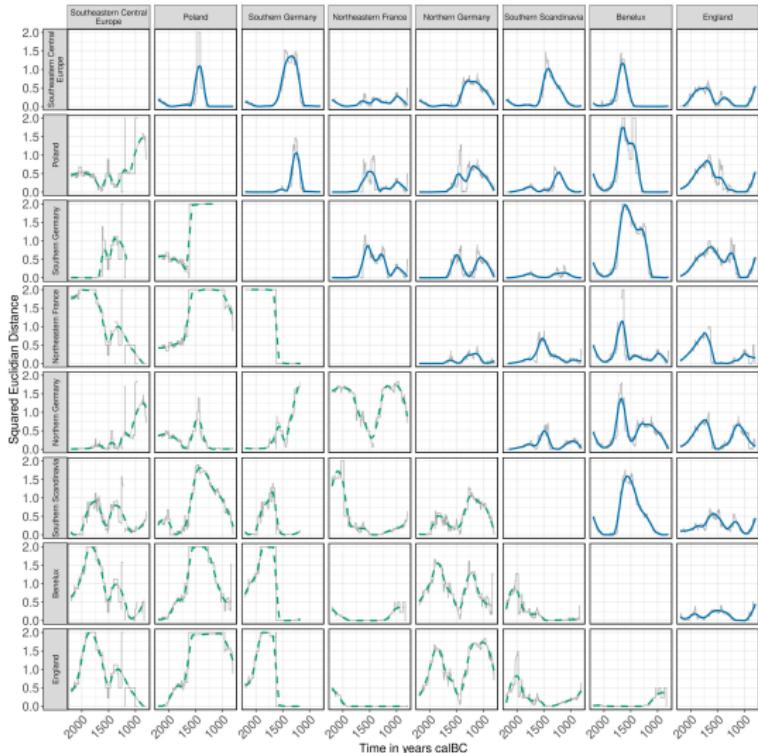
Die **Quadrierte Euklidische Distanz** (QED) ist ein einfaches Maß der **Ähnlichkeit zwischen Gruppen**, das sich auf den Proxy-Datensatz anwenden lässt.

$$d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n (p_{ik} - p_{jk})^2$$

- $d_{ij}^2$ : Quadrierte Euklidische Distanz zwischen zwei Gruppen  $i$  und  $j$
- $k$ : Variantenzähler
- $n$ : Summe der Varianten
- $p_{ik}$ : Relative Häufigkeit der  $k$ 'ten Variante in einer Population  $i$
- $p_{jk}$ : Relative Häufigkeit der  $k$ 'ten Variante in einer Population  $j$

# Distanzentwicklungsmaatrix

The QED kann für jedes Jahr und jede der  $8 * 8 = 64$  Regionen-Paare berechnet werden



**burial construction:**  
Heterogene Entwicklung

**burial type:**  
Hohe Ähnlichkeit am Anfang und am Ende aufgrund des allgemeinen Übergangs von Körper- zu Brandbestattung (Urnenfelderkultur)

Unterschiedliche Übernahmgeschwindigkeiten bilden sich als Distanzspitzen ab

Abbildung 8: QED Zeitreihen für jedes Region-Region Paar. Geglättet mit LOESS.  
**burial type** oben rechts, **burial construction** unten links.

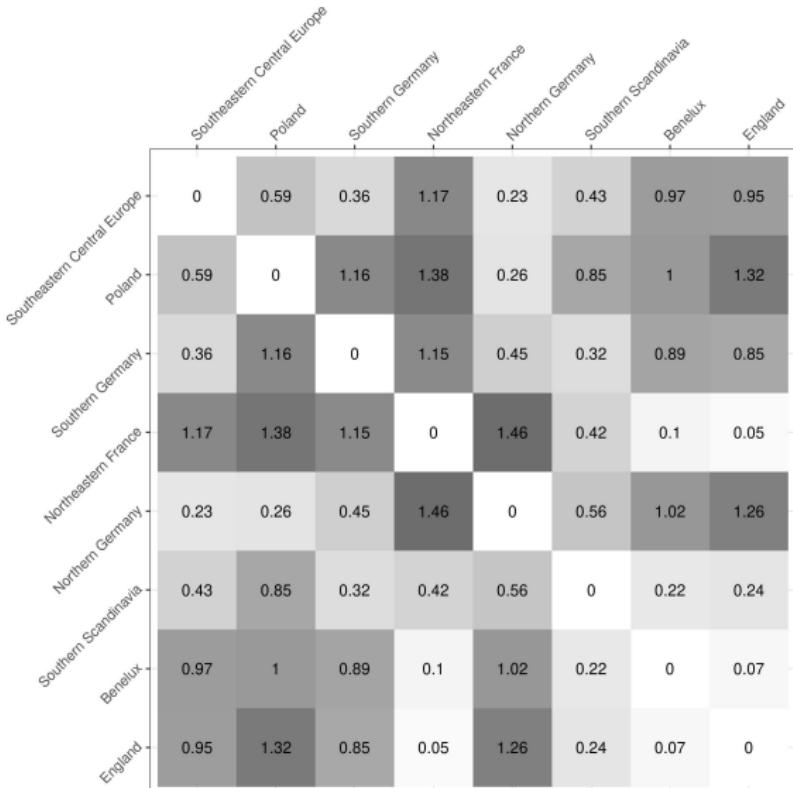
# Mittlere Distanzmatrix: Burial Type

	Southeastern Central Europe	Poland	Southern Germany	Northeastern France	Northern Germany	Southern Scandinavia	Benelux	England
Southeastern Central Europe	0	0.2	0.29	0.12	0.26	0.25	0.18	0.2
Poland	0.2	0	0.1	0.23	0.28	0.12	0.55	0.36
Southern Germany	0.29	0.1	0	0.25	0.2	0.06	0.62	0.38
Northeastern France	0.12	0.23	0.25	0	0.08	0.18	0.25	0.23
Northern Germany	0.26	0.28	0.2	0.08	0	0.12	0.48	0.35
Southern Scandinavia	0.25	0.12	0.06	0.18	0.12	0	0.48	0.26
Benelux	0.18	0.55	0.62	0.25	0.48	0.48	0	0.13
England	0.2	0.36	0.38	0.23	0.35	0.26	0.13	0

Zentral-europäisches Cluster?

Abbildung 9: **burial type:** Mittlere QED für jedes Regionen-Paar.  
Je kleiner (heller), desto ähnlicher.

# Mittlere Distanzmatrix: Burial Construction



Nordwest-europäisches Cluster?

Abbildung 10: **burial construction:** Mittlere QED für jedes Regionen-Paar.  
Je kleiner (heller), desto ähnlicher.

# Korrelation kultureller Distanzen

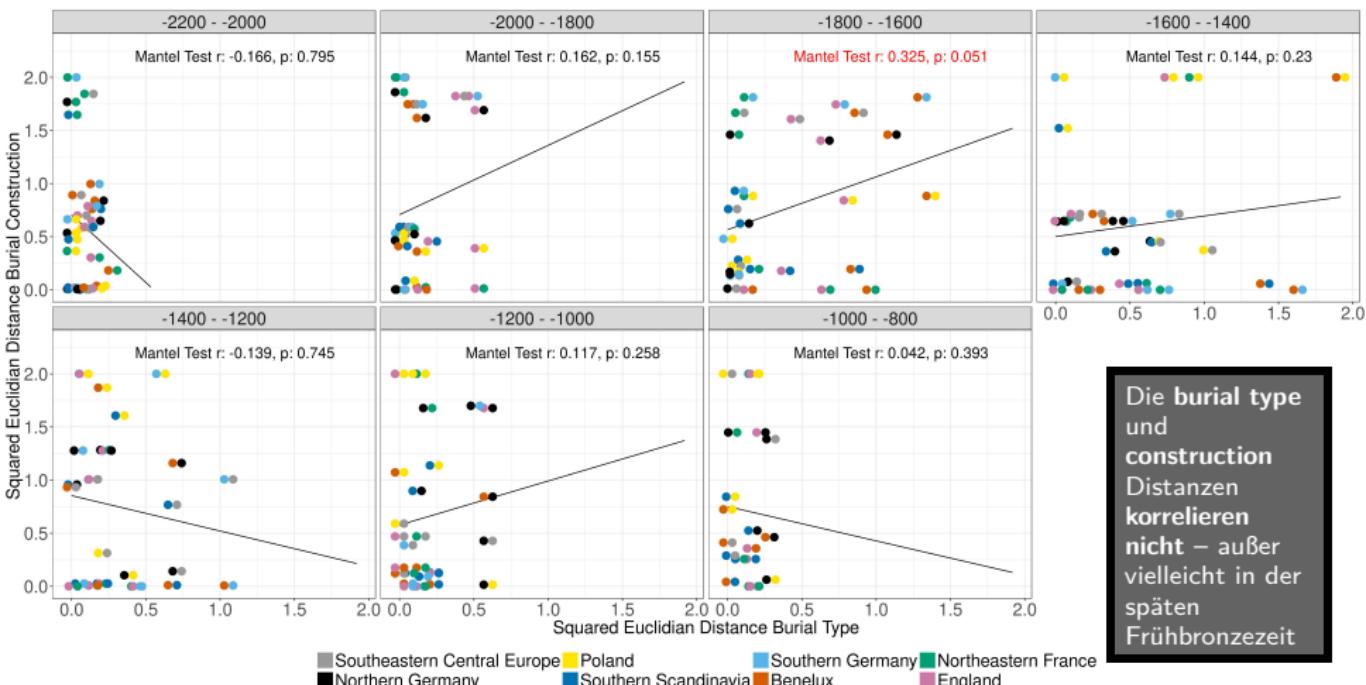


Abbildung 11: Korrelation der mittleren **burial type** und **burial construction** QED in Zeitscheiben von 200 Jahren. Jeder Doppelpunkt repräsentiert ein Regionen-Paar.

## Definition räumlicher Distanzklassen

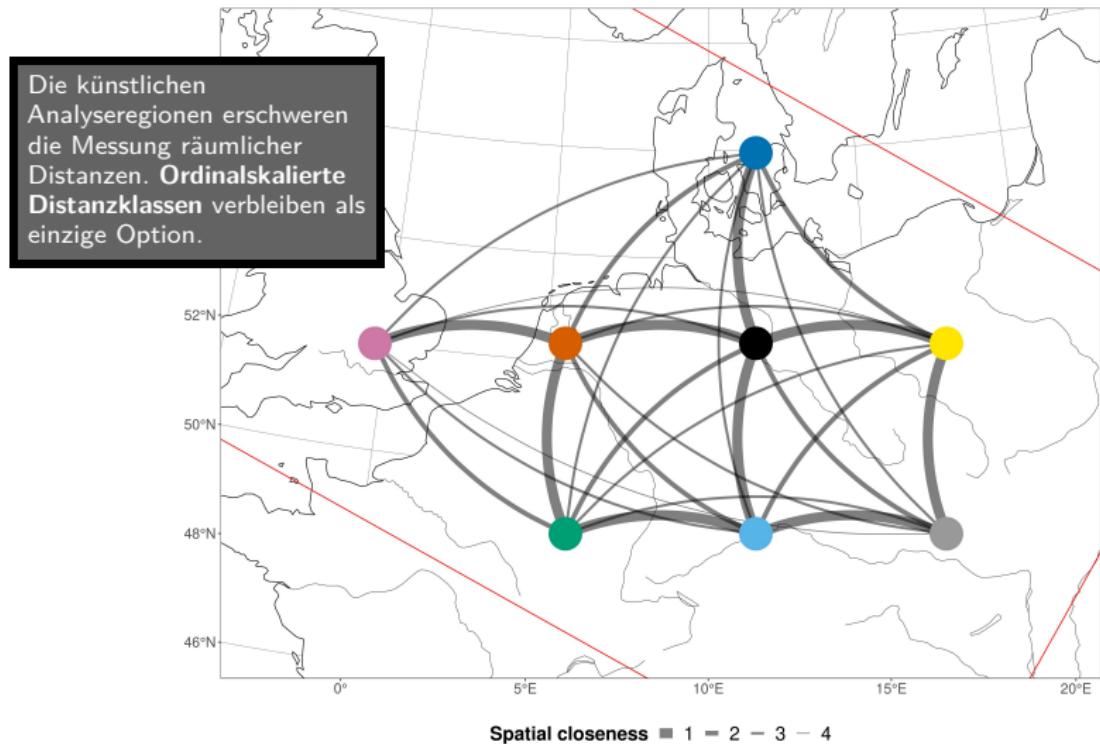


Abbildung 12: Räumliches Interaktionsnetzwerk und Definition von Distanzklassen

# Correlation of Burial Type and Spatial Distance

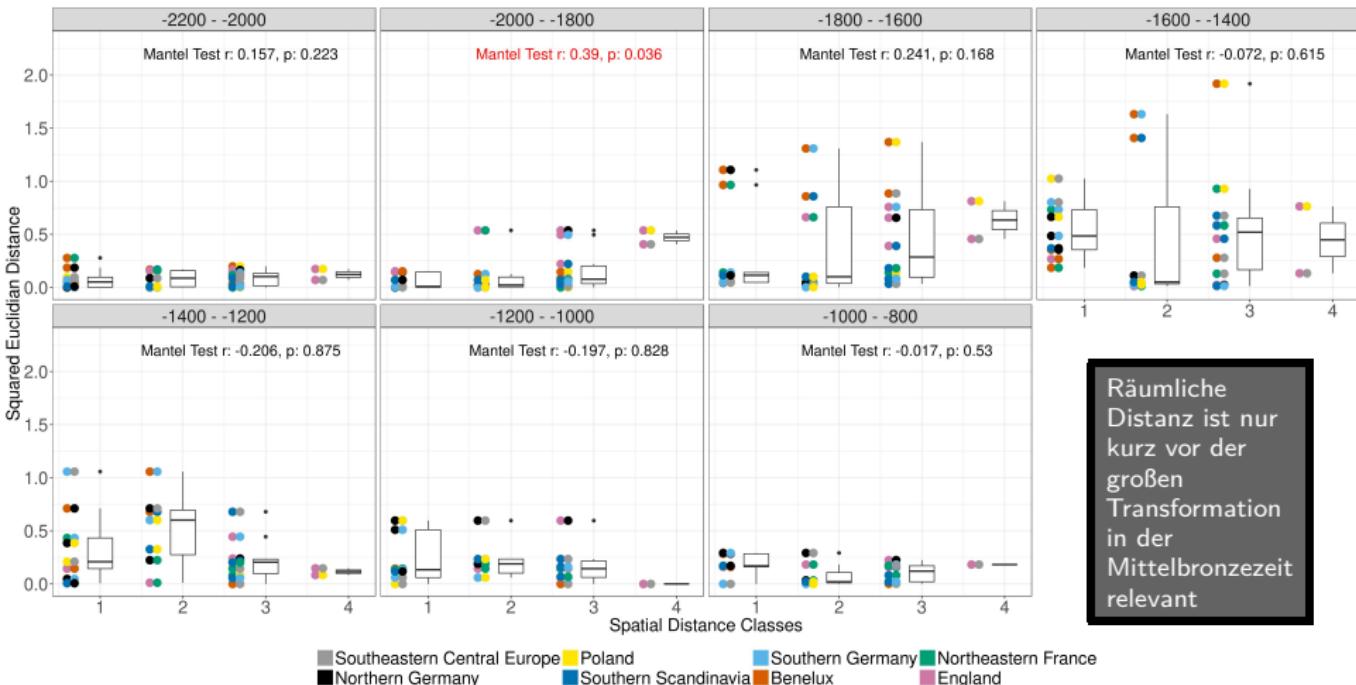


Abbildung 13: **burial type:** Korrelation der mittleren QED und räumlicher Distanz in Zeitscheiben von 200 Jahren.

# Correlation of Burial Construction and Spatial Distance

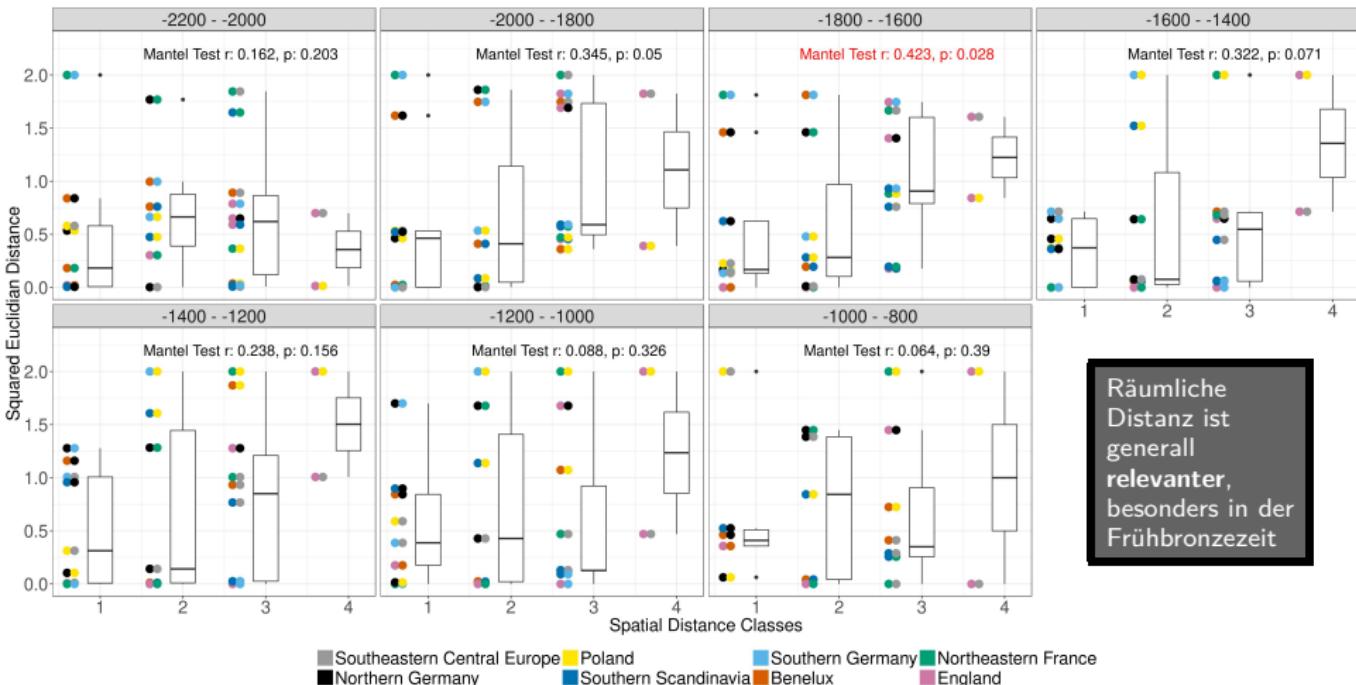


Abbildung 14: **burial construction:** Korrelation der mittleren QED und räumlicher Distanz in Zeitscheiben von 200 Jahren.

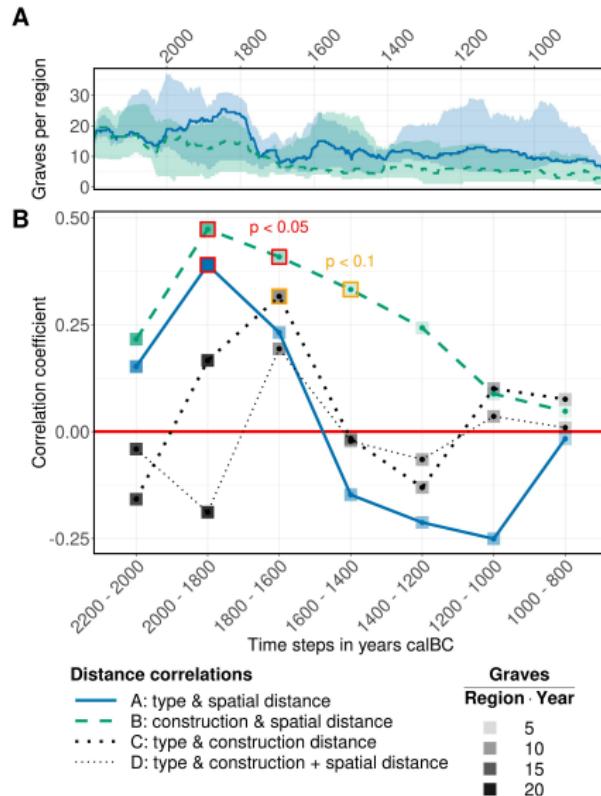
# Ergebnis: Korrelation kultureller und räumlicher Distanz

C&D: burial type & burial construction distance

Keine signifikante Korrelation

B: burial construction & spatial distance

Schwache Korrelation in der Frühbronzezeit, keine in der Spätbronzezeit



**A: burial type & spatial distance**  
Schwache Korrelation in der Frühbronzezeit, negative in der Spätbronzezeit

Abbildung 15: Zeitreihen der Korrelation kultureller und räumlicher Distanz in Schritten von 200 Jahren. Mantel Statistik mit Korrelationskoeffizient nach Pearson und Spearman.

## Beobachtungen und Hypothesen

- Die Ausbreitung der Brandbestattungssitte und Flach- und Hügelgrabtraditionen scheinen **weitestgehend unabhängig** voneinander abzulaufen
- Beide Prozesse scheinen **weitestgehend unabhängig von räumlicher Distanz** abzulaufen, abgesehen von einer Phase in der Frühbronzezeit
- Große Phänomene wie **Hügelgräberkultur** und **Urnenfelderkultur** scheinen sich auf diesem Maßstab **nicht in einfachen Diffusionsprozessen** auszubreiten und **regionale Isolation** scheint zuzunehmen
- Andere, nicht unmittelbar räumlich definierte **Interaktionsnetzwerke** könnten die Entwicklung besser erklären: z.B. Elitennetzwerke

# Interpolation und Gruppen

# Punkte in Raum und Zeit: 2D

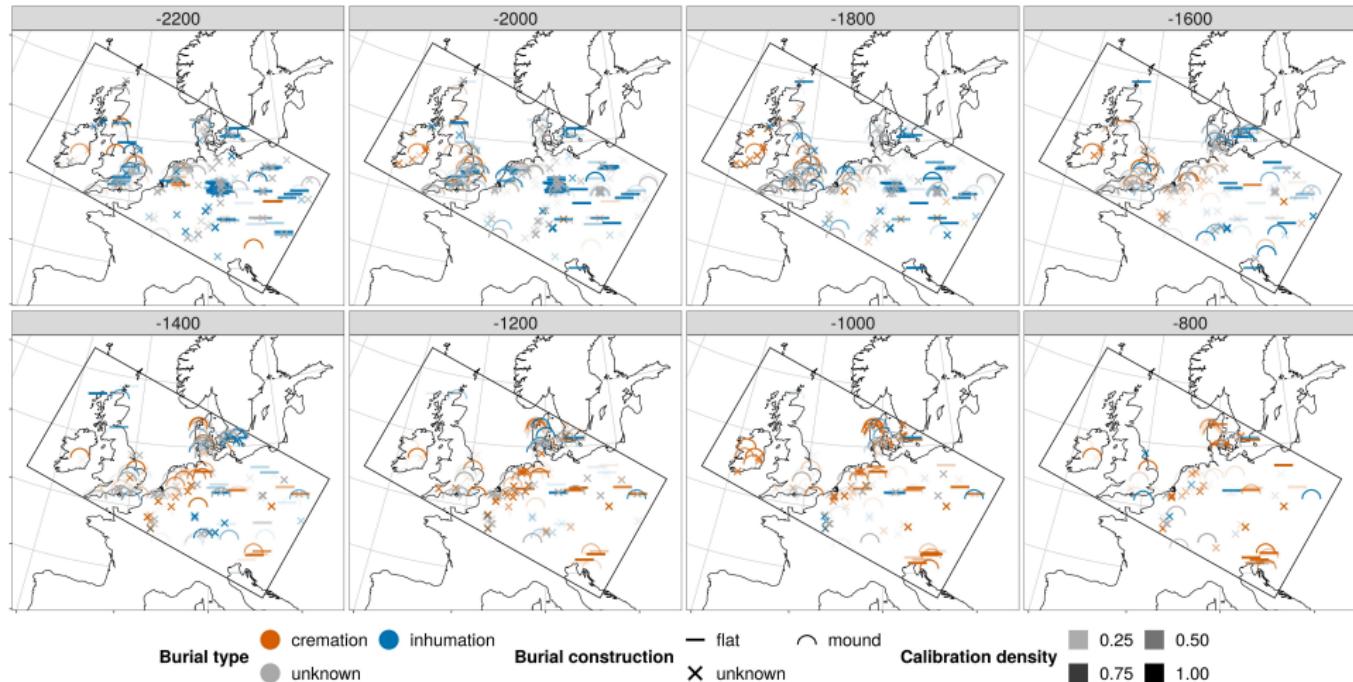


Abbildung 16:  $^{14}\text{C}$ -Daten an Gräbern durch die Zeit.

# Punkte in Raum und Zeit: 3D

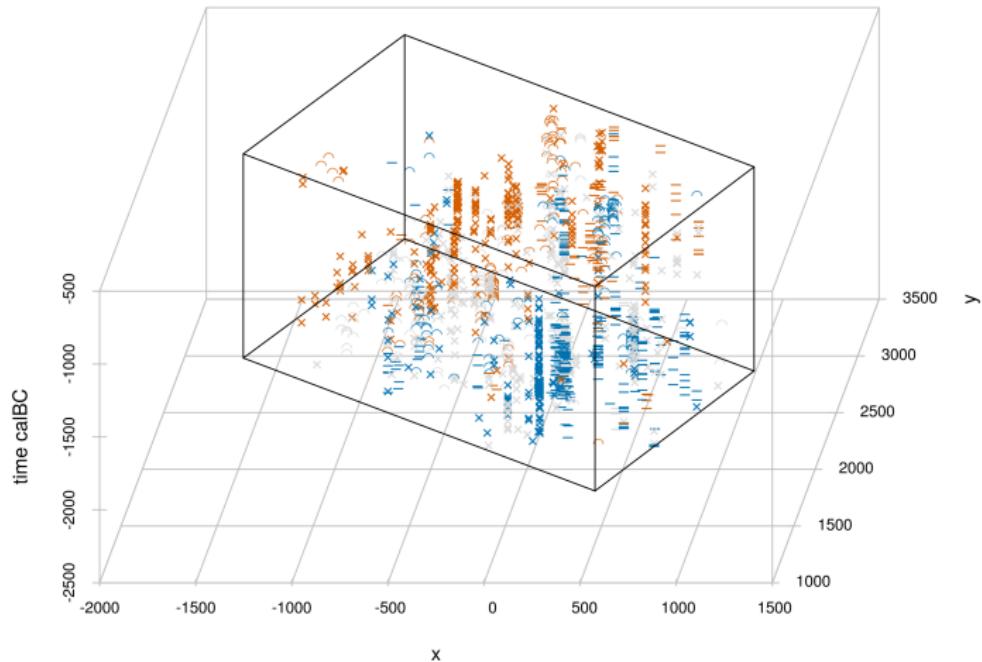
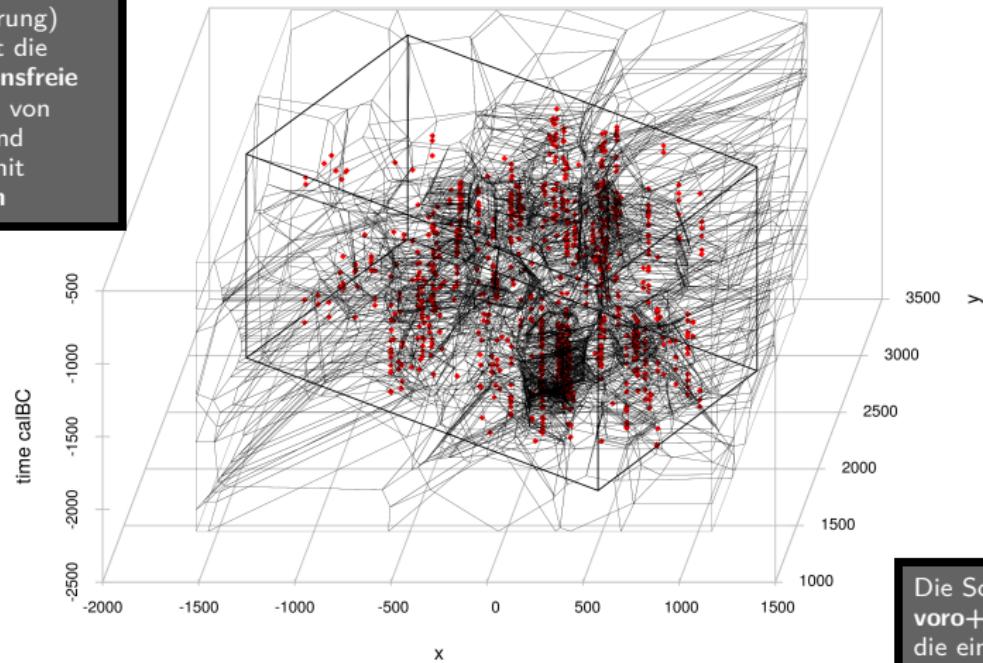


Abbildung 17: Alle Datierungen in Raum (x- und y-Achse) und Zeit (z-Achse).

# 3D Tessellation

Tessellation  
(Parkettierung)  
bezeichnet die  
überlappunsfreie  
Auffüllung von  
Flächen und  
Räumen mit  
**Polygonen**



Die Software  
**voro++** erlaubt  
die einfache  
Anwendung dieser  
Technik

Abbildung 18: Kanten der mit Tessellation abgeleiteten, raumfüllenden Polygone.  
Alle Dimensionen zwischen 0 und 1 skaliert.

# 3D Tessellation: Burial Type

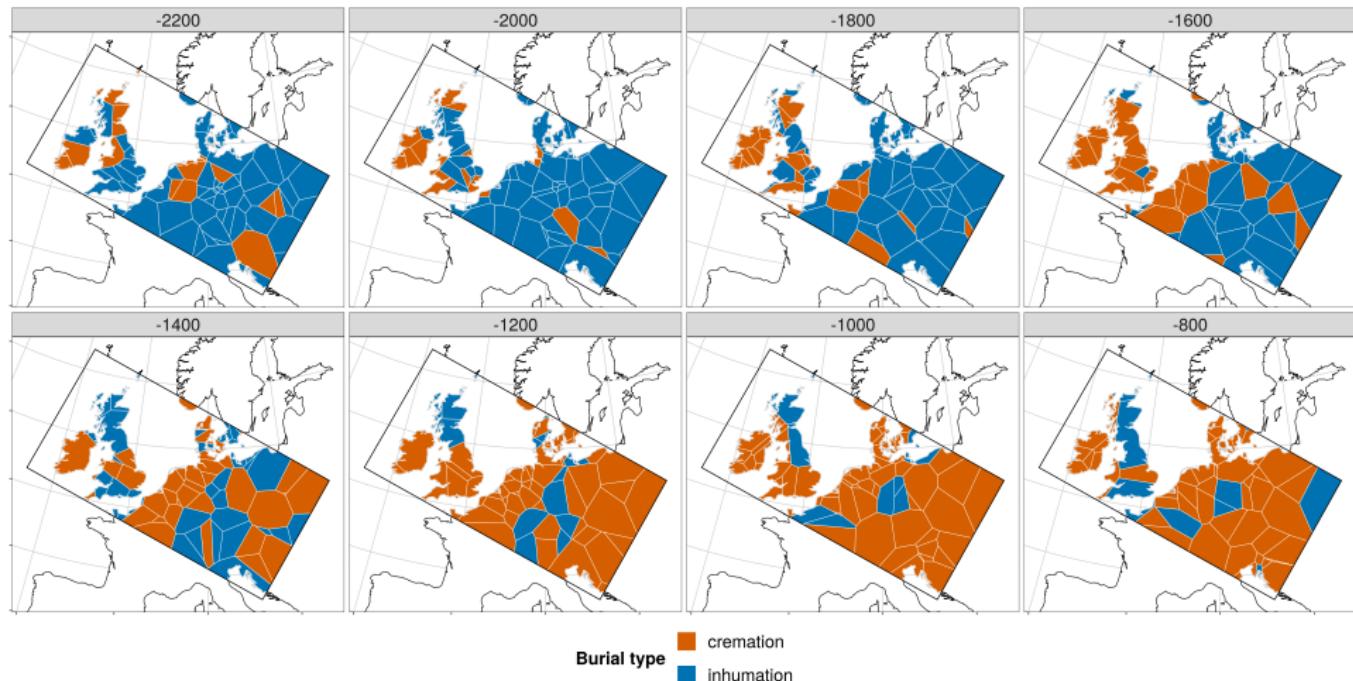
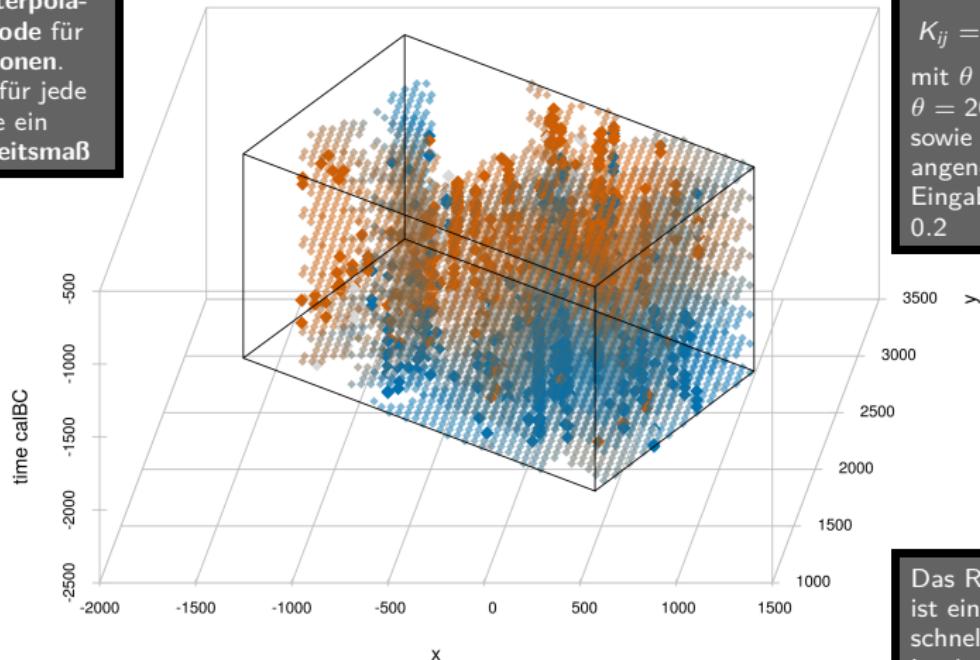


Abbildung 19: Zeitscheibenschnitte durch den tesselierten Raum für die Variable **burial type**.

Das R Paket **bleiglas** führt die erforderlichen Berechnungen automatisch aus.

# Gaussprozessregression

Gaussprozessregression (Kriging) ist eine Interpolationsmethode für  $n$  Dimensionen. Sie liefert für jede Vorhersage ein Unsicherheitsmaß



Quadrierter, exponentieller Kernel

$$K_{ij} = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{\theta}}$$

mit  $\theta = 50\text{km}$  und  $\theta = 200\text{ Jahre}$  sowie ein angenommener Eingabefehler von 0.2

Das R Paket **IaGP** ist eine besonders schnelle Implementierung von GPR

Abbildung 20: Mit Gaussprozessregression interpolierte Punkte zwischen den tatsächlichen Beobachtungen für die Variable **burial type**.

# Gaussprozessregression: Burial Type

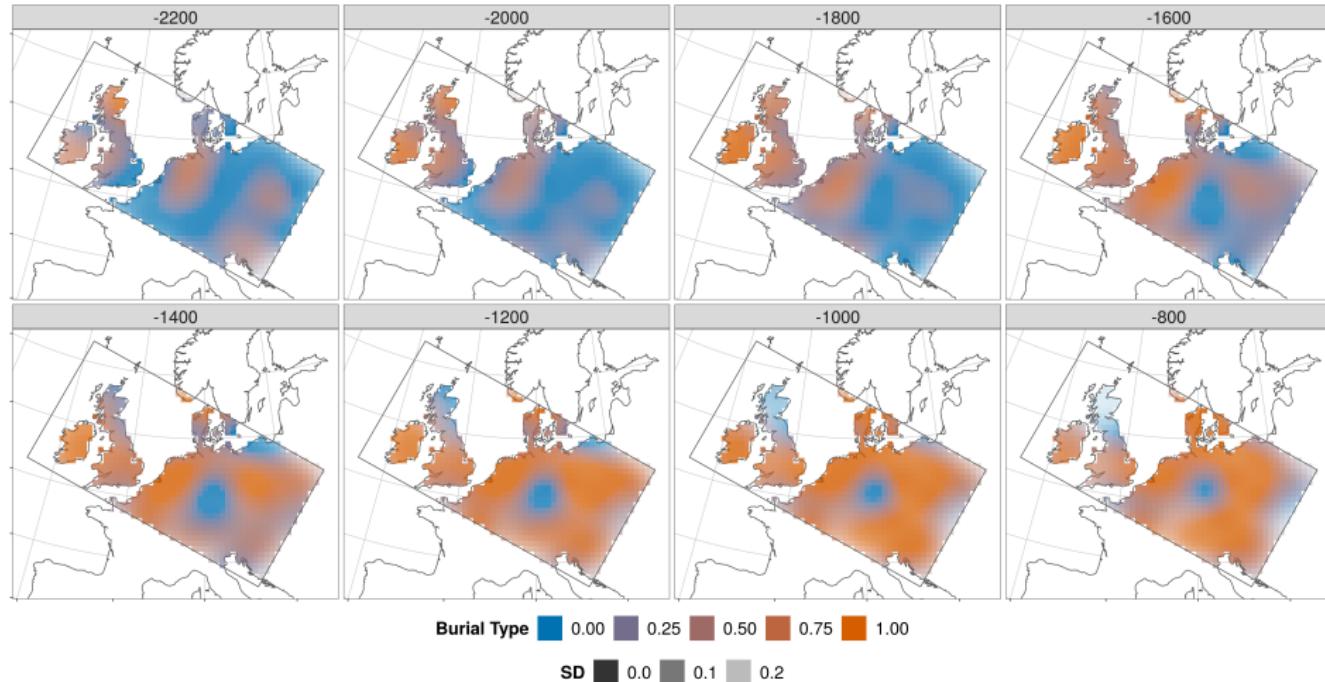


Abbildung 21: Zeitscheibenschnitte durch den interpolierten Raum für die Variable **burial type**. Unsicherheit wird mit Transparenz visualisiert.

# Gaussprozessregression: Burial Construction

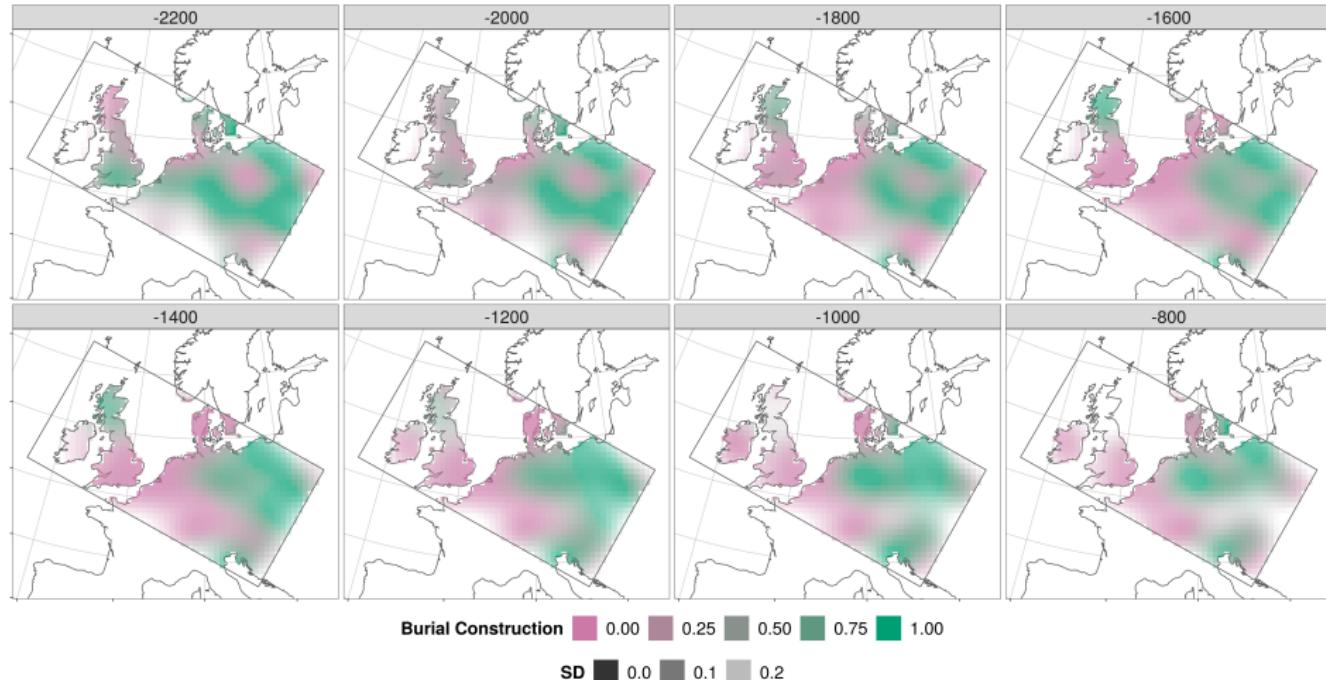


Abbildung 22: Zeitscheibenschnitte durch den interpolierten Raum für die Variable **burial construction**. Unsicherheit wird mit Transparenz visualisiert.

# Diachrones Verhalten an jedem Punkt im Raum

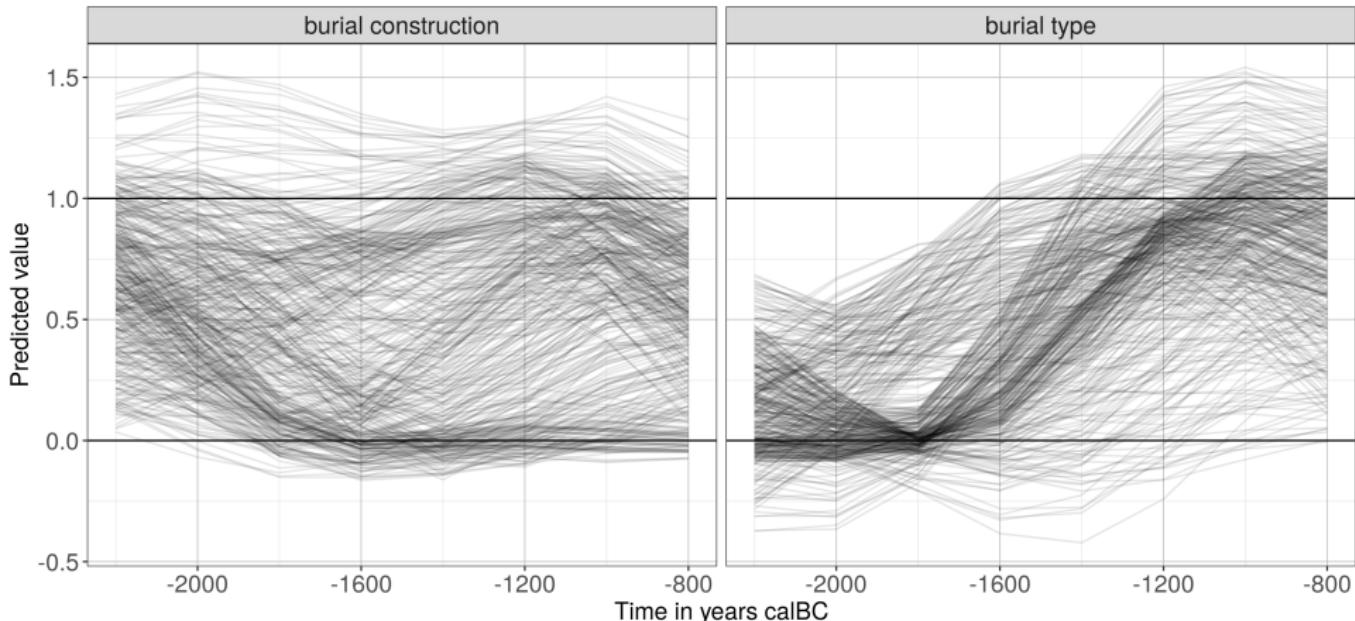


Abbildung 23: Vorhersageergebnisse für **burial type** und **burial construction** durch die Zeit  
für jeden Punkt im geographischen Raum mit durchgehend hinreichender  
Informationsdichte.

# Gruppen mit ähnlichem diachronen Verhalten

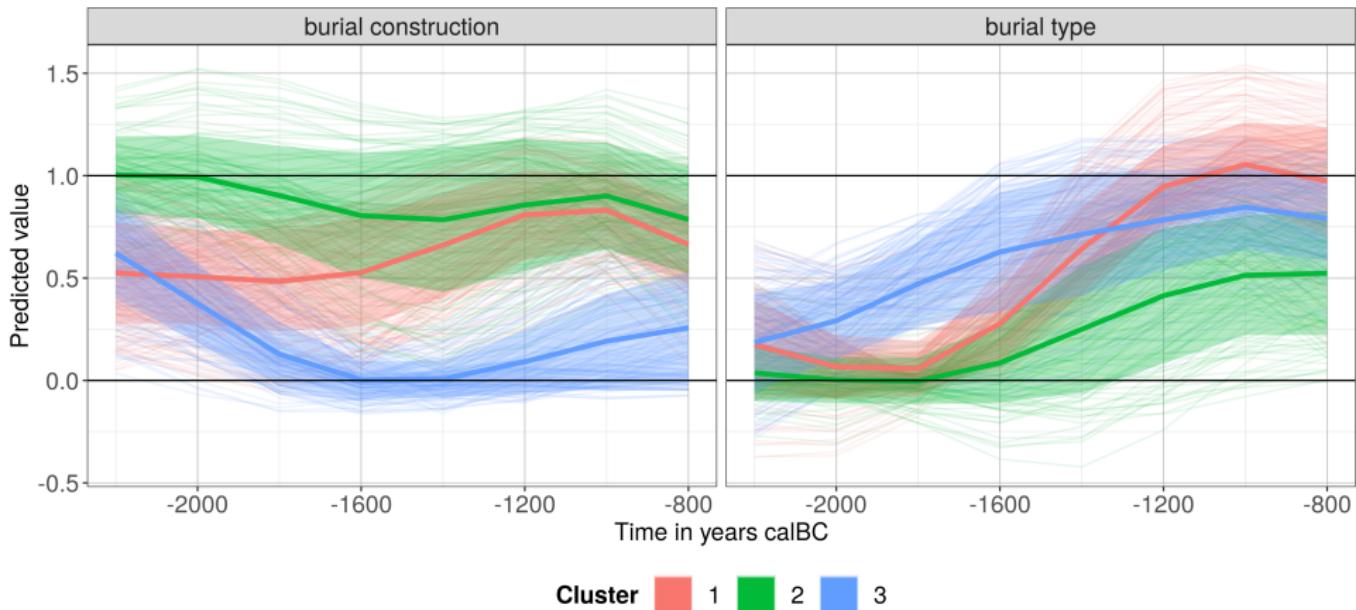


Abbildung 24: Klassifizierung der Vorhersageergebnisse. Mittelwert und Standardabweichung für jedes Cluster in jedem Zeitschritt.

Die diachronen Zeitsäulen lassen sich mit Clusteranalyse (kmeans) klassifizieren

Beispiel Cluster 2: Langes Festhalten an Grabhügeln aber frühe Übernahme der Brandbestattung

## Gruppen im diachronen Verhalten: Mittelwert

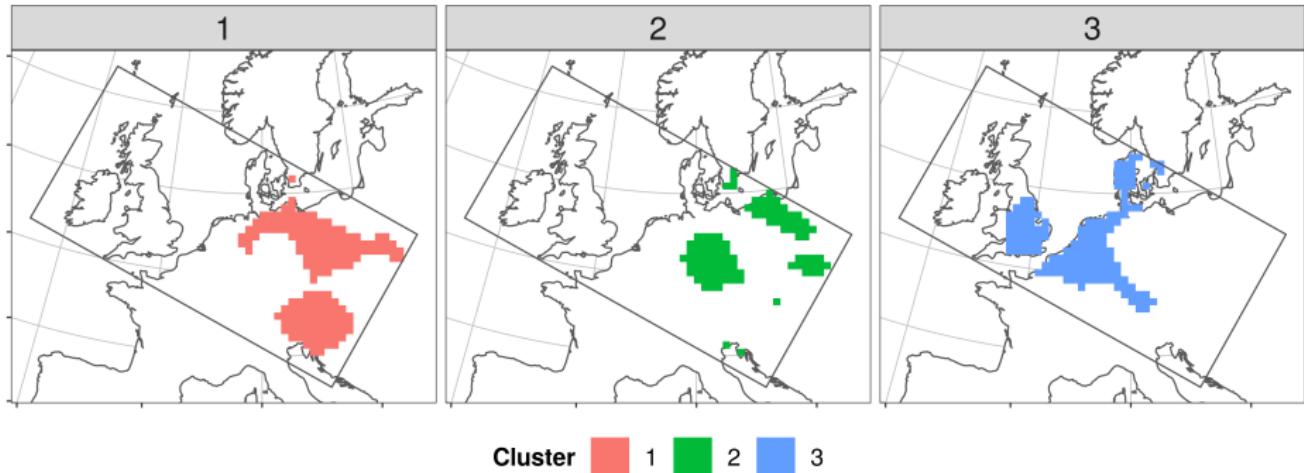


Abbildung 25: Kartierung der Cluster.

# Gruppen im diachronen Verhalten: Iteration und Sampling

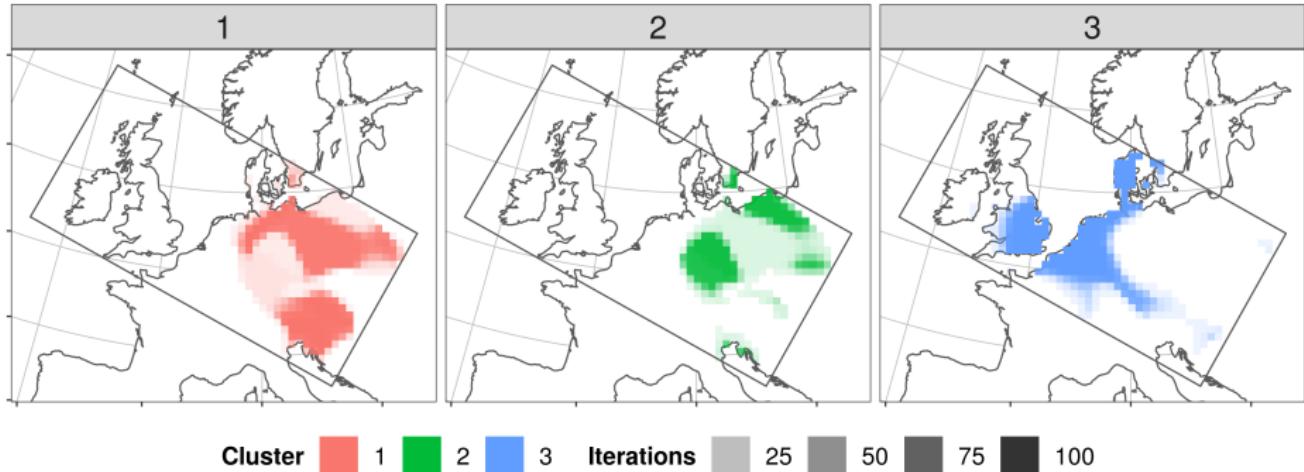


Abbildung 26: Kartierung der Cluster nach 100 Wiederholungen.

Aufgrund der Ungenauigkeit von Eingabedaten ( $^{14}\text{C}$ ) und Interpolationsergebnissen (GPR) genügt es nicht, jeweils mit Mittelwerten zu arbeiten.

**Das Ergebnis bleibt jedoch stabil**

## Beobachtungen und Hypothesen

- **Punktdaten in Raum und Zeit** lassen sich vielfältig visualisieren und die **3D Perspektive** kann zu nützlichen 2D Visualisierungen führen
- Gut durchdachte **Interpolation** erlaubt es, **Hypothesen** mit **Unsicherheitsabschätzung** zu Zeiten und Räumen ohne Messungen zu formulieren
- Interpolierte **Zeitreihen** lassen sich zur **Gruppendefinition** heranziehen

# Cultural Evolution

## Cultural Evolution: Definition

- Die Prozesse der **natürlichen Entwicklung** von Spezies durch Evolution wirken auch bei der **menschlichen Kulturentwicklung**
- **Mechanismen der Evolution** wie Drift, Flow, Selektion und Mutation sind entscheidend dafür, welche **Verhaltensweisen, Ideen und Innovationen** sich langfristig **durchsetzen** können
- **Biologische Terminologie und Methodik** kann auch in **anthropologischen Kontexten** sinnvoll eingesetzt werden

# Cultural Evolution: Anfang des 19. Jhds. bis 1970.

- **Evolutionismus**
  - schrittweiser, kulturellen **Aufstieg**, Zunahme organisatorischer **Komplexität**, **Teleologie** der Kulturgeschichte, Marktwirtschaftlicher **Wettbewerb**
  - **Vergleichende Methode**
  - Inspiration für rassistische und **sozialdarwinistische** Theorien: *Nie und nirgends sind Staaten anders entstanden als durch Unterwerfung fremder Stämme seitens eines oder mehrerer verbündeter oder geeinigter Stämme.* - Gumplowicz (1885), 99.
- **Kulturrelativismus**
  - Kulturanthropologie, Historischer Partikularismus und Boasianer
  - Fokus auf den jeweiligen **naturräumlichen, historischen und soziopolitischen Kontext** einzelner kultureller Ausprägung **ohne Hierarchisierung**
- **Neoevolutionismus**
  - Ablehnung sozialdarwinistischen Biodeterminismus, aber dennoch bewusste **Suche nach Gesetzmäßigkeiten soziokultureller Prozesse**
  - Vere Gordon Childe, Karl Wittfogel, Leslie White, George Murdock, später Elman Service, Morton Fried, Roy Rappaport, Lewis Binford

## ■ Evolutionary Psychology

- Menschlichen Verhalten vor dem Hintergrund seiner **evolutionären Geschichte**
- Größenordnung: Genetische Langzeitentwicklung der gesamten Spezies
- **Environment of Evolutionary Adaptiveness:** Der Mensch ist ideal an das Leben als pleistozäner Jäger- und Sammler angepasst
- Themen: Gruppenverhalten, Geschlechterunterschiede, Essverhalten

## ■ Human Behavioural Ecology

- Menschliches Verhalten vor **ökologischem Hintergrund**
- Größenordnung: Entscheidungsprozesse des Individuums
- **Phenotypic Gambit:** Menschliches Verhalten ist Optimierungsverhalten
- Themen: Subsistenz- und Reproduktionsstrategien

## ■ Memetik (\*1976 – †2005)

## ■ Dual Inheritance Theory

- Menschliches Verhalten ist nicht (nur) genetisch bestimmt, sondern stärker durch ein **zweites, dynamischeres Vererbungssystem: Kultur**
- Kultur folgt einem **eigenen Evolutionsprozess** unter Rückwirkung mit ihren Trägern
- Größenordnung: Kulturprozesse über einige Generationen
- Themen: Entwicklung materieller Kultur, Ideenausbreitung, Fehlanpassungen

# Cultural Transmission

Ideen breiten sich **nicht zufällig** aus, verändern sich nach erforschbaren **Regeln** und entfalten weitreichende **Wirkung** im sozialen Raum ihrer Träger.

## ■ Social Learning

- Social Learning ist der Überbegriff für alle Mechanismen der Übertragung von Ideen und Verhalten von einem Organismus auf den nächsten
- Reichweite zwischen genetischer Anpassung und individuellem Lernen
- **Vertical Transmission** und **Horizontal Transmission**

## ■ Biased Transmission

- Menschen treffen die Entscheidung ob sie eine Idee oder ein Verhaltensmuster übernehmen **nicht zufällig**
- Entweder sie evaluieren aufwändig, oder sie folgen ihrer **Intuition**
- **Conformity Bias, Novelty Bias, Frequency Bias, Prestige Bias, Homophily,**  
...

## ■ Stylistic Variability (Evolutionary Archaeology)

- Ideen lassen sich in zwei Kategorien gliedern:
- 1 **Functional traits** (Nutzung einer bestimmten Getreideform, die Kompetenz bestimmte Werkzeuge oder Waffen zu fertigen oder soziale Anerkennung von Kinderreichtum)
- 2 **Stylistic traits** (Keramikverzierung, Trachtmode oder Schmuckform)
- **Functional traits** setzen sich oft entsprechend ihrer Nützlichkeit durch, aber wie verhalten sich **Stylistic traits**?

# Literaturempfehlungen

## Geschichte

Petermann, W. (2004). *Die Geschichte der Ethnologie*. Wuppertal.

Smith, E. A. (2000). "Three Styles in the Evolutionary Analysis of Human Behavior". In: *Adaptation and Human Behavior: An Anthropological Perspective*, S. 27–46.

## Aktuelle Themenfelder in der Cultural Evolution Forschung

Creanza, N., O. Kolodny und M. W. Feldman (2017). "Cultural Evolutionary Theory: How Culture Evolves and Why It Matters". In: PNAS, S. 201620732. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620732114>.

## Cultural Transmission in der Archäologie

Eerkens, J. W. und C. P. Lipo (2007). "Cultural Transmission Theory and the Archaeological Record: Providing Context to Understanding Variation and Temporal Changes in Material Culture". In: J. Archaeol. Res. 15.3, S. 239–274. <https://doi.org/10.1007/s10814-007-9013-z>.

Garvey, R. (2018). "Current and Potential Roles of Archaeology in the Development of Cultural Evolutionary Theory". In: Phil. Trans. R. Soc. B 373.1743, S. 20170057. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0057>.

Ideenausbreitung simulieren

# Bestattungssitten und Cultural Evolution

Bestattungsrituale sind **Verhalten/Ideen/Kulturelle Merkmale** in Zeit und Raum. Sie existieren im **sozialen Interaktionsraum** und ihre Ausbreitung folgt (vertikalen?) **sozialen Beziehungen**.

Sie haben relativ geringe Auswirkungen auf das Mensch-Umwelt-System (Subsistenz/Reproduktion) und können als **Stylistic/Neutral traits** behandelt werden.

Folgt man der Populationsbiologie, sind die wichtigsten Mechanismen in ihrer Ausbreitung damit **Innovation, Drift** und **Flow**, nicht **Selektion**.

- **Drift:** In einer Gruppe gleichwertiger Eigenschaften wird sich mit der Zeit immer eine zufällig durchsetzen
  - **Flow:** Informationstransfer zwischen Gruppen führt zu Synchronisation
- 

Simulationskonzept:

- Ideen sind handlungsfähige **Agenten** mit einfachem Verhalten: **Expansion**
- Ideen leben in einer konfigurierbaren, diachronen **Populationsnetzwerk**

# Populationsnetzwerk

Das R Paket **popgenerator** erzeugt ein ungerichtetes Populationsnetzwerk mit konfigurierbarer  
**Populationsgrößenentwicklung,**  
**Gruppenzahl, Grad der Interaktion in**  
**und zwischen Gruppen, etc.**

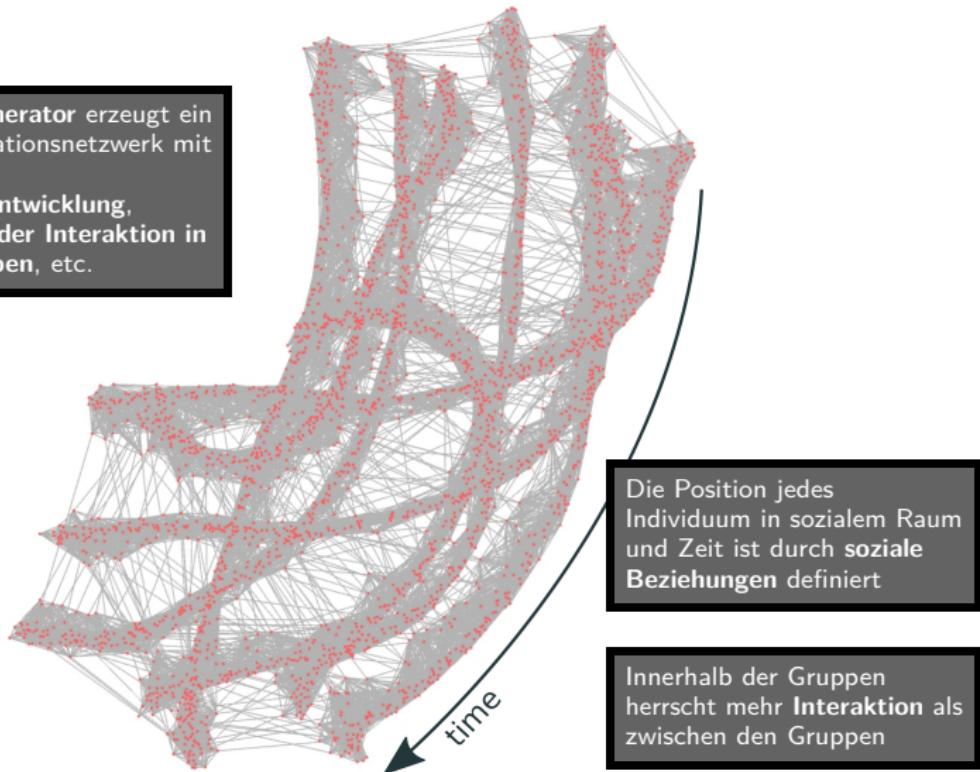


Abbildung 27: Beispiel eines Populationsnetzwerks. Anordnung nach Fruchterman & Reingold Algorithmus.

# Simulation der Ideenausbreitung

```
...
// make random decision to convert or ignore a node based on the edge weight
std::vector<std::pair<int, bool>> success_per_neighbor(neighbors.size());
for (auto& i : all_neighbors_information) {
    // make decision
    // if the node is already occupied, it's more difficult
    // if more than one contact, then there's a convincing bonus
    std::pair<int, bool> success;
    if (std::get<3>(i)) {
        success = std::make_pair(
            std::get<0>(i),
            std::get<1>(i) * log2(std::get<2>(i) + 1) >= randunifrange(75, 100)
        );
    } else {
        success = std::make_pair(
            std::get<0>(i),
            std::get<1>(i) * log2(std::get<2>(i) + 1) >= randunifrange(0, 100)
        );
    }
    success_per_neighbor.push_back(success);
}
...
...
```

C++ CLI Software glueless um die  
Ideenausbreitung im Netzwerk zu  
simulieren

# Simulationsanwendung: Räumliche und Kulturelle Distanz

Kann  
Korrelation  
von räumlicher  
und kultureller  
Distanz aus-  
geschlossen  
werden?

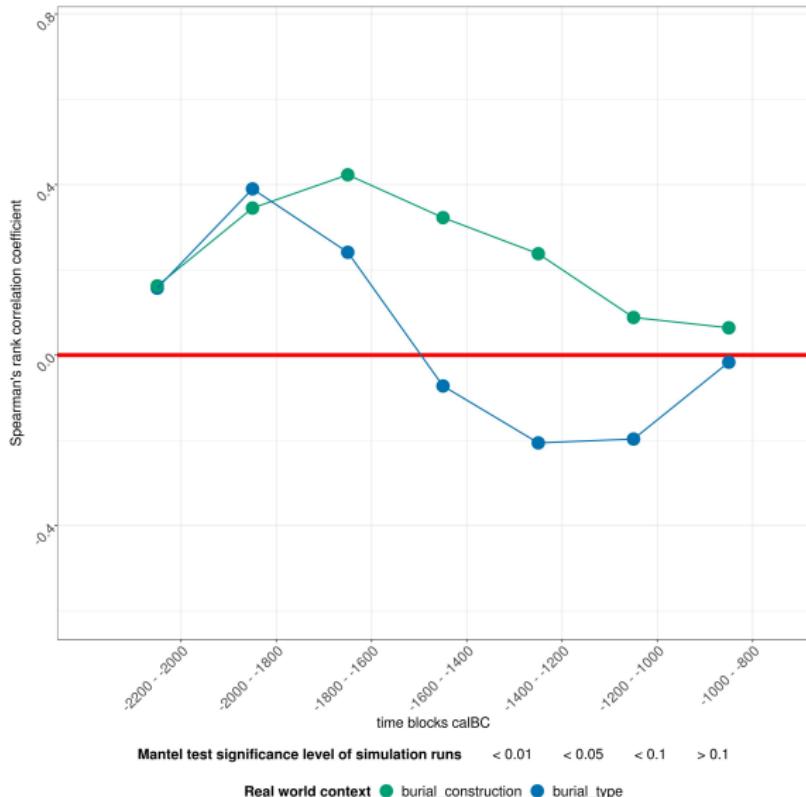


Abbildung 28: Korrelationsentwicklung räumlicher und kulturrller Distanz für **burial type** und **burial construction**.

# Simulationsanwendung: Räumliche und Kulturelle Distanz

Kann  
Korrelation  
von räumlicher  
und kultureller  
Distanz aus-  
geschlossen  
werden?

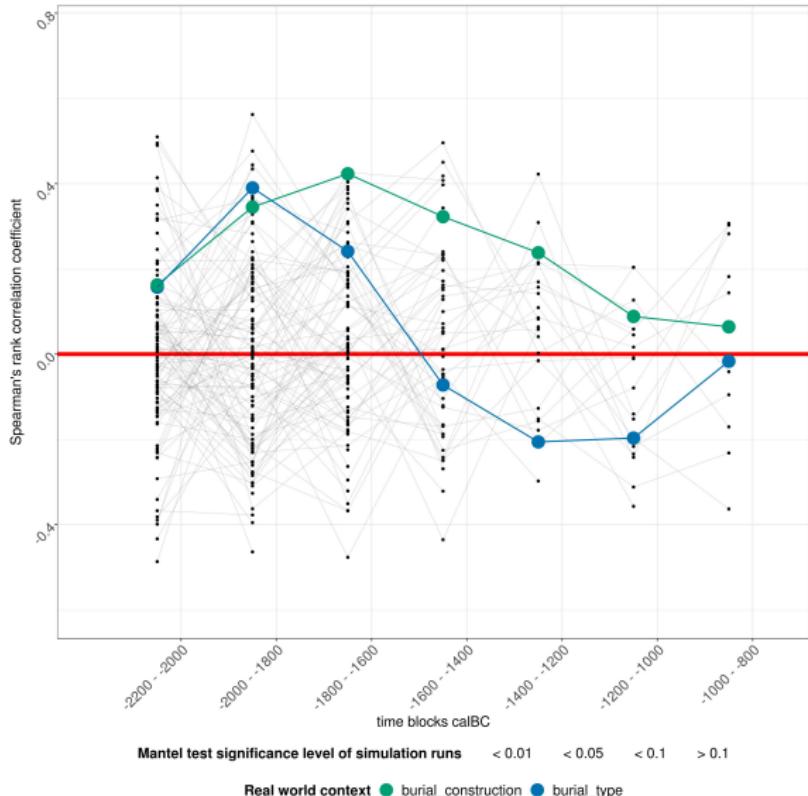


Abbildung 29: + Korrelationsentwicklung mit 100 Simulationsläufen und nicht-räumliche Gruppendistanz.

# Simulationsanwendung: Räumliche und Kulturelle Distanz

Kann  
Korrelation  
von räumlicher  
und kultureller  
Distanz aus-  
geschlossen  
werden?

Nicht-  
räumliche  
Gruppen-  
distanz:  
Unwahrscheinlich für die  
Früh-  
bronzezeit

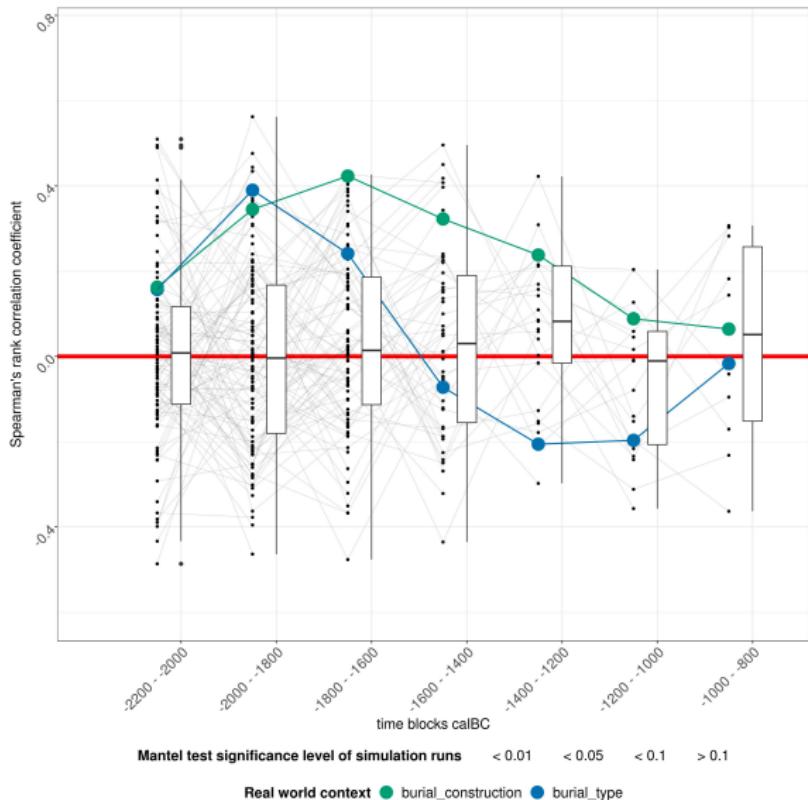


Abbildung 30: + Boxplots für die Simulationsläufe.

# Simulationsanwendung: Räumliche und Kulturelle Distanz

Kann  
Korrelation  
von räumlicher  
und kultureller  
Distanz aus-  
geschlossen  
werden?

Nicht-  
räumliche  
Gruppen-  
distanz:  
Unwahrscheinlich für die  
Früh-  
bronzezeit

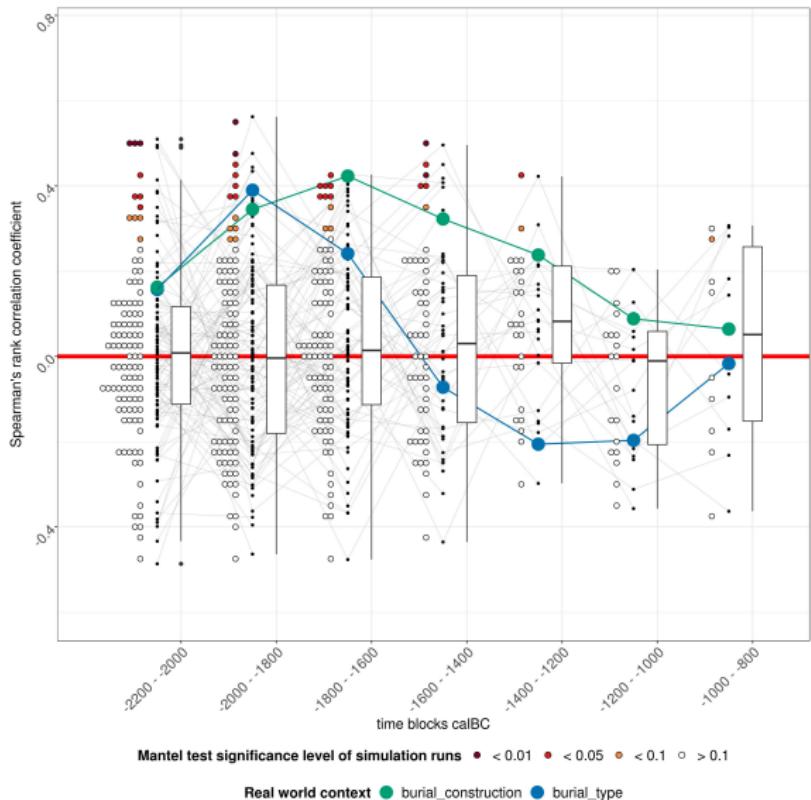
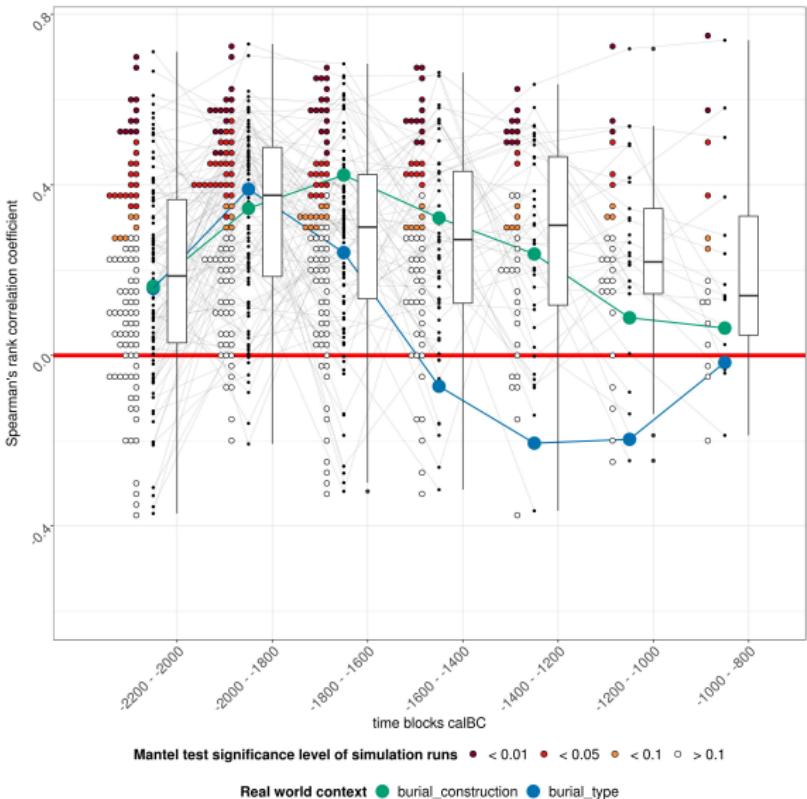


Abbildung 31: + Dotplots mit Mantel-Test Ergebnissen.

# Simulationsanwendung: Räumliche und Kulturelle Distanz

Kann  
Korrelation  
von räumlicher  
und kultureller  
Distanz aus-  
geschlossen  
werden?



Räumliche  
Gruppen-  
distanz:  
Unwahrscheinlich für die  
Spätbronzezeit

burial type  
verhält sich  
nicht er-  
wartungsgemäß  
unter der  
Annahme  
räumlicher  
Korrelation

Abbildung 32: Selber Plot, Simulation jetzt allerdings mit **räumlicher Gruppendifferenz**.



© Niels Bach - <http://nielsbach.blogspot.com>

- Einführung zum Datensatz
- Kulturelle Distanz, räumliche Distanz und Korrelation
- Interpolation und Gruppen
- Cultural Evolution
- Ideenausbreitung simulieren