

## 5. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Analysen zur Untersuchung der Herkunft der deponierten menschlichen Individuen

Anna-Maria Kriechbaum, Anika Retzmann, Thomas Prohaska

### 5.1 Projektziel

Während der späten Urnenfelderzeit entsprachen eine Verbrennung der Toten und eine Bestattung in Urnenfeldern der Bestattungsnorm.

Bei den Grabungen von Felgenhauer<sup>902</sup> konnten in Stillfried an der March unter anderem einige Speichergruben mit menschlichen und/oder tierischen Skelettniederlegungen festgestellt werden. Im Zuge des FWF-Projektes „Resourcensicherung, Macht und Kult in Stillfried?“ (P28005) wurde mit Hilfe von  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Analysen die Möglichkeit einer ortsfremden Herkunft einiger Skelettniederlegungen untersucht.

### 5.2 Material und Methoden

Zur Bestimmung einer möglichen ortsfremden Herkunft wurden Enamel (Zahnschmelz) und Dentin (Zahnbein) von elf menschlichen Individuen hinsichtlich ihres  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnisses untersucht (Abb. 207). Diese wurden mit rezenten Umweltproben (Wasser und Boden), welche im Umkreis von ca. 5 km in einer Tiefe von ungefähr 30 cm entnommen wurden (Abb. 210), sowie archäologischen Proben (Bodenproben und organische Proben, Abb. 209) verglichen. Im Fall der rezenten Bodenproben wurden nur brachliegende Felder zur Untersuchung ausgewählt.

Außerdem wurden Enamel und Dentin von Skelettniederlegungen nicht migrierender bzw. domestizierter Tiere und Muscheln untersucht (Abb. 208), um weitere Informationen zur lokalen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signatur zu erhalten.

#### 5.2.1 Probenliste

| Proben ID | Grube | Anmerkung                                                              | Signatur/Interface                   | Skelettnummer | Beprobter Zahn (nach FDI) |
|-----------|-------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------------|
| ST_T_9042 | V0841 | Kind Infans II, 8–9 J.                                                 | 9042/2072                            | SK 2          | 14                        |
| ST_T_9043 | V0841 | Mann? Adult, 25–35 J.                                                  | 9043/2073                            | SK 3          | 15                        |
| ST_T_9044 | V0841 | Kind Juvenis, 13–15 J.                                                 | 9044/2074                            | SK 4          | 24                        |
| ST_T_9046 | V0841 | Kind Infans II, 10–12 J.                                               | 9046/2076                            | SK 5-2        | 14                        |
| ST_T_9049 | V0841 | Mann? Juvenis, 15–18 J.                                                | 9049/2079                            | SK 8          | 14                        |
| ST_T_9051 | V0841 | Kind Infans I, 3–4 J.                                                  | 9051/2081                            | SK 10         | 64                        |
| ST_T_9052 | V0841 | Kind Infans II, 8–10 J.                                                | 9052/2082                            | SK 11         | 14                        |
| ST_T_9054 | V0841 | Frau? Matur, 40–60 J.                                                  | 9054/2084                            | SK 13         | 14                        |
| ST_T_9023 | V1141 | Mann Adult, 30 J.                                                      | 9023/2247                            | SK 1          | 14                        |
| ST_T_9026 | V1141 | Knabe Infans II, 8 J.                                                  | 9026/2250                            | SK 4          | 73                        |
| ST_T_1377 | V1133 | Kind (12–13 J., Mädchen?), Schädel mit Hiebverletzungen (FNr. St. 122) | FNr. St. 1377, keine Interfacenummer |               | 14                        |

Abb. 207: Probenliste der menschlichen Zähne (Proben wurden vom NHM Wien bereitgestellt).

<sup>902</sup> FELGENHAUER 1996.

| Proben ID   | FNr. St.                  | Grube              | Spezies     | Zahn                    | Kommentar VIRIS Labor                                          |
|-------------|---------------------------|--------------------|-------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ST_CE_7473  | 7473                      | V1140              | Hirschkuh   | isolierter Schneidezahn | domestiziert                                                   |
| ST_M_13289  | 13289                     | V0841              | Muschel     |                         |                                                                |
| ST_CF_8855  | 8855                      | V0601              | Haushund    | oberer Backenzahn M2    |                                                                |
| ST_21307    | 21307/<br>20524/<br>21319 | V2784 und<br>V3784 | Reh         | oberer Prämolare        |                                                                |
| ST_CA_13162 | 13162                     | V0841              | Biber       |                         |                                                                |
| ST_SS_13238 | 13238                     | V0841              | Wildschwein | Hauer (?)               | Unterkiefer                                                    |
| ST_M_13238a | 13238                     | V0841              | Muschel     |                         | graue Muschel                                                  |
| ST_M_13238b | 13238                     | V0841              | Muschel     |                         | beige Muschel                                                  |
| ST_M_13272  | 13272                     | V0841              | Muschel     |                         |                                                                |
| ST_CF_13285 | 13285                     | V0841              | Haushund    | Eckzahn (?)             | Oberkiefer/Unterkiefer, keine Kennzeichnung zur Unterscheidung |
| ST_CA_13286 | 13286                     | V0841              | Biber       |                         | Schneidezahn                                                   |
| ST_M_13311  | 13311                     | V0841              | Muschel     |                         |                                                                |
| ST_SD_13332 | 13332                     | V0841              | Hausschwein |                         | Zahn                                                           |

Abb. 208: Probenliste der Tierzähne und Muscheln (Proben wurden vom NHM Wien bereitgestellt).

| Proben ID  | FNr. St. | Objekt | Fundart                                 |
|------------|----------|--------|-----------------------------------------|
| ST_7649    | 7649     | V1154  | verkohltes Stroh, lange Stücke erhalten |
| ST_9864    | 9864     | V1154  | rötliche Holzbalkenreste, max. L. 10 cm |
| ST_S_13307 | 13307    | V0841  | Holzkohle und Erdprobe                  |
| ST_S_13289 | 13289    | V0841  | Erdbrocken dunkelbraun, ungebrannt      |

Abb. 209: Archäologische Umweltproben (Proben wurden von OREA/ÖAW bereitgestellt).

| Proben ID  | Probentyp | Probenort                             | lat. (°N) | lon. (°E) |
|------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|
| ST_S_P18   | Boden     | braches Feld                          | 48,38642  | 16,79686  |
| ST_S_P2    | Boden     | braches Feld                          | 48,40117  | 16,78802  |
| ST_S_P1    | Boden     | braches Feld                          | 48,41224  | 16,79142  |
| ST_S_P3    | Boden     |                                       | 48,40083  | 16,80449  |
| ST_W_P19   | Wasser    | Wassergraben bei P4                   | 48,38973  | 16,82354  |
| ST_S_P4    | Boden     | braches Feld                          | 48,38968  | 16,8235   |
| ST_S_P20   | Boden     |                                       | 48,39645  | 16,81791  |
| ST_S_P5    | Boden     | braches Feld                          | 48,40577  | 16,83062  |
| ST_S_P6    | Boden     | Böschungswall (Botanik)               | 48,41362  | 16,8187   |
| ST_S_P6b   | Boden     | Weinberg                              | 48,41349  | 16,81878  |
| ST_S_P7    | Boden     | Anstich am Weg (Weinberg darüber)     | 48,41338  | 16,8318   |
| ST_S_P8    | Boden     | braches Feld                          | 48,40728  | 16,83777  |
| ST_W_P17_1 | Wasser    | March                                 | 48,40923  | 16,84986  |
| ST_W_P17_2 | Wasser    | March                                 | 48,40923  | 16,84986  |
| ST_S_P9    | Boden     | gepflügter Getreideacker              | 48,41646  | 16,84567  |
| ST_S_P10   | Boden     | am Wäldchen (Botanik)                 | 48,41925  | 16,84852  |
| ST_W_P21_1 | Wasser    | Bach bei P10                          | 48,41908  | 16,8472   |
| ST_W_P21_2 | Wasser    | Bach bei P10                          | 48,41908  | 16,8472   |
| ST_W_P16_1 | Wasser    | Altarm/Totarm March bei Hufeisenteich | 48,43177  | 16,84924  |
| ST_W_P16_2 | Wasser    | Altarm/Totarm March bei Hufeisenteich | 48,43177  | 16,84924  |
| ST_S_P11   | Boden     | Knick                                 | 48,43006  | 16,833002 |
| ST_S_P12   | Boden     | Knick                                 | 48,43296  | 16,81046  |
| ST_S_P13   | Boden     | Knick                                 | 48,44107  | 16,8152   |
| ST_S_P14   | Boden     | Knick                                 | 48,43982  | 16,82202  |
| ST_W_P22_1 | Wasser    | Krüttelbach                           | 48,44719  | 16,82752  |
| ST_W_P22_2 | Wasser    | Krüttelbach                           | 48,44719  | 16,82752  |
| ST_S_P15   | Boden     | gepflügtes Feld                       | 48,44614  | 16,84012  |
| ST_S_P18   | Boden     | braches Feld                          | 48,38642  | 16,79686  |

Abb. 210: Rezente Boden- und Wasserproben, entnommen am Fundort Stillfried und Umgebung am 12.10.2016.

## 5.2.2 Probenaufbereitung

### 5.2.2.1 Zahn- und Muschelproben

Alle beprobten Zähne wurden im VIRIS-Labor (Universität für Bodenkultur, Tulln) entsprechend etablierter Protokolle vor und nach jedem Reinigungs- und Beprobungsschritt fotodokumentiert (z. T. unter dem Mikroskop). Nach jedem Reinigungsschritt wurden die Zahnproben luftgetrocknet.

Die menschlichen Zahnproben wurden zunächst mechanisch mit *high-quality* (HQ)-Wasser geputzt und anschließend im Ultraschallbad gereinigt. In einem zweiten Schritt wurden die Zähne mit Isopropanol im Ultraschallbad aufgereinigt. Die menschlichen Zähne wurden gemeinsam mit einem Mitarbeiter des Naturhistorischen Museums Wien (Bernhard Weininger, Anthropologische Abteilung) mittels einer Säge (IsoMet) von der Zahnkrone zur Zahnwurzel halbiert. Die zu beprobende Zahnhälfte wurde anschließend im Ultraschallbad mit vorgereinigtem Wasser (HQ-Wasser) gereinigt. Die zu beprobende Oberfläche wurde mit einem Diamantbohrer (Dremel) vorgereinigt und abermals einer Reinigung im Ultraschallbad mit vorgereinigtem Wasser unterzogen. Bei der abschließenden Beprobung wurden zwischen 6,9 und 18,2 mg Enamel und Pulpadentin von derselben Zahnhälfte mit Hilfe des Diamantbohrers entnommen. Zwischen der Enamel- und Dentinbeprobung wurde eine erneute Reinigung der Zähne mit HQ-Wasser im Ultraschallbad durchgeführt.

Die Tierzähne und Muscheln wurden mechanisch mit HQ-Wasser geputzt und anschließend im Ultraschallbad gereinigt. Nach der Vorreinigung der zu beprobenden Oberfläche mit Hilfe des Diamantbohrers wurden die Zähne mit Isopropanol im Ultraschallbad aufgereinigt. In der abschließenden Beprobung wurden zwischen 7,0 und 13,1 mg Enamel und Dentin bzw. Muschelschale mit Hilfe des Diamantbohrers entnommen. Sofern möglich, wurde Pulpadentin oder Pulpa-nahes Dentin beprobt. Im Fall der Muscheln wurden kleinere, bereits vorhandene Fragmente zur Beprobung herangezogen. Alle folgenden Bearbeitungsschritte wurden wie oben für die Zähne beschrieben durchgeführt.

Die Zahn- und Muschelproben wurden nun in vorgereinigte PFA-(Perfluoro-alkoxy)-Gefäße eingewogen und mit 2 ml doppelt subgeboilter Salpetersäure ( $w = 65\%$ ) und 1 ml Wasserstoffperoxid ( $w = 30\%$ ) bei  $150^\circ\text{C}$  auf einer Heizplatte für 2,5 Stunden aufgeschlossen. Anschließend wurde die aufgeschlossene Lösung mit Salpetersäure ( $8\text{ mol L}^{-1}$ ) auf ca. 10 g aufgefüllt.

### 5.2.2.2 Umweltproben

Die Wasserproben wurden filtriert und anschließend zur Stabilisierung mit doppelt subgeboilter Salpetersäure ( $w = 65\%$ ) auf 2 % angesäuert.

Die rezenten sowie archäologischen Bodenproben wurden getrocknet und anschließend gesiebt. Das bioverfügbare Strontium wurde im folgenden Schritt mittels  $1\text{ mol L}^{-1}$  Ammoniumnitrat aus der  $< 2\text{-mm}$ -Fraktion extrahiert.

Die archäologischen Stroh- und Holzproben wurden eingewogen und mit 5 ml doppelt subgeboilter Salpetersäure ( $w = 65\%$ ) und 1 ml Wasserstoffperoxid ( $w = 30\%$ ) bei 600 W für ca. 2,5 Stunden (inkl. Abkühlphase) in der Mikrowelle aufgeschlossen.

### 5.2.3 Probenanalyse

Die Multi-Element-Analyse zur Bestimmung des Strontiumgehalts aller Proben erfolgte mittels induktiv gekoppelter Plasma Massenspektrometrie (ICP-MS, NexION 350D, Perkin Elmer) unter Verwendung einer 9-Punkt-Kalibrierung (Multi VI Standardlösung, Merck). Die Strontium-Isotopenverhältnisse wurden mittels Multikollektor-ICP-MS HR-MCICP-M (Nu Plasma, Nu Instruments) gemessen, unter Verwendung des Isotopen-zertifizierten Standard NIST SRM 987 zur Kalibrierung. Die Messungen erfolgten anhand validierter Messprotokolle.<sup>903</sup>

Vor der Messung der Strontium-Isotopenverhältnisse der Zahn-, Muschel-, Holz- und Strohproben fand eine manuelle Strontium/Matrix-Trennung mit Hilfe eines Strontium-spezifischen Ionentauscherharzes (Sr Spec, TrisKem International, Bruz, France) statt. Die Trennung erfolgte anhand validierter Trennprotokolle.<sup>904</sup>

Vor der Messung der Strontium-Isotopenverhältnisse der Boden- und Wasserproben fand eine automatisierte Strontium/Matrix-Trennung mit Hilfe eines prepFAST-MC™ (Elemental Scientific, Omaha, USA) unter Verwendung des DGA-Ionentauscherharzes (TrisKem International, Bruz, France) nach dem Protokoll von Retzmann et al.<sup>905</sup> statt.

### 5.2.4 Datenauswertung

Die Datenauswertungen sowie die Messunsicherheitsberechnungen aller analysierten Proben erfolgten nach etablierten Protokollen.<sup>906</sup>

#### *Evaluierung der Isotopendaten der rezenten lokalen Umweltproben*

Der rezente lokale Bodensignatur-Bereich wie auch der rezente lokale Wassersignatur-Bereich wurden aus dem Mittelwert plus und minus der zweifachen Standardabweichung

903. PROHASKA et al. 2006. – IRRGEHER et al. 2012.

904. SWOBODA et al. 2008.

905. RETZMANN et al. 2017.

906. IRRGEHER et al. 2012. – IRRGEHER et al. 2013. – HORSKY, IRRGEHER, PROHASKA 2016.

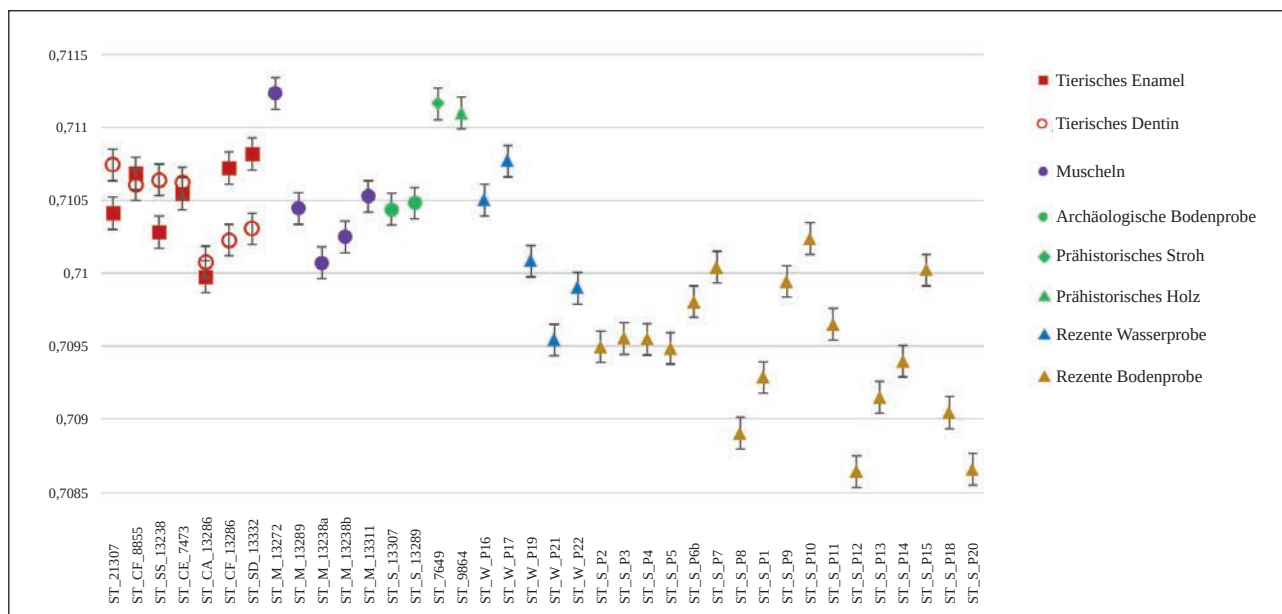


Abb. 211:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Isotopie der Tierzähne, Muscheln, archäologischen Umweltproben sowie der rezenten Wasser- und Bodenproben ( $U, k = 2$ ).

chung aller entsprechend analysierten Proben ermittelt. Die Bodenprobe ST\_S\_P6 wurde nicht in die Berechnung des lokalen Bodensignatur-Bereichs miteinbezogen, da sich die Isotopie signifikant von allen weiteren Bodenproben unterscheidet, die in der Umgebung gewonnen wurden. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass bei der Beprobung sekundär deponiertes Material verwendet wurde.

Zur Validierung dieser Proxies für das lokale Isotopensignal wurden die archäologischen Tierproben den rezenten Umweltsignaturen gegenübergestellt.

#### Erstellung einer rezenten Isotopenlandkarte („Isoscape“) (Abb. 212)

Die generierten Strontium-Isotopendaten der rezenten lokalen Boden- und Wasserproben wurden mittels der Software ArcGIS und auf Basis existierender geologischer Karten zu einer Isotopenkarte zusammengestellt.

#### Evaluierung der Strontium-Isotopenverhältnisse in den menschlichen Zahnproben/Beschreibung der Gruben

Es erfolgte ein Vergleich zwischen den einzelnen Isotopendaten von Enamel (Signatur der Kindheit) und Dentin (Signatur späterer Lebensjahre) innerhalb eines Individuums. Zur Bestimmung der Anteile an autochthonen (lokalen) und allochthonen (nicht-lokalen) Individuen innerhalb der beiden Gruben wurden die Isotopendaten der menschlichen Funde mit dem rezenten lokalen Bodensignatur-Bereich, dem rezenten lokalen Wassersignatur-Bereich sowie den archäologischen Tier- und Umweltproben (Boden, Holz und Stroh) verglichen.

### 5.3 Ergebnisse

#### Strontium-Isotopenverhältnisse der Umweltproben der Ausgrabungsstätte Stillfried sowie der Umgebung

Abb. 211 zeigt die Strontium-Isotopenverhältnisse aller im Bereich der Ausgrabungsstätte Stillfried und ihrer Umgebung analysierten rezenten Umweltproben sowie die archäologischen Tier- und Umweltproben. Die Isotopensignatur des Wassers und des bioverfügbaren Strontium in den Böden reflektiert die örtlichen Strontium-Isotopensignatur-Bereiche der Siedlung Stillfried. Wie Abb. 211 zu entnehmen ist, überlappen die Strontium-Isotopenverhältnisse aller beprobten Tierzähne und Muscheln innerhalb der Gesamtmessunsicherheiten mit den rezenten Boden- und Wassersignatur-Bereichen. Dies belegt, dass diese Umweltproben ein geeigneter Proxy für die Ermittlung der lokalen Strontium-Isotopensignatur von der Siedlung Stillfried darstellt. Nichtsdestotrotz unterscheiden sich die Werte von Enamel und Dentin innerhalb der tierischen Individuen FNrn. St. 13285 und St. 13332 signifikant voneinander. Im Fall der archäologischen Umweltproben überlappen die Strontium-Isotopenverhältnisse der Bodenproben FNrn. St. 13307 und St. 13289 innerhalb der Gesamtmessunsicherheit mit der Obergrenze der rezenten lokalen Bodensignatur. Die Strontium-Isotopenverhältnisse des Strohs (FNrn. St. 7649) und des Holzes (FNrn. St. 9864) überlappen innerhalb der Gesamtmessunsicherheit mit dem rezenten lokalen Wassersignatur-Bereich.

Die Daten sind den Tabellen Abb. 214–219 zu entnehmen.

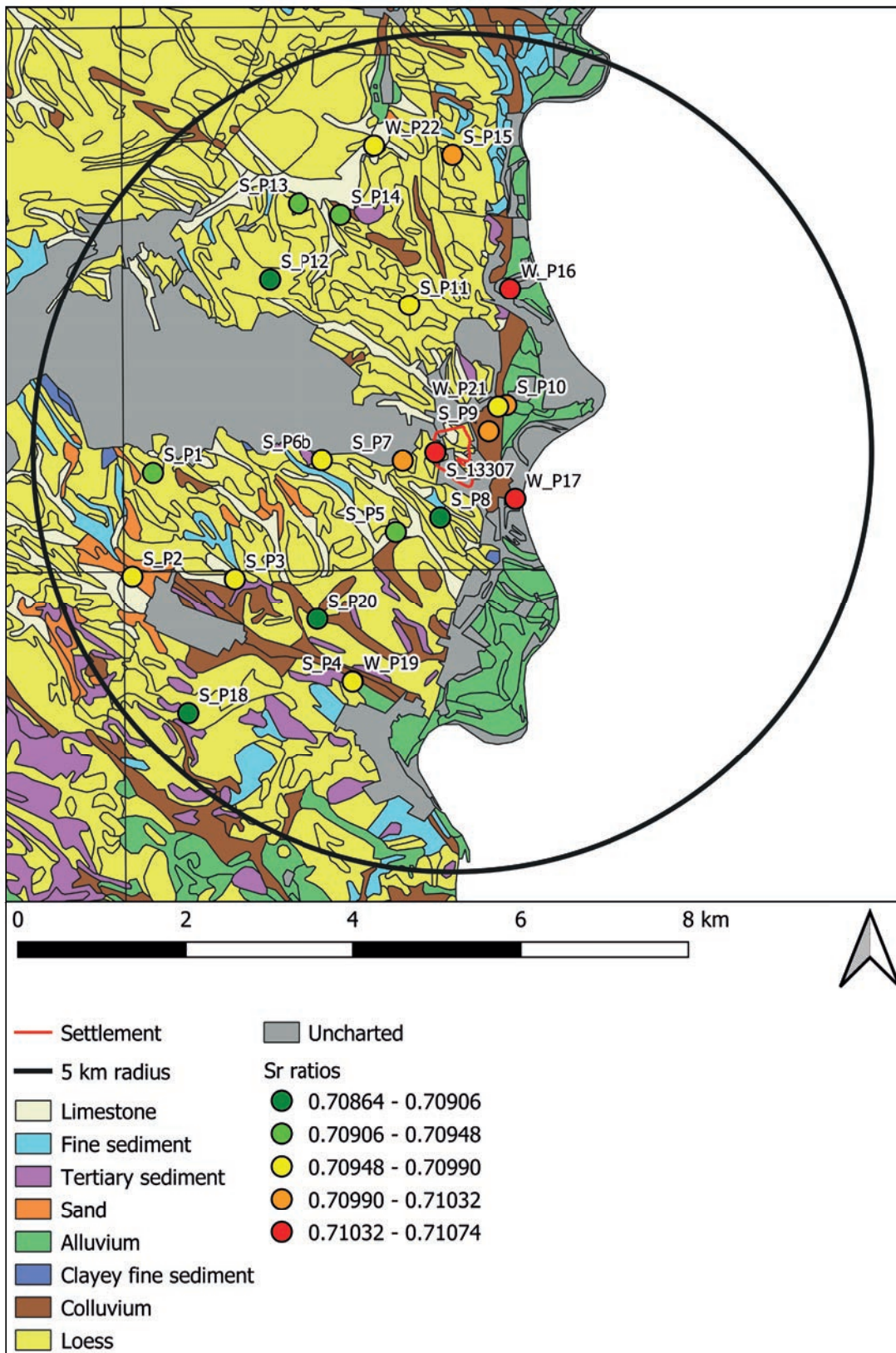


Abb. 212: Isotopenlandkarte der rezenten Boden- (S) und Wasserproben (W) mit Stillfried in der Mitte (rot umrahmt): *Limestone*/Kalk. – *Fine sediment*/Feines Sediment. – *Tertiary sediment*/Tertiärsediment. – *Alluvium*/Schwemmmaterial. – *Clayey fine sediment*/Toniges Feinmaterial. – *Colluvium*/Kolluvium (vorwiegend aus durch Anschwemmung umgelagertem Bodenmaterial entstanden). – *Loess*/Löß (erstellt von Felix Köstelbauer, siehe RETZMANN et al. 2020, Abb. 11).

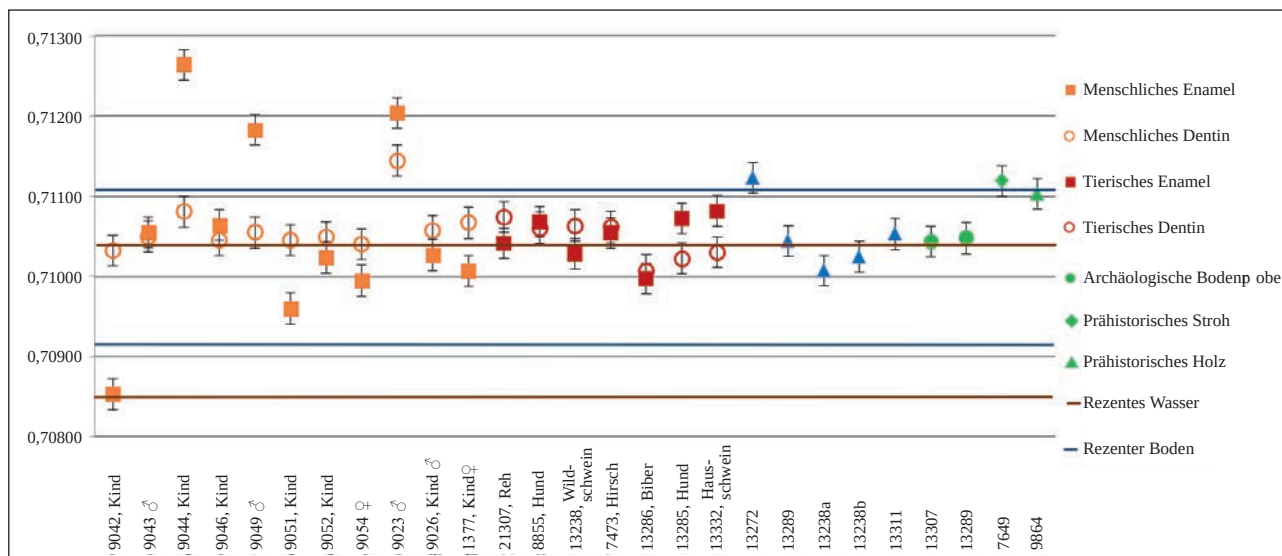


Abb. 213: Ergebnisse der Strontiumisotopie: blaue Linien repräsentieren den Bereich der lokalen Wasserisotopie; braune Linien repräsentieren den Bereich der lokalen Bodenisotopie ( $U, k = 2$ ).

#### Isotopenlandkarte „Isoscape“ Stillfried (Abb. 212)

Basierend auf den Strontium-Isotopenverhältnissen in den Boden- und Wasserproben aus der Umgebung der Ausgrabung Stillfried wurde – auf der Grundlage von Standardprotokollen – eine Isotopenlandkarte erstellt.

Unterschiede zwischen dem Bereich der Bodensignatur und jenem des Wassers ergeben sich aufgrund der in Abb. 212 ersichtlichen Verteilung der Isotopiewerte. Jene Proben, die im näheren Umkreis der Fundstelle genommen wurden, weisen höhere Strontium-Isotopenverhältnisse auf als jene, die weiter von der Fundstelle entfernt sind. Dies führt zu niedrigeren Werten im Bereich der Bodensignatur.

Die Daten sind den Tabellen Abb. 214–219 zu entnehmen.

#### Strontium-Isotopenverhältnisse der menschlichen Zahnproben aus Stillfried (Gruben V0841, V1141, V1133) und der rezenten Umweltproben sowie der archäologischen Tier- und Umweltproben

Abb. 213 zeigt die Strontium-Isotopenverhältnisse analysierter menschlicher und tierischer Zahnproben sowie archäologischer Muscheln und Umweltproben (Boden, Holz, Stroh) im Vergleich zu dem rezenten lokalen Boden- und Wassersignatur-Bereich.

Alle Strontium-Isotopenverhältnisse der menschlichen Dentinproben (mit Ausnahme von Ind. 9023) überlappen innerhalb der Gesamtmessunsicherheit mit den lokalen Umweltsignaturen. Diese Beobachtung deckt sich mit den als lokal angenommenen Tierzähnen und unterstützt daher das bestimmte autochthone Strontium-Isotopensignal.

Die Daten sind den Tabellen Abb. 214–219 zu entnehmen.

Einige der in Abb. 213 ersichtlichen menschlichen Individuen weisen Werte außerhalb der lokalen Bereiche auf. So zeigt Individuum 9023 sowohl im Zahnschmelz (Enamel) als auch im Zahnknochen (Dentin) von der Isotopie des Boden- und Wasserbereichs abweichende Werte.

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse im Enamel der Individuen 9044 sowie 9049 liegen außerhalb der lokalen Bereiche. Die Strontium-Isotopie des Enamels von Individuum 9042 liegt an der Untergrenze des lokalen Bodenbereichs, im Bereich des Wassers liegt dieses Individuum nicht mehr. Außerdem ist die Strontium-Isotopie dieses Individuums auffallend niedriger als die Isotopie der übrigen untersuchten menschlichen Individuen.

Auffällige Unterschiede hinsichtlich der Strontium-Isotopie in Enamel und Dentin weisen auch die Individuen 9051, 9054 sowie 1377 auf. Diese befinden sich allerdings innerhalb des lokalen Wasserbereichs. Individuum 9043 weist fast vollkommen überlappende  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse in Enamel und Dentin auf.<sup>907</sup>

#### 5.4 Ergebnisüberblick

- Die Strontiumwerte der rezenten Wasser- und bioverfügbaren Bodenproben reflektieren das lokale Signal der Siedlung.

907. RETZMANN et al. 2020, bes. 74.

- Die Tier- und Muschelproben befinden sich innerhalb dieses Bereichs und zeigen, dass die rezenten Umweltproben ein guter Proxy für das lokale Signal sind.
- Die menschlichen Dentinproben (außer Individuum 9023) liegen innerhalb des lokalen Bereichs und korrespondieren mit den Tierproben. Dies unterstützt das bestimmte autochthone Signal.
- Im Fall der menschlichen Enamelproben zeigt sich eine signifikant ausgeprägte Variation:
  - Individuen 9044, 9049 und 9023 zeigen kein autochthones Signal im Enamel. Es handelt sich um Zugezogene. Alle weiteren Individuen sind höchst wahrscheinlich lokaler Herkunft.
  - Individuum 9042 weist im Vergleich zu allen anderen Proben ein signifikant niedrigeres  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis auf.

| Proben ID   | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|-------------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| E_ST_T_9042 | 0,70853                         | 0,00019  | 0,027 %        | 199                          | 13       | 15 %           |
| D_ST_T_9042 | 0,71032                         | 0,00019  | 0,027 %        | 379                          | 25       | 15 %           |
| E_ST_T_9043 | 0,71055                         | 0,00019  | 0,027 %        | 99                           | 7        | 15 %           |
| D_ST_T_9043 | 0,71050                         | 0,00019  | 0,027 %        | 491                          | 33       | 15 %           |
| E_ST_T_9044 | 0,71264                         | 0,00019  | 0,027 %        | 78                           | 5        | 15 %           |
| D_ST_T_9044 | 0,71081                         | 0,00019  | 0,027 %        | 370                          | 25       | 15 %           |
| E_ST_T_9046 | 0,71064                         | 0,00019  | 0,027 %        | 132                          | 9        | 15 %           |
| D_ST_T_9046 | 0,71046                         | 0,00019  | 0,027 %        | 559                          | 37       | 15 %           |
| E_ST_T_9049 | 0,71183                         | 0,00019  | 0,027 %        | 136                          | 9        | 15 %           |
| D_ST_T_9049 | 0,71055                         | 0,00019  | 0,027 %        | 316                          | 21       | 15 %           |
| E_ST_T_9051 | 0,70960                         | 0,00019  | 0,027 %        | 71                           | 5        | 15 %           |
| D_ST_T_9051 | 0,71045                         | 0,00019  | 0,027 %        | 481                          | 32       | 15 %           |
| E_ST_T_9052 | 0,71024                         | 0,00019  | 0,027 %        | 127                          | 8        | 15 %           |
| D_ST_T_9052 | 0,71049                         | 0,00019  | 0,027 %        | 470                          | 31       | 15 %           |
| E_ST_T_9054 | 0,70995                         | 0,00019  | 0,027 %        | 120                          | 8        | 15 %           |
| D_ST_T_9054 | 0,71040                         | 0,00019  | 0,027 %        | 411                          | 27       | 15 %           |
| E_ST_T_9023 | 0,71204                         | 0,00019  | 0,027 %        | 185                          | 12       | 15 %           |
| D_ST_T_9023 | 0,71144                         | 0,00019  | 0,027 %        | 260                          | 17       | 15 %           |
| E_ST_T_9026 | 0,71027                         | 0,00019  | 0,027 %        | 143                          | 10       | 15 %           |
| D_ST_T_9026 | 0,71057                         | 0,00019  | 0,027 %        | 621                          | 41       | 15 %           |
| E_ST_T_1377 | 0,71007                         | 0,00019  | 0,027 %        | 113                          | 8        | 15 %           |
| D_ST_T_1377 | 0,71067                         | 0,00019  | 0,027 %        | 283                          | 19       | 15 %           |

Abb. 214:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der menschlichen Zähne. D = Dentin; E = Enamel.

| Proben ID     | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|---------------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| E_ST_21307    | 0,71041                         | 0,00027  | 0,038 %        | 233                          | 16       | 15 %           |
| D_ST_21307    | 0,71074                         | 0,00027  | 0,038 %        | 1067                         | 71       | 15 %           |
| E_ST_CF_8855  | 0,71068                         | 0,00027  | 0,038 %        | 529                          | 35       | 15 %           |
| D_ST_CF_8855  | 0,71061                         | 0,00027  | 0,038 %        | 911                          | 61       | 15 %           |
| E_ST_SS_13238 | 0,71028                         | 0,00027  | 0,038 %        | 272                          | 18       | 15 %           |
| D_ST_SS_13238 | 0,71064                         | 0,00027  | 0,038 %        | 711                          | 47       | 15 %           |
| E_ST_CE_7473  | 0,71054                         | 0,00027  | 0,038 %        | 254                          | 17       | 15 %           |
| D_ST_CE_7473  | 0,71062                         | 0,00027  | 0,038 %        | 765                          | 51       | 15 %           |
| E_ST_CA_13286 | 0,70998                         | 0,00036  | 0,051 %        | 1511                         | 101      | 15 %           |
| D_ST_CA_13286 | 0,71008                         | 0,00038  | 0,054 %        | 862                          | 57       | 15 %           |
| E_ST_CF_13285 | 0,71072                         | 0,00027  | 0,038 %        | 300                          | 20       | 15 %           |
| D_ST_CF_13285 | 0,71023                         | 0,00027  | 0,038 %        | 626                          | 42       | 15 %           |
| E_ST_SD_13332 | 0,71082                         | 0,00027  | 0,038 %        | 250                          | 17       | 15 %           |
| D_ST_SD_13332 | 0,71031                         | 0,00027  | 0,038 %        | 578                          | 39       | 15 %           |

Abb. 215:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der Tierzähne. D = Dentin; E = Enamel.

| Proben ID   | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|-------------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| ST_M_13272  | 0,71123                         | 0,00024  | 0,034 %        | 521                          | 35       | 15 %           |
| ST_M_13289  | 0,71044                         | 0,00024  | 0,034 %        | 306                          | 20       | 15 %           |
| ST_M_13238a | 0,71007                         | 0,00024  | 0,034 %        | 662                          | 44       | 15 %           |
| ST_M_13238b | 0,71025                         | 0,00024  | 0,034 %        | 379                          | 25       | 15 %           |
| ST_M_13311  | 0,71053                         | 0,00024  | 0,034 %        | 376                          | 25       | 15 %           |

Abb. 216:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der Muscheln.

| Proben ID  | Probenart | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|------------|-----------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| ST_S_13307 | Boden     | 0,71044                         | 0,00017  | 0,024 %        | 11                           | 1        | 15 %           |
| ST_S_13289 | Boden     | 0,71048                         | 0,00017  | 0,024 %        | 4,1                          | 0,3      | 15 %           |
| ST_7649    | Stroh     | 0,71116                         | 0,00031  | 0,043 %        | 114                          | 8        | 15 %           |
| ST_9864    | Holz      | 0,71110                         | 0,00035  | 0,049 %        | 149                          | 10       | 15 %           |

Abb. 217:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der archäologischen Umweltproben.

| Proben ID | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|-----------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| ST_S_P1   | 0,70929                         | 0,00034  | 0,048 %        | 5,43                         | 0,36     | 15 %           |
| ST_S_P2   | 0,70949                         | 0,00029  | 0,041 %        | 2,57                         | 0,17     | 15 %           |
| ST_S_P3   | 0,70955                         | 0,00029  | 0,041 %        | 1,91                         | 0,13     | 15 %           |
| ST_S_P4   | 0,70955                         | 0,00029  | 0,041 %        | 5,92                         | 0,39     | 15 %           |
| ST_S_P5   | 0,70948                         | 0,00029  | 0,041 %        | 3,79                         | 0,25     | 15 %           |
| ST_S_P6   | 0,71100                         | 0,00036  | 0,051 %        | 7,81                         | 0,52     | 15 %           |
| ST_S_P6b  | 0,70980                         | 0,00029  | 0,041 %        | 3,36                         | 0,23     | 15 %           |
| ST_S_P7   | 0,71004                         | 0,00029  | 0,041 %        | 3,36                         | 0,23     | 15 %           |
| ST_S_P8   | 0,70890                         | 0,00029  | 0,041 %        | 3,69                         | 0,25     | 15 %           |
| ST_S_P9   | 0,70994                         | 0,00017  | 0,024 %        | 5,17                         | 0,35     | 15 %           |
| ST_S_P10  | 0,71024                         | 0,00017  | 0,024 %        | 6,02                         | 0,40     | 15 %           |
| ST_S_P11  | 0,70965                         | 0,00017  | 0,024 %        | 5,57                         | 0,37     | 15 %           |
| ST_S_P12  | 0,70864                         | 0,00017  | 0,024 %        | 7,43                         | 0,49     | 15 %           |
| ST_S_P13  | 0,70915                         | 0,00017  | 0,024 %        | 3,27                         | 0,22     | 15 %           |
| ST_S_P14  | 0,70940                         | 0,00017  | 0,024 %        | 5,46                         | 0,37     | 15 %           |
| ST_S_P15  | 0,71002                         | 0,00017  | 0,024 %        | 4,97                         | 0,33     | 15 %           |
| ST_S_P18  | 0,70905                         | 0,00017  | 0,024 %        | 2,09                         | 0,14     | 15 %           |
| ST_S_P20  | 0,70866                         | 0,00017  | 0,024 %        | 5,23                         | 0,35     | 15 %           |

Abb. 218:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der rezenten Bodenproben.

| Proben ID | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ | Sr mass. [ $\mu\text{g/g}$ ] | $U(k=2)$ | $U_{rel}(k=2)$ |
|-----------|---------------------------------|----------|----------------|------------------------------|----------|----------------|
| ST_W_P16  | 0,71050                         | 0,00017  | 0,023 %        | 0,362                        | 0,024    | 15 %           |
| ST_W_P17  | 0,71077                         | 0,00017  | 0,023 %        | 0,339                        | 0,023    | 15 %           |
| ST_W_P19  | 0,71008                         | 0,00017  | 0,023 %        | 1,097                        | 0,073    | 15 %           |
| ST_W_P21  | 0,70954                         | 0,00017  | 0,023 %        | 0,255                        | 0,017    | 15 %           |
| ST_W_P22  | 0,70990                         | 0,00017  | 0,023 %        | 0,270                        | 0,018    | 15 %           |

Abb. 219:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ergebnisse der rezenten Wasserproben.