

## 4 Ergebnisse

Alle Ergebnisse der stabilen Isotope und Spurenelemente wurden auf Normalverteilung geprüft. Die Normalverteilung wurde in jedem der Fälle ausgeschlossen, so dass für zusammenfassende Darstellungen die Mediane und nicht die Mittelwerte gewählt wurden.

### 4.1 Qualitätskontrolle der Proben

Wie bereits erwähnt, unterliegt ein bodengelagerter Knochen vielfältigen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, die solange andauern, bis der Knochen in seine Bausteine zerlegt ist. Eine Diagenese des Knochens muss in Betracht gezogen werden. Als solche sind für die weiteren Betrachtungen alle bodenchemisch bedingten und mikrobiellen Veränderungen der Knochensubstanz zu beachten. Ebenfalls als diagenetische Veränderung sind Substanz- respektive Elementeinträge infolge post-mortaler Auflagerungen auf die Knochenoberfläche bzw. Einträge in Hohlräume der Knochensubstanz mit ein zu beziehen, welche keine chemische Wechselwirkung einschließen. Um eine Diagenese weitestgehend auszuschließen, wurden die Proben folgenden Qualitätskontrollen unterzogen.

#### 4.1.1 Histologie

Der lichtmikroskopisch bewertete Erhaltungszustand der Knochenbinnenstruktur wird als ein von den gemessenen Isotopen- und Spurenelementkonzentrationen unabhängiges, externes Bezugssystem verwendet. So wurde für die vorliegende Arbeit als diagenetisches Kriterium unter anderem die Erhaltung der Knochensubstanz gewählt.

Es wurden für diese Arbeit nur augenscheinlich „gut“ erhaltene Knochen ausgewählt und mittels Lichtmikroskopie auf ihren Erhaltungszustand hin überprüft. Es zeigte sich, dass nur vier Proben nicht in die Kategorie „gut“, sondern als „moderat“ einzustufen waren (vgl. 3.5 Histologie, Seite 33) und daher nicht für die Analyse der stabilen Isotope und Spurenelemente verwendet wurden.

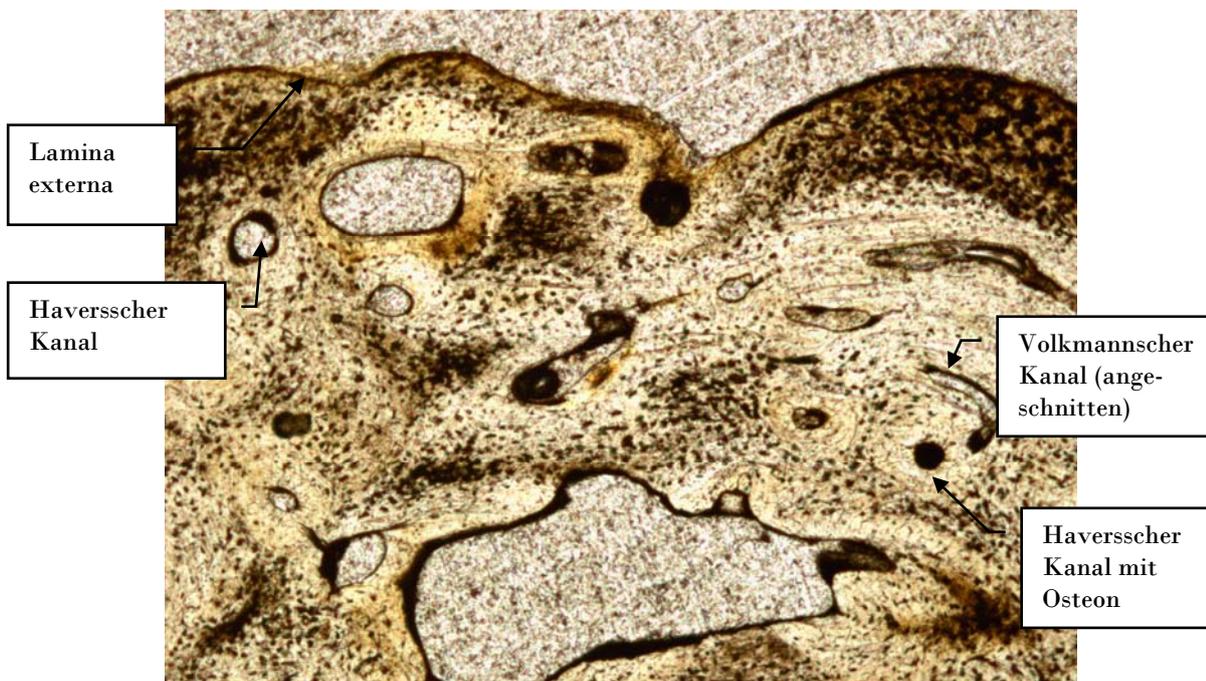
## ERGEBNISSE

**Tabelle 8:** Tabellenauszug über den Erhaltungszustand der Knochenproben. Die vollständige Tabelle befindet sich im Anhang (Tabelle 19, Seite 293).

<b>Skelettnummer</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Erhaltungszustand</b>
B 10	49,75 Jahre	w	gut
B 19	20 - 21 Jahre	w	gut
B 29/2	2 - 3 Jahre	allophys (w?)	gut
B 38/4	10 Jahre +/- 10 Monate	m	gut
B 30	63,75 Jahre	m	gut
B 39/1	6 - 7 Jahre	w	sehr gut
B 39/2	7 - 8 Jahre	w	gut
B 53	39,25 Jahre	m	gut
B 60	32,25 Jahre	w	gut
B 66	45 Jahre	m	gut
B 77	3,75 Jahre	m	gut
B 80/3	6 - 7 Jahre	w	sehr gut
B 82	7 Jahre +/- 24 Mon.	w	sehr gut
B 84	2 Jahre +/- 8 Mon.	m	sehr gut
B 87	67,25 Jahre	w	gut
B 88	53,75 Jahre	w	gut
B 94	66,75 Jahre	m	gut
B 95	65 Jahre	m	gut
B 106	5 Jahre +/- 16 Mon.	m	gut
B 113	7 - 8 Jahre	m	gut
B 116/1	54,33 +/- 3 Jahre	m	gut
B 116/2	infans I	?	gut
B 122	64,33 Jahre	w	gut

✂

Im Folgenden wird jeweils ein gut und ein schlecht erhaltener Knochen dargestellt.



**Abbildung 15:** Lichtmikroskopische Aufnahme eines Knochendünnschliffes von einer histologisch als „gut“ kategorisierten Knochenprobe aus Usedom (U 175).

## ERGEBNISSE

Abbildung 15 zeigt das histologische Präparat der Knochenprobe U 175 und somit einen gut erhaltenen Knochen. Die schwarzen kleinen Pünktchen stellen die Lakunen dar. Um die Haversschen Kanäle und die Osteone zeigt sich eine regelmäßige Lamellenanordnung. Unter polarisiertem Licht sind Brewster-Kreuze zu erkennen.

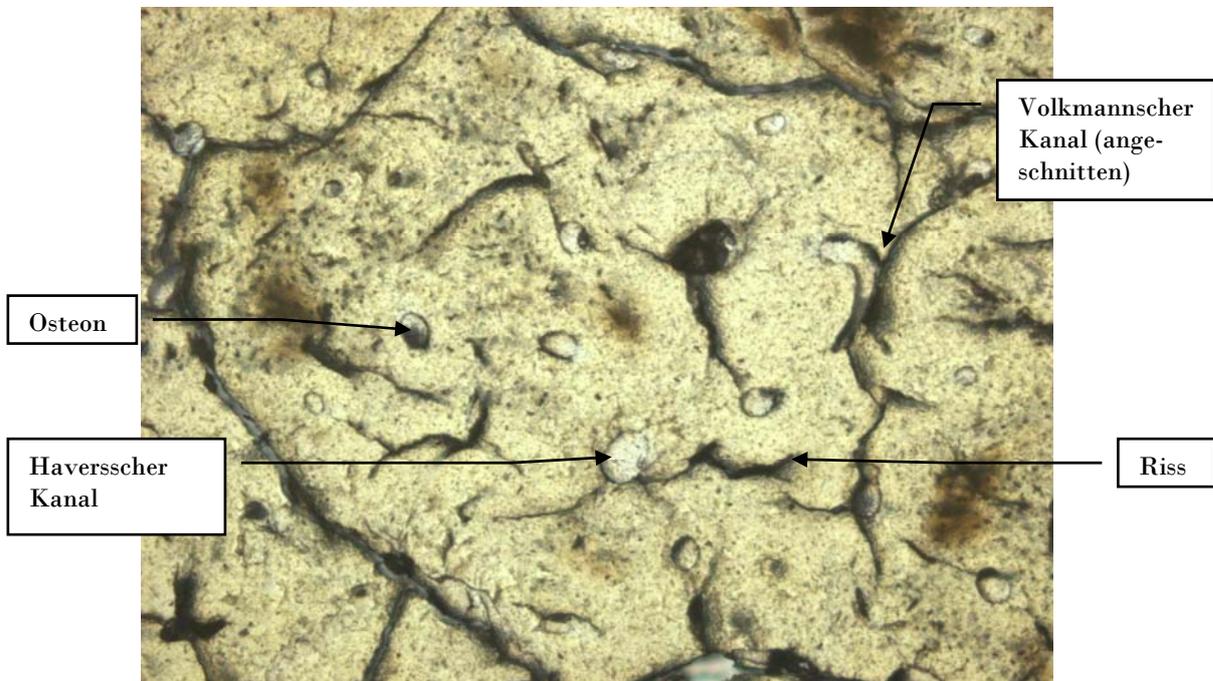


Abbildung 16: Lichtmikroskopische Aufnahme eines Knochendünnschliffes von einer histologisch als „schlecht“ kategorisierten Knochenprobe aus Tasdorf (T<sub>MA</sub>102).

Abbildung 16 stellt die Knochenprobe des Individuums T<sub>MA</sub>102, einen schlecht erhaltenen Knochen dar. Die Risse sind erhaltungsbedingt und stammen nicht von der Behandlung mit Kunstharz. Allerdings kann man die Zerstörung durch eine Kunstharztränkung nicht ganz ausschließen, da es einige Kunstharze gibt, die beim Aushärten einer starken Schrumpfung unterliegen und dadurch das Objekt zerbrechen können. Dagegen spricht allerdings die Ausfüllung der großen durchgehenden Spalten mit Kunststoff. Daraus lässt sich schließen, dass die Risse schon vor dem Tränken vorhanden waren. Die kurzen Risse stammen nicht vom Schrumpfen des Harzes. Dafür sind sie zu kurz und nicht genügend geradlinig (mündl. Mitteilung SCHREIBER).

#### 4.1.2 Aminosäureanalyse

Die Aminosäureanalyse bestimmt einerseits den Gehalt an Aminosäuren pro 100 mg Lyophilisat (in nmol) und andererseits die prozentuale Verteilung der verschiedenen Aminosäuren.

Ermittelt wurde der Aminosäurertrag für 46 menschliche und 4 tierische Knochenproben. Da alle Proben ein molares C/N-Verhältnis zwischen 2,9 und 3,6 aufwiesen, wurden für die Aminosäureanalyse nur diejenigen Kollagenproben ausgewählt, die zwischen 1 und 5 % Lyophilisat-Ausbeute lagen.

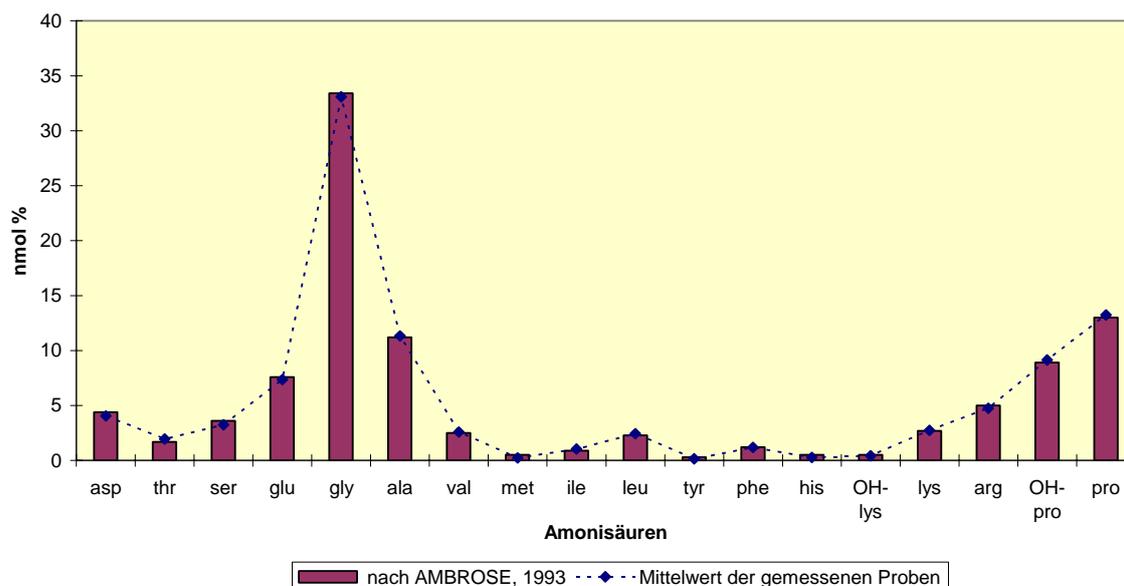
Hierzu siehe die Tabelle „Kollagensausbeute“ im Anhang auf Seite 296.

**Tabelle 9:** Tabellenauszug über die Kollagensausbeute der drei Skelettserien. Die vollständige Tabelle befindet sich im Anhang (Seite 299).

<b>Probennummer</b>	<b>Knochenmehl in g</b>	<b>Auswaage Kollagen in g</b>	<b>Auswaage in %</b>
B 10	0,50415	0,02969	5,9
B 19	0,52599	0,03518	6,7
B 29/2	0,49549	0,02552	5,2
B 30	0,48566	0,04256	8,8
B 38/4	0,49747	0,01149	2,3
B 39/1	0,53604	0,03485	6,5
B 39/2	0,53017	0,01319	2,5
B 53	0,53353	0,02519	4,7
B 60	0,51400	0,04550	8,9
B 66	0,50672	0,02094	4,1
B 77	0,26010	0,00649	2,5
B 80/3	0,51828	0,03534	6,8
B 82	0,50301	0,06665	13,3
B 84	0,50072	0,05614	11,2
B 87	0,50955	0,02107	4,1
B 88	0,52000	0,04736	9,1
B 94	0,49346	0,03815	7,7
B 95	0,53118	0,02710	5,1
B 106	0,51849	0,02617	5,0
B 113	0,50469	0,01693	3,4
B 116/1	0,49517	0,01563	3,2
B 116/2	0,51232	0,02428	4,7
B 122	0,53177	0,01126	2,1
✂			

Um die Qualität des Kollagens zu bewerten, wurden die Ergebnisse der hier durchgeführten Aminosäureanalyse mit den Werten von nativem Kollagen aus AMBROSE (1993) verglichen.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 17: Zusammenfassende Ergebnisse der Aminosäureanalyse des menschlichen und des tierischen Kollagens, verglichen mit den Referenzwerten für natives Kollagen (AMBROSE, 1993). Die Verbindungslinien dienen lediglich der besseren Orientierung.**

Die Ergebnisse der AS-Analyse deuten auf eine gute Erhaltung der Knochen hin, d. h. die kollagentypische Zusammensetzung der einzelnen Aminosäuren wurde durch die Dekomposition kaum verändert. Die Aminosäurespektren der gemessenen Proben weisen im Vergleich zu den Referenzwerten ein kollagentypisches Spektrum auf.

**Tabelle 10: Auszug der Tabelle der gemessenen Aminosäuren. Die vollständige Tabelle befindet sich im Anhang.**

	<i>asp</i>	<i>thr</i>	<i>ser</i>	<i>glu</i>	<i>gly</i>	<i>ala</i>	<i>val</i>	<i>met</i>	<i>ile</i>	<i>leu</i>	<i>tyr</i>	<i>phe</i>	<i>his</i>	<i>OH-lys</i>	✂
AMBROSE, 1993	4,40	1,70	3,60	7,60	33,40	11,20	2,50	0,50	0,90	2,30	0,30	1,20	0,50	0,50	
B 38/4	2,00	1,96	3,05	7,37	34,88	11,29	2,15	0,06	0,78	1,85	0,10	1,09	0,28	0,35	
B 39/2	4,52	1,94	3,40	7,36	33,55	11,71	2,61	0,12	1,06	2,58	0,10	1,22	0,34	1,30	
B 53	4,30	5,00	3,50	7,26	32,31	11,51	2,49	0,16	1,07	2,48	0,20	1,18	0,35	0,34	
B 66	3,76	2,00	3,25	7,32	32,17	11,22	2,65	0,16	1,10	2,68	n.d.	1,08	0,36	0,32	
B 77	4,20	1,80	3,25	7,16	32,49	11,44	2,62	0,26	1,03	2,48	n.d.	1,26	0,39	0,43	
B 87	4,44	1,97	3,13	7,23	32,56	11,51	2,81	0,07	1,10	2,59	0,10	1,27	0,28	0,34	
B 113	3,85	2,13	3,21	7,29	32,90	11,12	2,68	0,16	0,93	2,39	0,20	1,31	0,30	0,33	
B 116/1	4,45	1,98	2,87	7,10	34,12	11,74	2,78	0,13	1,01	2,31	0,10	1,15	0,25	0,29	
B 116/2	3,67	2,14	3,15	7,22	32,31	11,71	2,78	0,14	1,03	2,47	n.d.	1,32	0,19	0,42	
B 122	3,60	2,13	3,40	7,36	32,71	11,56	2,46	0,16	1,04	2,39	0,10	1,31	0,20	0,37	

## 4.2 Stabile Isotope im Kollagen

Für eine korrekte Interpretation der stabilen Isotope muss das Kollagen einer Reihe von Qualitätskriterien entsprechen. Die erforderlichen quantitativen Analysen bestimmen die Kollagenkonzentration im untersuchten Knochen in Gewichtsprozent und den Aminosäureertrag in nmol pro 100 mg Extrakt. In der qualitativen Untersuchung werden die prozentuale Aminosäurezusammensetzung und der Kohlenstoff- bzw. Stickstoff-Gehalt des Kollagens jeder einzelnen Knochenprobe bestimmt. Für das molare C/N-Verhältnis und die Konzentration dieser beiden Elemente sind Richtwerte aus der Literatur bekannt (vgl. AMBROSE, 1993). Gut erhaltenes Kollagen sollte mehr als drei Gewichtsprozent an Kohlenstoff und mehr als ein Prozent an Stickstoff besitzen.

Die in dieser Arbeit untersuchten 130 Knochenproben wurden mittels eines Massenspektrometers auf ihre Stickstoff- und Kohlenstoffwerte hin analysiert. Dabei wurden die Gewichtsprozent der Stickstoff- bzw. Kohlenstoff-Atome und das C/N-Verhältnis festgestellt (siehe Tabelle 33 im Anhang, Seite 307).

**Tabelle 11:** Auszug der Tabelle zu den Gewichtsprozent der Stickstoff- bzw. Kohlenstoff-Atome, sowie den C/N-Verhältnis der Proben.

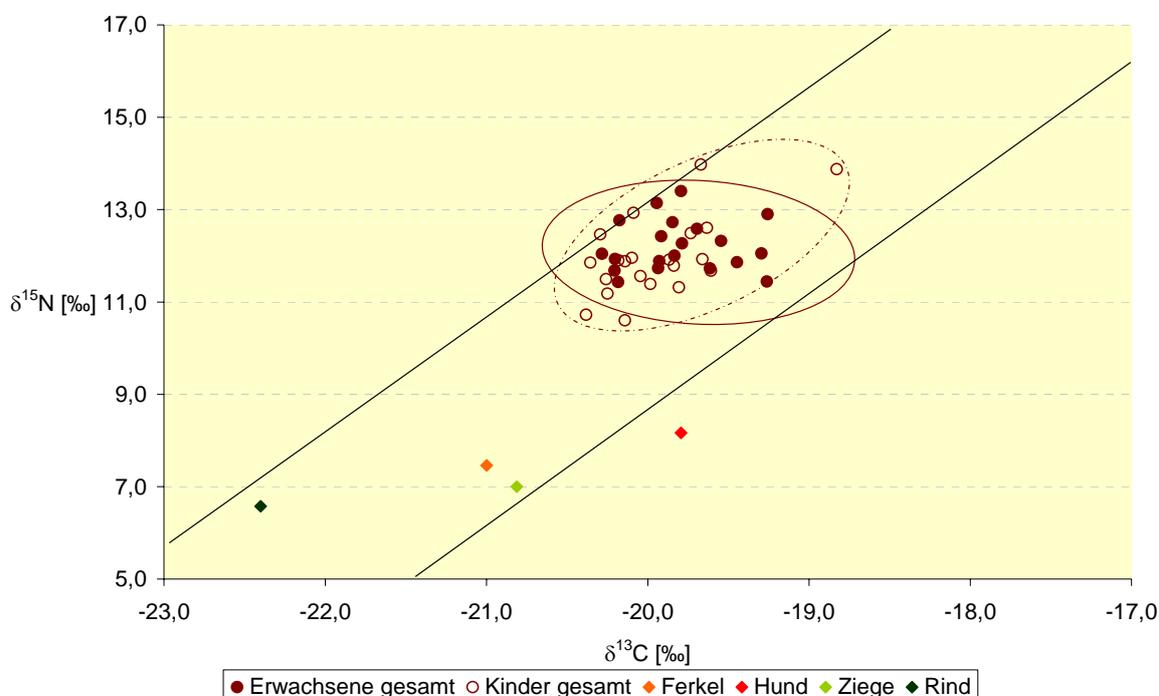
<i>Probe</i>	<i>d15N‰</i>	<i>N %</i>	<i>d13C‰</i>	<i>C %</i>	<i>C/N (molar)</i>
U 03	10,1	14,1	-19,5	37,4	3,1
U 06	8,7	13,0	-18,7	33,7	3,0
U 07	9,6	14,3	-19,5	37,6	3,1
U 46	12,0	14,1	-19,5	37,6	3,1
U 47	11,2	13,0	-19,3	34,2	3,1
U 57	11,3	14,8	-19,5	40,0	3,2
U 61	9,5	12,3	-18,9	32,9	3,1
U 67	10,4	12,9	-19,1	33,7	3,0
U 88	13,3	13,3	-19,2	35,1	3,1
U 89	9,8	16,0	-19,4	41,3	3,0
U 94	11,0	12,8	-19,8	33,4	3,0
U 96	10,0	14,7	-19,1	39,4	3,1
U 98	10,1	9,3	-18,7	23,7	3,0
U 105	10,2	14,9	-19,4	40,2	3,2
U 106	10,7	14,4	-19,5	37,6	3,1
U 110	11,9	14,7	-19,6	39,8	3,1
U 112	11,8	14,1	-19,6	39,4	3,3
U 114	12,7	13,7	-19,4	37,1	3,2
U 117	13,5	14,3	-19,0	39,2	3,2
U 121	10,0	15,6	-19,5	42,8	3,2
U 123	11,3	15,7	-19,7	42,4	3,1
U 128	9,5	15,0	-19,6	41,0	3,2



Die Ergebnisse der stabilen Isotope aus den Knochenkollagenen der drei Skelettserien werden zur besseren Vergleichbarkeit in jeweils gleich skalierten Grafiken dargestellt.

## ERGEBNISSE

Will man aus diesen Daten Rückschlüsse auf die Nahrungsressourcen ziehen, darf man nicht außer Betracht lassen, dass im Kollagen in Bezug auf  $\delta^{13}\text{C}$  eine Anreicherung um 5 ‰ stattfindet. Deshalb müssen von den hier gemessenen und dargestellten Rohdaten bei den Kohlenstoffwerten jeweils 5 ‰ abgezogen werden, um auf die Isotopieverhältnisse der konsumierten Pflanzen zu kommen.



**Abbildung 18:** Grafische Darstellung der  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der gesamten menschlichen Individuen ( $N_{\text{gesamt}} = 41$ ) nebst den Tieren aus *Bernau*. Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung des Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Da die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Konsumenten in der Regel 3 – 4 ‰ schwerer sind als die seiner Nahrung, erlaubt dies zu rekonstruieren, welche Nahrung ein Individuum konsumiert haben könnte, aber etwa auch, ob ein Jungtier noch gestillt wurde. Die Geraden verdeutlichen den Trophieeffekt zwischen Konsument und Nahrung (-3 -4 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  und  $\sim 1$  ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$ ), die Ellipsen stellen den Aufenthaltsraum der Erwachsenen bzw. der Kinder dar.

In Abbildung 18 ist die grafische Darstellung der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der menschlichen und tierischen Individuen aus Bernau dargestellt. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte deuten auf eine Ernährung mit einem hohen Fleischanteil hin. 14 Individuen ergaben einen höheren Wert als 12 ‰. Das Individuum B 148/3, ein 0-1 Jahre altes männliches Kind, hat den höchsten  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert mit 14,0 ‰. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte spiegeln einen ausschließlichen Konsum von  $\text{C}_3$ -Pflanzen wider. Zu den  $\text{C}_3$ -Pflanzen gehören z.B. die einheimischen Getreidesorten wie Weizen (Gattung *Triticum*), Dinkel (*Triticum spelta*)<sup>12</sup>, Roggen (*Secale cereale*) und Gerste (*Hordeum vulgare*). Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob regelmäßig  $\text{C}_4$ -Pflanzen konsumiert wurden. Dies kann mit ziemlicher Sicherheit

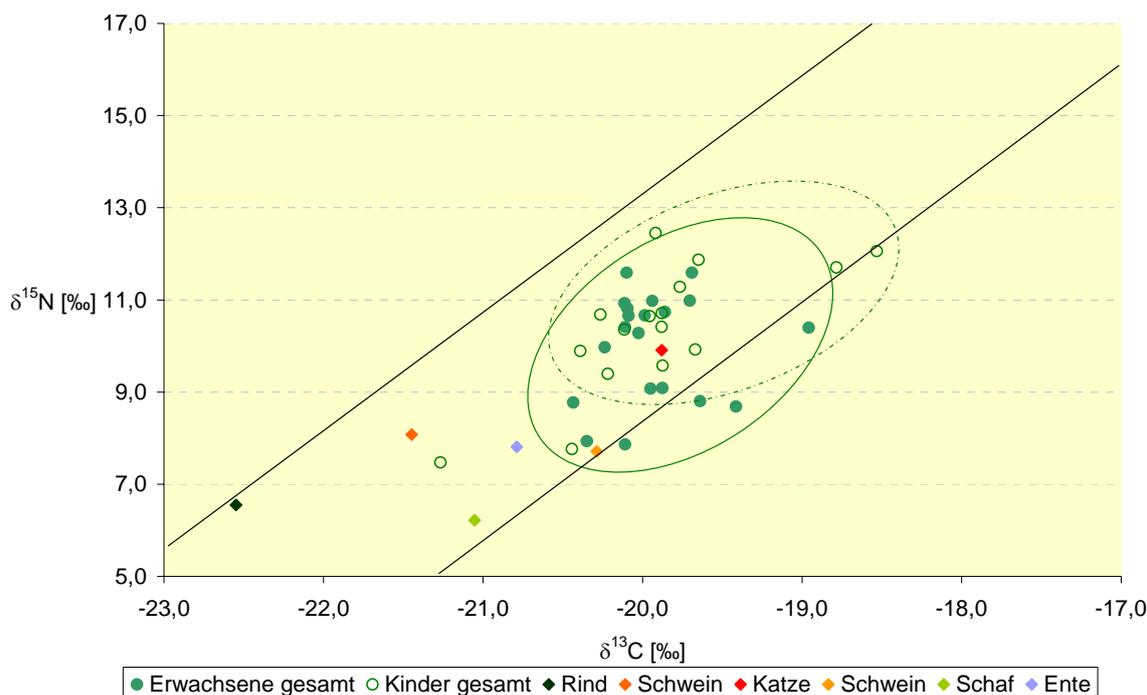
<sup>12</sup> Dinkel oder „Spelz“ ist eine Getreideart und ein Vorläufer des heutigen Weizens.

ausgeschlossen werden, da der größte Teil der C<sub>4</sub>-Pflanzen tropisch-aride Standorte bevorzugt. Obwohl von den C<sub>4</sub>-Pflanzen im europäischen Mittelalter der Amaranth (*Amaranthus lividus*) und die Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) bekannt waren und angebaut wurden, ist ihre Bedeutung in diesem Zusammenhang eher zweitrangig, da die hier gemessenen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nicht auf den Konsum von C<sub>4</sub>-Pflanzen deuten.

Alle Tiere aus Bernau zeigen eine eher herbivore Ernährung. Selbst bei dem Hund mit seinen Werten von  $-19,8\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  und  $8,2\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$  scheint es sich um einen eher „vegetarischen“, also herbivoren Hund“ zu handeln, wenn man ihn im Vergleich zu den strikten Herbivoren betrachtet: Ziege, Ferkel und Rind streuen in ihren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten. Allerdings haben terrestrische Karnivore ein mittleres  $\delta^{15}\text{N}$  von ca.  $9\text{‰}$  (SCHUTKOWSKI, 1994a), was für den Hund für doch vielmehr karnivore Werte spräche. Terrestrische Herbivore haben ein mittleres  $\delta^{15}\text{N}$  von ca.  $5\text{‰}$  (SCHUTKOWSKI, 1994a) und somit würden die Herbivoren aus Bernau leicht darüber liegen: Die Ziege hat die Werte  $-20,8\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  und  $7,0\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$ , das Ferkel  $-21,0\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$ - und  $7,5\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$  und das Rind  $-22,4\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  und  $6,6\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$ . Die Tiere aus Bernau scheinen somit keine eindeutigen herbivoren bzw. karnivoren Stickstoffwerte aufzuweisen.

Mittels des Nahrungsnetzmodells von LEE-THORP ET AL. (1989) ermittelt man bei der Ziege einen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der konsumierten Pflanze von  $-24,8\text{‰}$ , bei dem Rind auf  $-29,4\text{‰}$ . Für das omnivore Ferkel bedeutet das einen Wert von  $-26,0\text{‰}$  für  $\delta^{13}\text{C}$  und für den Hund  $-24,8\text{‰}$ . Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Proteine, die der Hund gefressen haben müsste, liegen bei  $5\text{‰}$  bis  $4\text{‰}$ . Leider fehlen z.B. Werte von Kleinsäugetern, die dem Hund als Nahrung gedient haben könnten. Wahrscheinlich ernährte er sich aber auch eher omnivor als rein karnivor. Leguminosen besitzen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von  $0\text{‰}$  bis  $4\text{‰}$ , so dass eine Fütterung mit Hülsenfrüchten, z.B. durch Abfallreste, vorstellbar wäre. Dies ist gut denkbar, obwohl kein menschliches Individuum darauf eindeutig hinweist. Es sollte hierbei nämlich bedacht werden, dass Nahrungsmittel mit höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten diejenigen mit niedrigeren, wie z.B. hier die Leguminosen, graphisch „überlagern“ würden und somit nicht mehr klar zu erkennen sind. Eine definitive Aussage über den Verzehr von Hülsenfrüchten kann daher nur bei einem ausschließlichen Genuss eben dieser getroffen werden.

## ERGEBNISSE



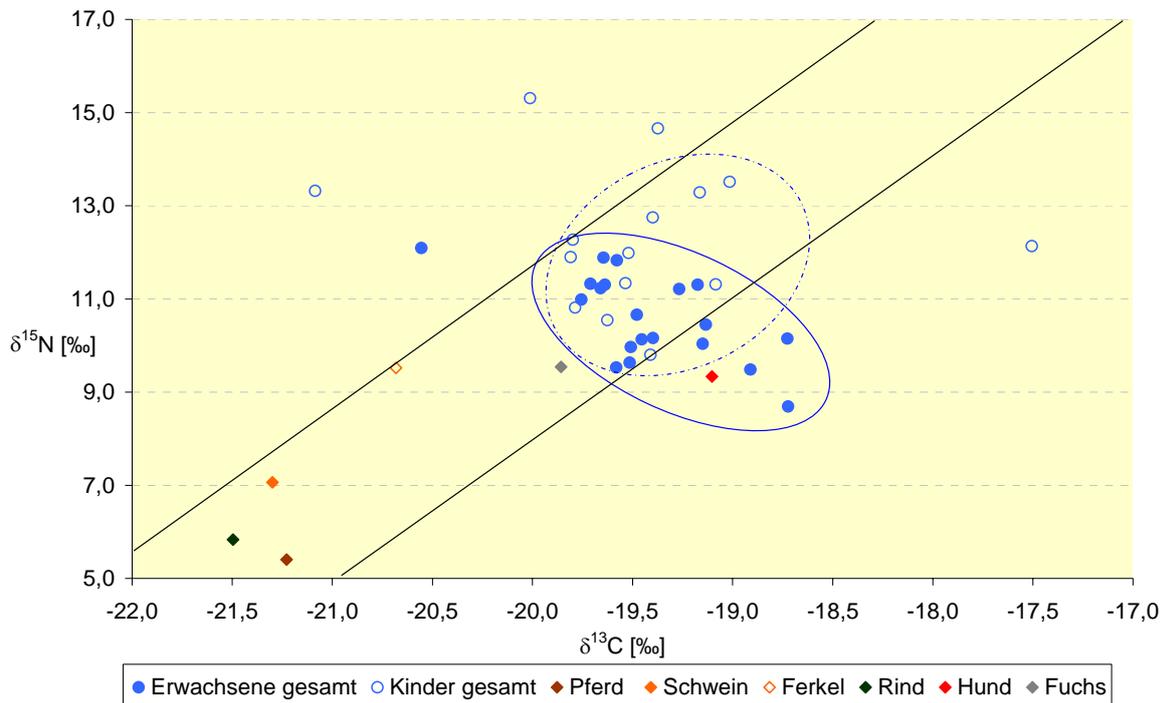
**Abbildung 19:** Grafische Darstellung der  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der gesamten menschlichen Individuen ( $N_{\text{gesamt}} = 38$ ) nebst den Tieren aus *Tasdorf*. Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung des Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Mit steigender Stellung in der Nahrungskette findet eine Anreicherung mit dem schwereren Isotop statt. Die Geraden verdeutlichen den Trophieeffekt zwischen Konsument und Nahrung (-3 -4 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  und  $\sim 1$  ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$ ), die Ellipsen stellen den Aufenthaltsraum der Erwachsenen bzw. der Kinder dar.

Abbildung 19 stellt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Population, sowie der dortigen Tiere in *Tasdorf* dar. Es zeigt sich eine hohe Variabilität innerhalb der menschlichen Bevölkerung sowohl innerhalb der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als auch der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und somit deutliche individuelle Differenzen im Konsum von tierischen Eiweiß und pflanzlicher Nahrung. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ermöglichen den Ausschluss von  $\text{C}_4$ -Pflanzen und mariner Kost.

Die Isotope der Katze finden sich mit ihren Werten von -19,8 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$  und 9,9 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  eindeutig im karnivoren Trophiestufenbereich. Sie müsste daher eine Proteinquelle mit Werten von 5 ‰ bis 6 ‰ gefressen haben. Das junge Rind weist mit -22,5 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$  und 6,5 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  deutlich eine Trophiestufe auf, wie sie rein herbivore Tiere zeigen. Die konsumierten Pflanzen hätten demnach  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -27,5 ‰. Die Schweine mit ihrer eher omnivoren Ernährung zeigen Werte von -21,4 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$  und 8,0 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  und -20,3 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$  und 7,7 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  auf und weist daher auf Pflanzen mit -26,4 ‰, bzw. -25,3 ‰ und einer Proteinquelle von 5 ‰ bis 4 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  hin. Das Schaf mit Werten von -21,1 ‰ und 6,2 ‰ deutet auf konsumierte Pflanzen von -26,1 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  hin. Die Ente zeigte Werte von -20,8 ‰ und 7,8 ‰. Ihre Nahrungsgrundlage bildeten wahrscheinlich Pflanzen mit -25,8 ‰ und eine Proteinquelle mit

## ERGEBNISSE

3 ‰ bis 4 ‰, was für Leguminosen spräche. Enten fressen nahezu alles. Zu ihrem Speiseplan gehören z.B. Wasserpflanzen, Insekten, Larven, Schnecken, Kaulquappen, kleine Frösche, Fischlaich, Würmer, Muscheln, Krebse, Gras, Unkraut, Wurzeln, Samen, Beeren, Getreide, Früchte, Gemüse und Brot. Daher wäre ein Verzehr von Leguminosen denkbar. Deren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte würden somit diejenigen der gefressenen  $\text{C}_3$ -Pflanzen überlagern. Jedoch würde das gleiche auch für die gefressenen tierischen Proteine gelten. Diejenigen Werte würden also die Leguminosen-Werte „überdecken“. Interessant wären natürlich in diesem Fall  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Fröschen oder Fischlaich als Vergleich.



**Abbildung 20:** Grafische Darstellung der  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der gesamten menschlichen Individuen ( $N_{\text{gesamt}} = 35$ ) nebst den Tieren aus *Usedom*. Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung des Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Mit steigender Stellung in der Nahrungskette findet eine Anreicherung mit dem schwereren Isotop statt. Die Geraden verdeutlichen den Trophieeffekt zwischen Konsument und Nahrung (-3 -4 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$  und  $\sim 1$  ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$ ), die Ellipsen stellen den Aufenthaltsraum der Erwachsenen bzw. der Kinder dar.

In Abbildung 20 sind die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der menschlichen, sowie der gefundenen Tiere aus *Usedom* dargestellt. Auch hier ist eine sehr hohe Variabilität innerhalb der menschlichen Population zu beobachten. Die Werte streuen zwischen -18,7 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 8,6 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für das Individuum U 06, einem maturen Mann; -17,5 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 12,1 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für Skelett U 181, einem ca. zweijährigen männlichen Kind; -21,1 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 13,3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für U 190, ein ca. 1,5 Jahre altes Kind und -20,0 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 15,3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für das ca. zweijährige Individuum U 192. Eine Ernährung mit  $\text{C}_4$ -Pflanzen als Hauptnahrung ist auszuschließen. Interessanterweise deutet auch nichts auf eine

## ERGEBNISSE

marine Ernährung als Haupternährung hin. Fuchs (-19,9 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 9,5 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ) und Hund (-19,1 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 9,3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ) zeigen eine deutliche Tendenz zu karnivorer Ernährung auf, liegen jedoch noch eher im omnivoren Trophiebereich. Beide weisen auf eine Proteinquelle mit 6 ‰ bis 5 ‰ hin. Pferd und Rind sind eindeutig herbivor: -21,5 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 5,8 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für das Rind und -21,2 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 5,4 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  für das Pferd, demnach hatten die gefressenen Pflanzen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von etwa -26 ‰. Die beiden Schweine ergaben stark unterschiedliche Werte: -21,3 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 7,1 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  und -20,7 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 9,5 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ . Bei letzteren Werten handelt es sich um ein Ferkel. Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert zeigt hier ein Stillsignal an. Die Proteinquelle des erwachsenen Schweines hatte 4 ‰ bis 3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ , die Nahrungspflanzen -26,3 ‰. Die Proteinquelle würde also auf Leguminosen hindeuten.

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte decken den Überschneidungsbereich der herbivoren und karnivoren Ernährungsweise ab. Ein Teil der Daten weist auf einen hohen Fleischanteil der Nahrung hin, während andere Individuen Isotopien zeigen, die auf eine hauptsächlich herbivore Ernährungsweise deuten.

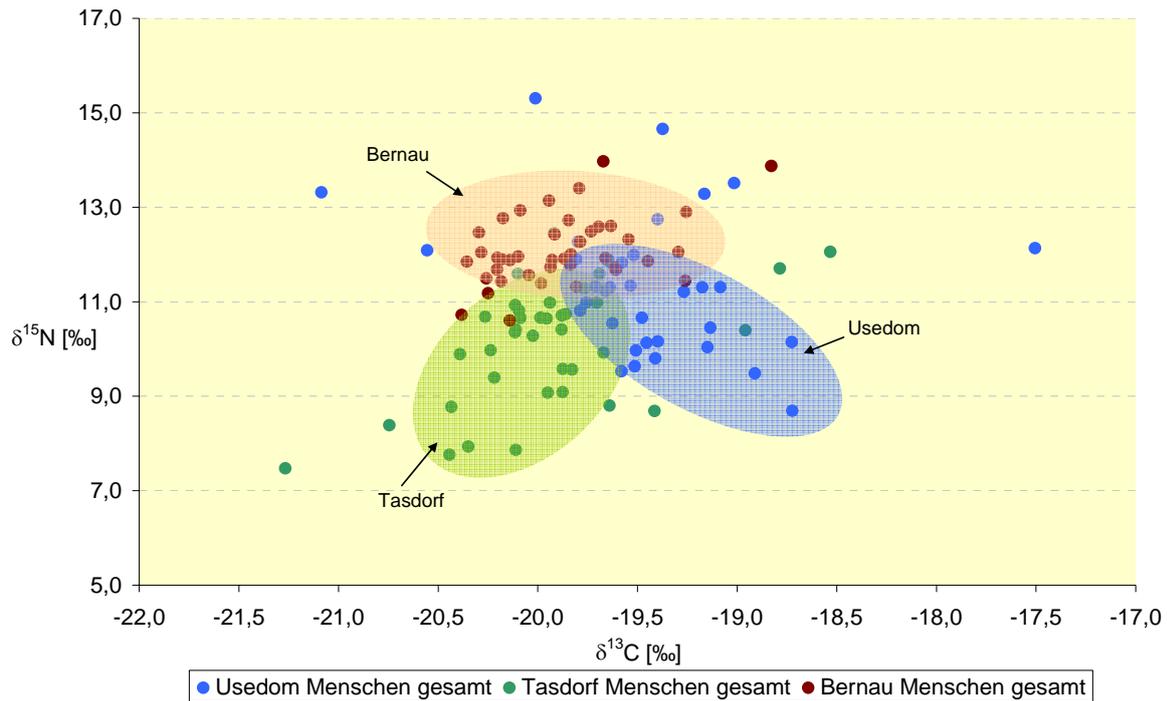
Auffällig sind hier die fünf Individuen und der Hund, die sich außerhalb der Geraden, also außerhalb der Trophieeffekte zwischen Konsument und der hier untersuchten Nahrung befinden. Möglicherweise deuten diese Individuen auf noch andere Proteinquelle hin. Handelt es sich hierbei vielleicht doch um den bisher nicht zu lokalisierenden Seefisch?

Alle Proben der drei Skelettserien bestätigen weitgehend die typischen Trophieeffekte zwischen Konsument und Nahrung. In der Tasdorfer Serie gibt es einen „Ausreißer“ in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten bei dem Individuum T<sub>MA</sub>28; in der Usedomer Serie fällt besonders der völlig andere Wert von Individuum U 148 auf. Möglicherweise handelte es sich bei beiden Männern um Auswertige, die völlig andere Nahrungsmittel konsumiert haben.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> vgl. hierzu 4.3 Stabile Isotope im Karbonat, Seite 79.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 21:** Grafische Darstellung der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller menschlicher Individuen der drei Skelettserien *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom* ( $N_{\text{gesamt Bernau}} = 41$ ,  $N_{\text{gesamt Tasdorf}} = 38$ ,  $N_{\text{gesamt Usedom}} = 35$ ). Es zeigen sich Unterschiede im Ernährungsverhalten zwischen den drei Kulturen, hier durch die farbigen Ellipsen verdeutlicht.

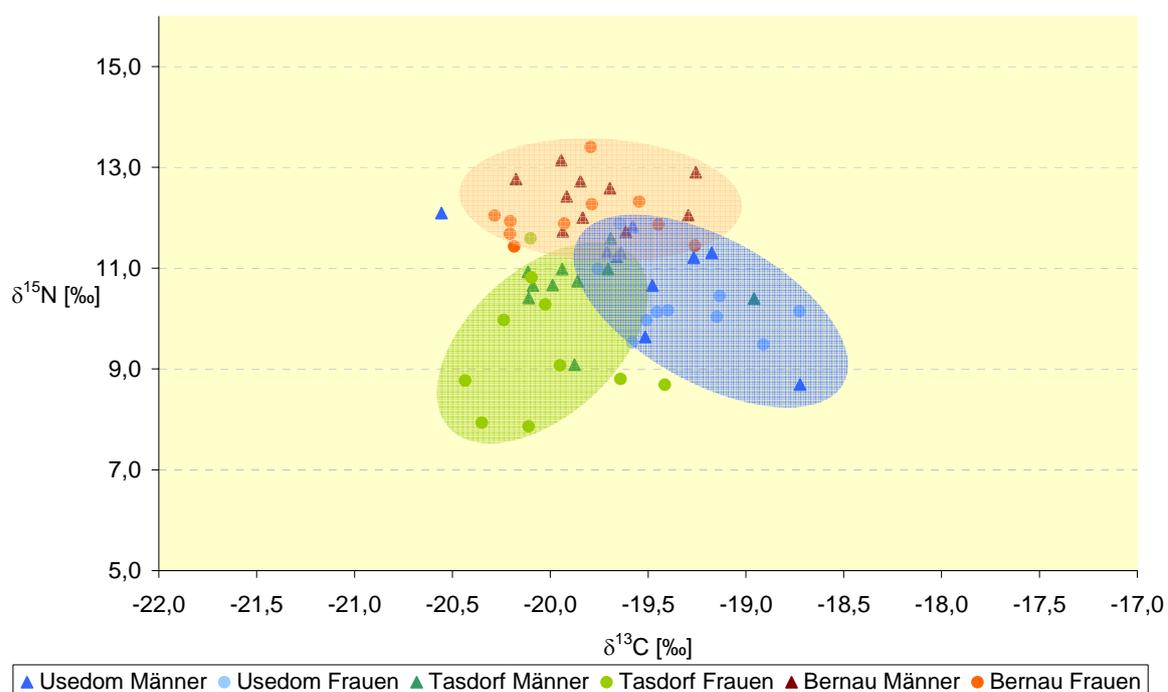
Abbildung 21 zeigt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller menschlichen Individuen der Skelettserien *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*. Es herrscht eine hohe Variabilität der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Individuen sowohl innerhalb der einzelnen Gruppen als auch der Gruppen untereinander. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ermöglichen in jeder der drei Gruppen den Ausschluss von  $\text{C}_4$ -Pflanzen als Nahrungsquelle. Auch marine Nahrung kommt nicht in Frage.  $\delta^{13}\text{C}$  ist abhängig vom Salzgehalt des Wassers (mündl. Mitteilung MÜLDNER) und daher sollte Ostseefisch in der Tat leichtere (mehr negative)  $\delta^{13}\text{C}$  Werte aufweisen als z.B. Fisch aus der Nordsee. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von *Tasdorf* liegen deutlich niedriger als die von *Usedom* und *Bernau*. Die höheren Werte von *Bernau* und *Usedom* deuten auf einen gesteigerten Konsum tierischen Proteins hin. Es bestehen höchst signifikante Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) aller drei Gruppen, sowie höchst signifikante Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) von *Tasdorf* und *Usedom* und *Bernau* und *Usedom*.

Der regelmäßige Konsum von Leguminosen ist bei allen drei Serien sehr wahrscheinlich, zumal z.B. die Erbse (*Pisum sativum*), Linse (*Lens culinaris*) oder Bohne (*Vicia faba*) im Mittelalter bereits wichtige Proteinlieferanten waren. Wahrscheinlich ist eine Mischkost, bei der die anderen Proteinquellen (z.B. Fleisch) die Isotopiewerte der Leguminosen überlagern würden.

## ERGEBNISSE

Die Stickstoffwerte lassen außerdem darauf schließen, dass keine Meeresfrüchte konsumiert wurden. Ebenso kann ausgeschlossen werden, dass von allen Individuen regelmäßig Süßwasserfisch gegessen wurde.

In dieser Übersichtsgrafik ist zu beachten, dass hier sämtliche Individuen der drei Serien grafisch dargestellt wurden, also auch die jungen Individuen. Kollagen benötigt einen Zeitraum von 10 bis 30 Jahren, um sich vollständig abzubauen. Die höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte einzelner Proben sind z.B. durch ein relativ junges Sterbealter der Individuen bedingt. Eine andere Erklärung für die großen Spannen sowohl im  $\delta^{15}\text{N}$ - als auch  $\delta^{13}\text{C}$ -Bereich wäre eine quantitativ unterschiedliche Aufnahme von tierischen Proteinen. Die „Ausreißer“ in dieser Grafik sind überwiegend Kinder. Besonders deutlich wird dieser Sachverhalt, wenn man die folgende Abbildung betrachtet, in der nur die Erwachsenen dargestellt sind. Hier gibt es nur vereinzelt Individuen, die abweichende Werte vom Rest der Gruppe zeigen.



**Abbildung 22: Männer und Frauen und ihre  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ( $N_{\text{gesamt } \delta\delta} = 10$ ,  $N_{\text{gesamt } \delta\delta} = 10$ ) aller drei Orte. Die niedrigste Statusgruppe *Tasdorf* liegt unter den beiden übrigen Gruppen. Die Männer zeigen in Tasdorf höhere  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als die Frauen in Tasdorf. Die Ellipsen stellen den Aufenthaltsraum der Isotopiewerte der erwachsenen Individuen dar.**

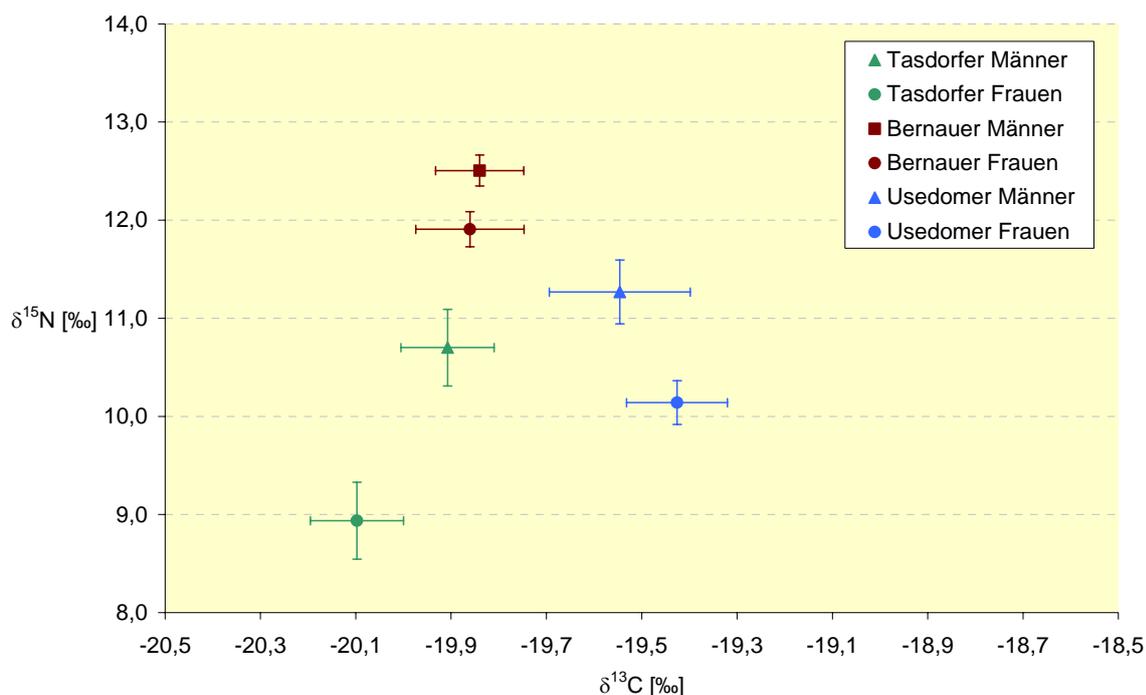
Abbildung 22 zeigt die hohe Variabilität innerhalb  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Männer und Frauen in Bernau und somit deutliche individuelle Differenzen im Konsum der pflanzlichen Nahrung. Allerdings bestehen keine signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten, die auf das Geschlecht zurückgeführt werden könnten. Hier wird der relativ große Anteil an tierischem Protein in der Nahrung der Bernauer Bevölkerung sichtbar.

## ERGEBNISSE

Die Bewohner Bernaus waren sicherlich „höher gestellt“ als z.B. die Einwohner eines Dorfes, wie z.B. Tasdorf.

Auch die Männer und Frauen in Tasdorf weisen deutliche individuelle Differenzen in ihrer Ernährung auf. Es zeigt sich sowohl die hohe Variabilität der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als auch der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Tasdorf. Auch hier bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Männer und Frauen. Allerdings ein Trend wird sichtbar: die Männer scheinen besser mit tierischem Protein versorgt worden zu sein als die Frauen. So hatten Berufsfelder wie z.B. der Schäfer privilegierten Zugang zu Milch und Fleisch. Auch eine Folge der geschlechtsbezogenen Hierarchie der damaligen Gesellschaft könnte der Grund dafür sein.

Auch in Usedom zeigt sich eine hohe Variabilität in den Werten. Auch die Usedomer Männer und Frauen zeigen keine signifikanten Unterschiede der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Auffällig ist hier ein Ausreißer zu beobachten: ein adulter Mann mit den Werten -20,6 ‰ und 12,1 ‰. Möglicherweise handelt es sich hierbei um einen Auswärtigen.



**Abbildung 23: Mittelwerte der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der drei erwachsenen Bevölkerungen. Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen weist vor allem in Tasdorf qualitative Unterschiede auf. Von den Mittelwertbestimmungen sind hier die Kinder ausgeschlossen, da sie möglicherweise noch gestillt wurden und daher erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen. Besonders auffallend ist hier der große Unterschied um fast 2 ‰ zwischen den Tasdorfer Männern und Frauen.**

In Abbildung 23 werden die Mittelwerte der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Männer und Frauen der drei verschiedenen Skelettserien zusammen mit der Standardabweichung des Mittelwertes grafisch dargestellt. Die Tasdorfer und Usedomer streuen mehr in ihren Mittelwerten als die Bernauer. Die Tasdorfer Frauen liegen mit 8,9 ‰ um fast

## ERGEBNISSE

zwei Promill niedriger als die Tasdorfer Männer mit 10,7 ‰. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sind zu vernachlässigen, da es sich lediglich um einen Unterschied von 0,2 ‰ handelt. Auch bei den Usedomern wird ein Unterschied von einem Promill sichtbar: Männer: -19,6 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 11,3 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ , Frauen: -19,4 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 10,2 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ . Die Mittelwerte der Bernauer Männer und Frauen liegen sehr viel enger beieinander: Männer: -19,8 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 12,5 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  und Frauen: -19,9 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 11,9 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ .

Auch in dieser Grafik wird deutlich, dass sich die Tasdorfer Bevölkerung mehr von pflanzlicher Nahrung ernährt hat. Jeder Schritt in der Nahrungskette bringt eine Erhöhung des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes, also praktisch eine Erhöhung in der Trophiestufe. Somit liegen die Tasdorfer Männer nahezu eine Trophiestufe über den Frauen.

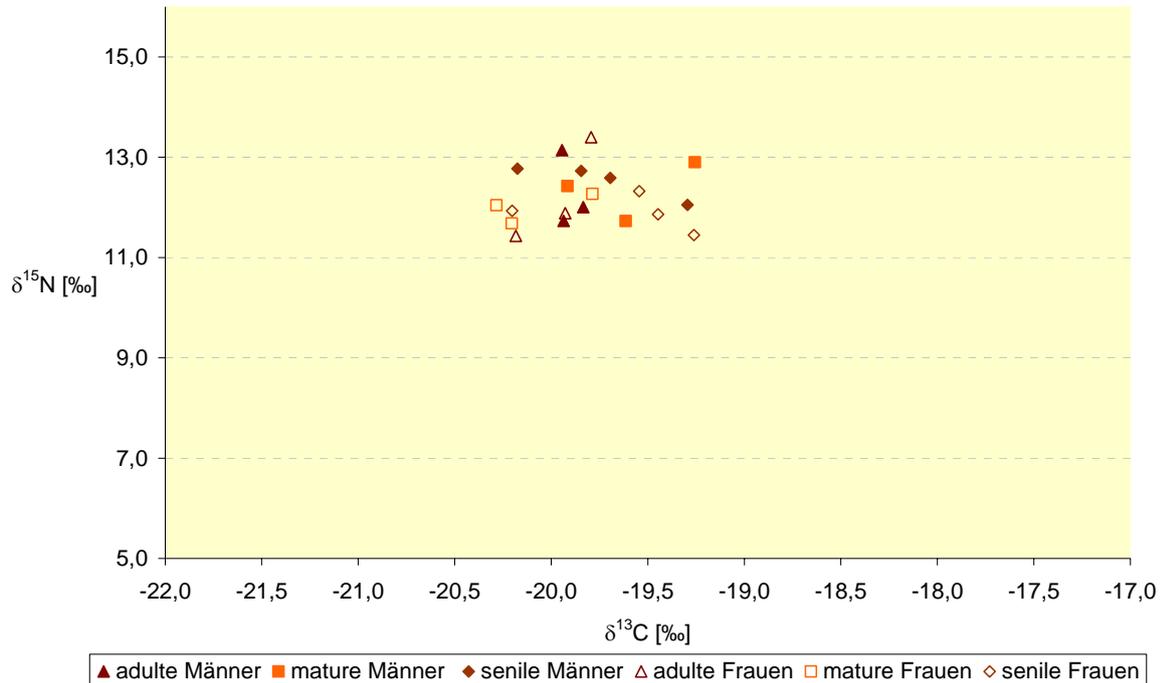
In dieser Grafik werden die höchst signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) aller drei Gruppen, sowie die höchst signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) von Tasdorf und Usedom und Bernau und Usedom noch einmal deutlich.

Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen aus Tasdorf weist qualitative Unterschiede auf. Diese Unterschiede sind nach den Ergebnissen einer Varianzanalyse statistisch hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Wendet man das Nahrungsnetz von LEE-THORP ET AL. (1989) an, so erhält man den exakten  $\delta^{13}\text{C}$  Wert der  $\text{C}_3$ -Pflanzen. Bei den Bernauer Männern wäre dies -24,8 ‰, bei den Bernauer Frauen -24,9 ‰. In Tasdorf sind die Unterschiede auch nicht viel größer: -24,9 ‰ bei den von den Männern konsumierten Pflanzen und -25,1 ‰. In Usedom sähe es folgendermaßen aus: -24,6 ‰ für die von den Männern verzehrten Pflanzen und -24,4 ‰ für die von den Frauen verzehrten Pflanzen.

## ERGEBNISSE

Die folgenden Grafiken haben wegen der besseren Vergleichbarkeit den gleichen Maßstab der Koordinaten wie Abbildung 22.



**Abbildung 24:**  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Bernauer* Männer und Frauen unterteilt in Altersklassen ( $N_{\text{adult}\delta\delta} = 3$ ,  $N_{\text{matur}\delta\delta} = 3$ ,  $N_{\text{senil}\delta\delta} = 4$ ,  $N_{\text{adult}\varphi\varphi} = 3$ ,  $N_{\text{matur}\varphi\varphi} = 3$ ,  $N_{\text{senil}\varphi\varphi} = 4$ ). Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich des Konsums von Protein die z.T. höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aus deuten auf einen gesteigerten Konsum tierischen Proteins.

Die Grafik in Abbildung 24 stellt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Männer und Frauen in Bernau dar. Die Werte der Männer bewegen sich zwischen -20,0 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 12,8 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 147, ein ca. 62 Jahre alter seniler Mann), -19,9 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 13,1 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 53, ein etwa 39 Jahre alter adulter Mann), -19,3 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 12,9 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 66, ein 45 Jahre alter maturer Mann) und -19,9 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 11,7 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 77, ein 37,75 Jahre alter adulter Mann).

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen der drei Altersklassen der Bernauer Männer. Die Werte der Frauen bewegen sich zwischen -20,3 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 12,0 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 142, eine ca. 56 Jahre alte mature Frau), -19,8 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 13,4 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 179/1, eine etwa 38jährige Frau) und -19,3 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  und 11,4 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  (B 122, eine ungefähr 64 Jahre alte senile Frau). Auch die Bernauer Frauen weisen keine signifikanten Unterschiede in ihren  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten auf.

Der Median der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Bernauer Frauen liegt bei 11,9 ‰. Dies entspräche einer Proteinquelle von 7 ‰ bis 8 ‰ und würde sowohl für das Schwein als auch für die Ziege als Nahrungsquelle sprechen. In die Aufteilung in die Altersklassen wird dies noch

## ERGEBNISSE

mal deutlich: Die senilen und die adulten Frauen ergaben im Median Werte von 11,9 ‰ für  $\delta^{15}\text{N}$ , die maturaen Frauen wiesen 12,0 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  auf.

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte entsprechen durchaus einer Bevölkerung, die Tiere domestiziert hat. Bei den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten kann man mit einer Erhöhung von etwa 3 ‰ bis 4 ‰ pro Trophiestufe rechnen, sie kann aber in Extremfällen auch 1 ‰ bis 6 ‰ betragen. Der Median der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Männer in Bernau liegt bei 12,5 ‰. Folglich müssen sie Proteine einer Nahrungsquelle mit 8 ‰ bis 9 ‰ zu sich genommen haben. Leider reichen die Tierknochen für eine genauere Typisierung nicht aus. Lediglich der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Hundes (8,2 ‰) würde in diese Kategorie fallen, jedoch ist es nicht wahrscheinlich, dass Hunde auf dem Nahrungsplan standen. Betrachtet man die adulten Männer, so findet sich ein Median-Wert von 11,9 ‰, was einer Nahrungsquelle von 7 ‰-8 ‰ entspräche. In diesem Fall entspräche sowohl das Ferkel als auch die Ziege einer geeigneten Nahrungsquelle, bzw. die Ziegenmilch. Die maturaen Männer wiesen im Median 12,4 ‰, die senilen Männer sogar 12,7 ‰ auf. Dies würde wiederum eine Proteinquelle von 8 ‰ bis 9 ‰ implizieren.

Abbildung 25 zeigt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Erwachsenen und Kinder, jeweils in die Geschlechter unterteilt, aus Bernau. Es bestehen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den männlichen Infans I und den senilen Männern in Bernau.

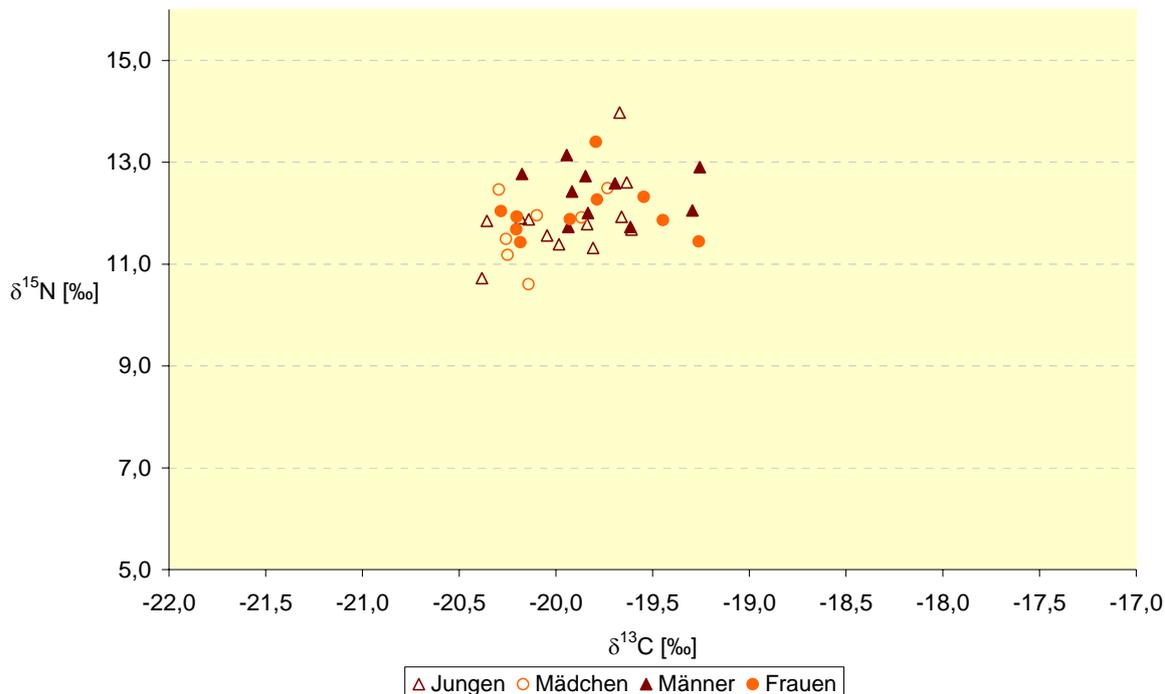
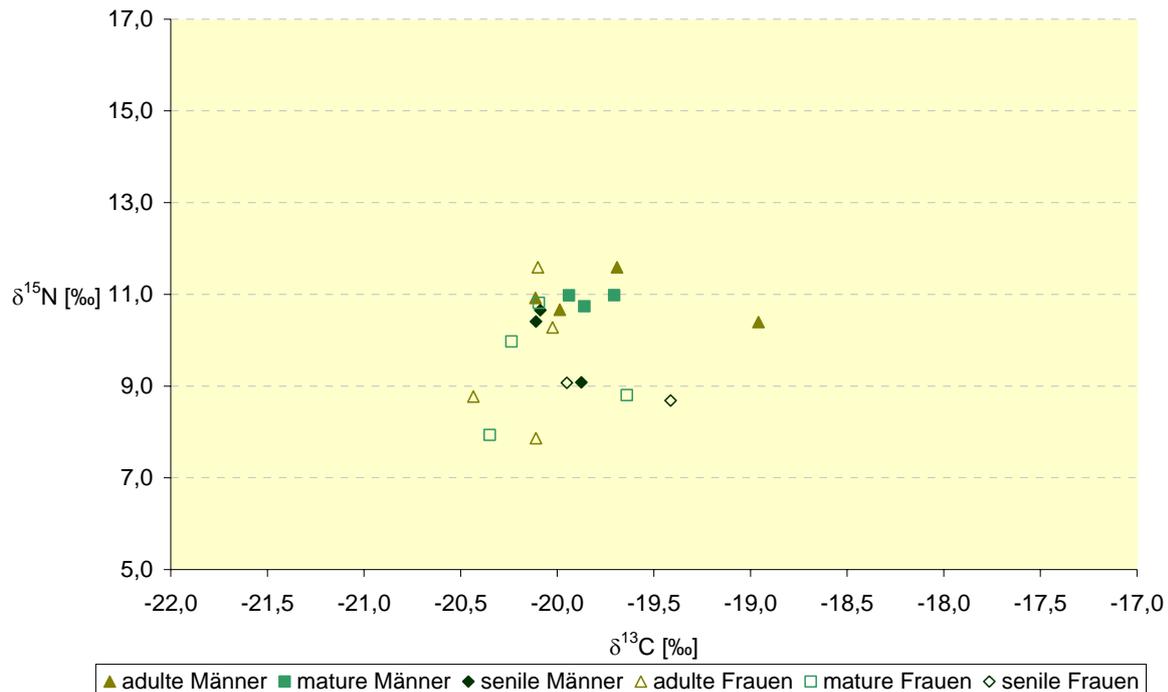


Abbildung 25: Erwachsene und Kinder aus *Bernau* ( $N_{\text{gesamt } \delta\delta} = 10$ ,  $N_{\text{gesamt } \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Jungen}} = 12$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 7$ ). Das Ernährungsverhalten zwischen Männern, Frauen und Kindern weist kaum qualitative Unterschiede auf.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 26:**  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Tasdorfer* Männer und Frauen unterteilt in Altersklassen ( $N_{\text{adult}\delta\delta} = 4$ ,  $N_{\text{matur}\delta\delta} = 3$ ,  $N_{\text{senil}\delta\delta} = 3$ ,  $N_{\text{adult}\text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{matur}\text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{senil}\text{♀♀}} = 2$ ). Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen weist im Proteingehalt qualitative Unterschiede auf. Die Frauen scheinen sich schlechter ernährt zu haben. Dieser Unterschied ist hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Die Werte der Männer und Frauen aus Tasdorf werden in der Abbildung 26 grafisch dargestellt. Die Werte liegen zwischen  $-20,1 \text{ ‰ } \delta^{13}\text{C}$  und  $10,9 \text{ ‰ } \delta^{15}\text{N}$  ( $T_{\text{MA}112}$ , ein etwa 25-30 Jahre alter adulter Mann),  $-19,9 \text{ ‰ } \delta^{13}\text{C}$  und  $9,1 \text{ ‰ } \delta^{15}\text{N}$  ( $T_{\text{MA}231}$ , ein zwischen 50 und 70 Jahre alter seniler Mann),  $-19,7 \text{ ‰ } \delta^{13}\text{C}$  und  $11,6 \text{ ‰ } \delta^{15}\text{N}$  ( $T_{\text{MA}108}$ , ein 22-25 jähriger adulter Mann) und  $-18,6 \text{ ‰ } \delta^{13}\text{C}$  und  $10,4 \text{ ‰ } \delta^{15}\text{N}$  ( $T_{\text{MA}28}$ , ein 21-24 jähriger adulter Mann). Auch in Tasdorf bestehen keine signifikanten Unterschiede der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte innerhalb der Altersklassen der Männer.

Der Median der Tasdorfer Männer für die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte liegt bei  $10,7 \text{ ‰}$ . Der Wert der Adulten liegt bei  $10,8 \text{ ‰}$ , die Maturen liegen bei nur  $9,4 \text{ ‰}$  und die Senilen liegen bei  $10,4 \text{ ‰}$ , was einer Proteinquelle mit  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von  $5 \text{ ‰}$  bis  $6 \text{ ‰}$  entspräche. Damit kann man den Konsum tierischer Nahrung einschränken. Vielleicht diente hier nur Kuhmilch als tierische Proteinquelle ( $6,5 \text{ ‰}$  für das Rind aus Tasdorf). Eine weitere mögliche Nahrungsquelle wäre aber durchaus auch das Schwein mit  $7,7 \text{ ‰}$ .

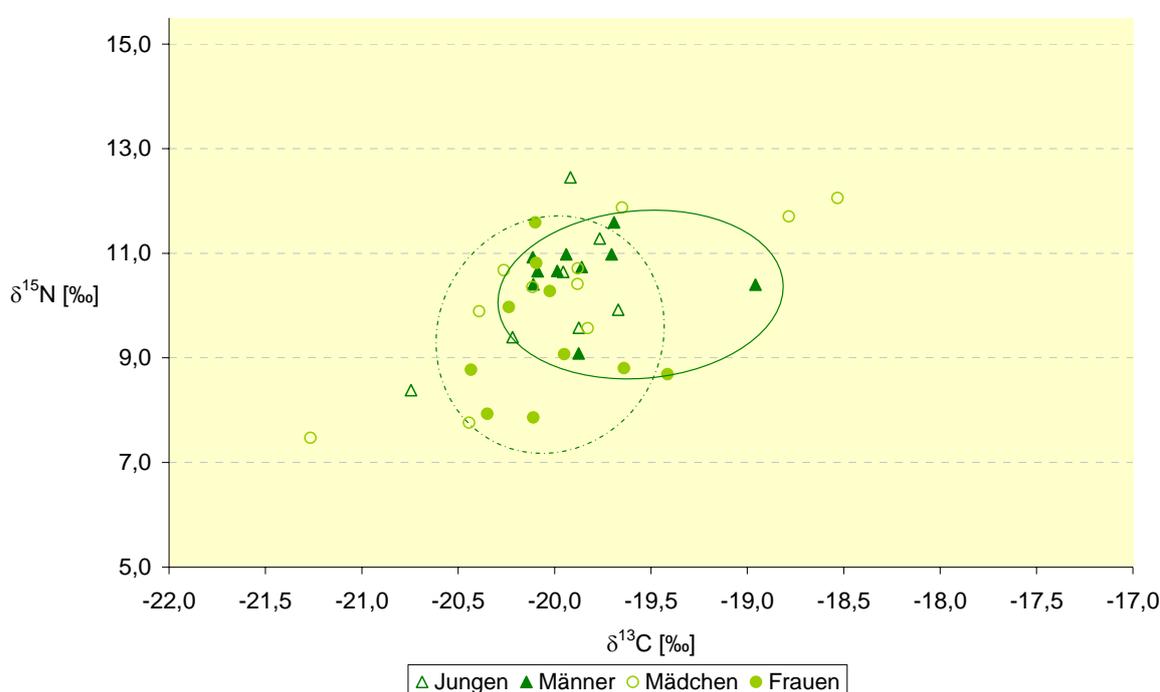
Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte spiegeln einen ausschließlichen Konsum an  $\text{C}_3$ -Pflanzen wider. Der Verzehr von tierischem Protein scheint nicht besonders häufig gewesen zu sein. Die Tasdorfer Frauen zeigen ebenso wie die Tasdorfer Männer keine signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten.

In jeder Altersgruppe gibt es hohe und niedrige Stickstoff- und Kohlenstoffwerte, was darauf hindeutet, dass es in Bezug auf das Alter keine großen Unterschiede in der

## ERGEBNISSE

Ernährungsweise gab. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass es sich hier um eine relativ kleine Stichprobengröße (10 Individuen) handelt.

Der Median für die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller erwachsenen Frauen liegt bei nur 8,9 ‰. Dies entspräche einer tierischen Nahrungsquelle mit  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von 4 ‰ bis 5 ‰, was bei den analysierten Tierknochen aus Tasdorf gegen eine Ernährung mit tierischem Protein spräche, zumindest was die senilen Frauen anbelangt (8,9 ‰ im Median). Die adulten (9,5 ‰) und maturaen Frauen (9,4 ‰) deuten zumindest auf eine möglicher Ernährung vielleicht mit Kuhmilch hin (6,5 ‰). Ansonsten kann man den Konsum tierischer Produkte fast ausschließen. Demzufolge waren die Bewohner Tasdorfs eher herbivor als omnivor.



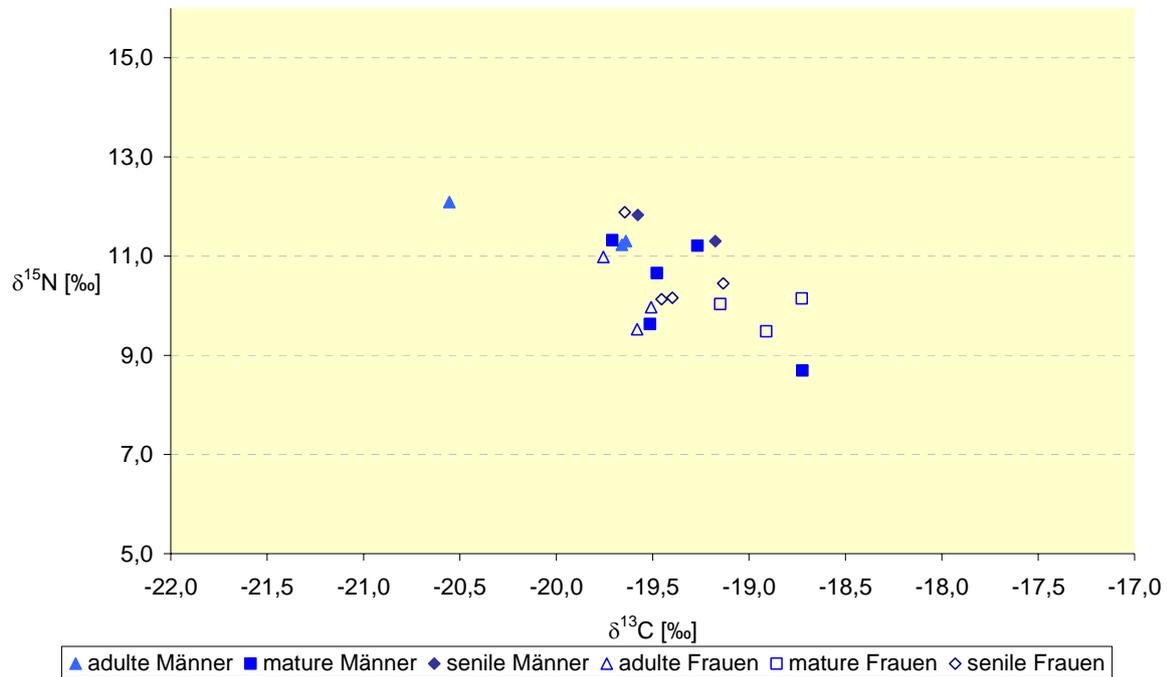
**Abbildung 27:** Erwachsene und Kinder aus *Tasdorf* ( $N_{\text{gesamt } \text{♂♂}} = 10$ ,  $N_{\text{gesamt } \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Jungen}} = 7$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 11$ ). Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen weist kaum qualitative Unterschiede auf. Die Ellipsen stellen den Aufenthaltsraum der Männer und Frauen im Nahrungsnetz dar.

In Abbildung 27 werden die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Erwachsenen und Kinder aus Tasdorf dargestellt. Es bestehen keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Tasdorfer Kindern und den Tasdorfer Erwachsenen in den  $\delta^{15}\text{N}$ - und in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten.

Da  $\text{C}_3$ - und  $\text{C}_4$ -Pflanzen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von etwa 6,5 ‰ besitzen, müssen ihre Konsumenten Werte von 9,5 ‰ bis 10,5 ‰ aufweisen. Zumindest einige adulte Individuen liegen in diesem Bereich. Ein Großteil der Werte liegt aber knapp darüber, was wiederum eher für tierisches Protein spräche. Um dies genauer zu bestimmen, liegen jedoch nicht genug Tierdaten vor. Leguminosen besitzen z.B.  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von 0 ‰ bis 4 ‰. Bilden sie die Basis der Ernährungsweise, ergeben sich im Kollagen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von etwa 4 ‰

## ERGEBNISSE

bis maximal 8 ‰. Aber auch dies scheint in Tasdorf nicht ausschließlich der Fall gewesen zu sein.



**Abbildung 28:**  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Usedomer* Männer und Frauen unterteilt in Altersklassen ( $N_{\text{adult}\delta\delta} = 3$ ,  $N_{\text{matur}\delta\delta} = 5$ ,  $N_{\text{senil}\delta\delta} = 2$ ,  $N_{\text{adult}\varphi\varphi} = 4$ ,  $N_{\text{matur}\varphi\varphi} = 4$ ,  $N_{\text{senil}\varphi\varphi} = 2$ ). Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen weist keine wesentlichen qualitativen Unterschiede auf.

Die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Usedomer* Männer und der *Usedomer* Frauen werden in Abbildung 28 dargestellt. Es zeigt sich eine hohe Variabilität der Werte, sowohl was die pflanzlichen als auch was die tierischen Nahrungsquellen betrifft. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ermöglichen einen Ausschluss von  $\text{C}_4$ -Pflanzen und interessanterweise auch von mariner Kost<sup>14</sup>. Auch in *Usedom* bestehen keine signifikanten Unterschiede der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte innerhalb der verschiedenen Altersklassen. Der Median der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Usedomer* Männer liegt bei 11,3 ‰. Die Nahrungsquelle müsste demnach  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von 7 ‰ bis 8 ‰ aufweisen, was für das Schwein spräche (7,1 ‰), zumindest was die adulten Männer anbelangt (11,3 ‰ im Median). Die maturen Männer (10,1 ‰) deuten eher auf eine Nahrungsquelle mit 6 ‰ bis 7 ‰ hin, die senilen (11,6 ‰) eher auf 7 ‰ bis 8 ‰, was für die Schweine als Proteinquelle spräche.

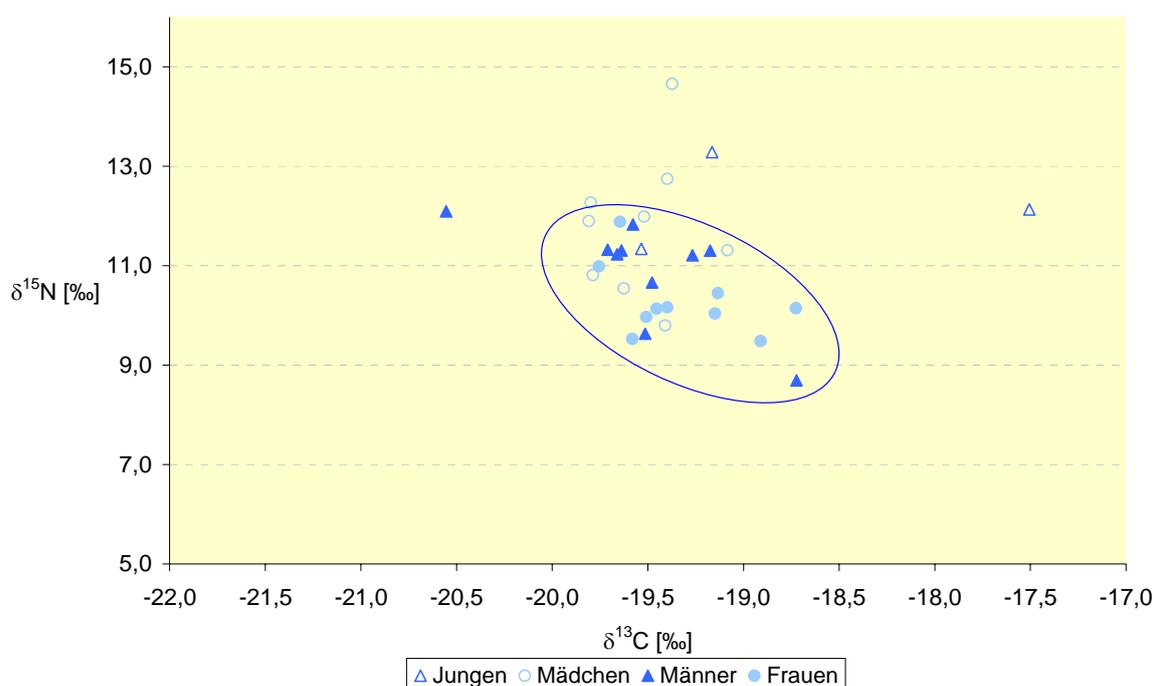
Die Frauen in *Usedom* zeigen ebenfalls eine große Variabilität in ihrer Nahrung, was sich in der relativ weiten Streuung der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte darstellt. Ebenso weisen in *Usedom* die Frauen keine signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte innerhalb der verschiedenen Alterklassen auf.

<sup>14</sup> vgl. hierzu den Diskussionspunkt 5.10

Ernährungs- und Lebensbedingungen im mittelalterlichen *Usedom*, Seite. 213.

## ERGEBNISSE

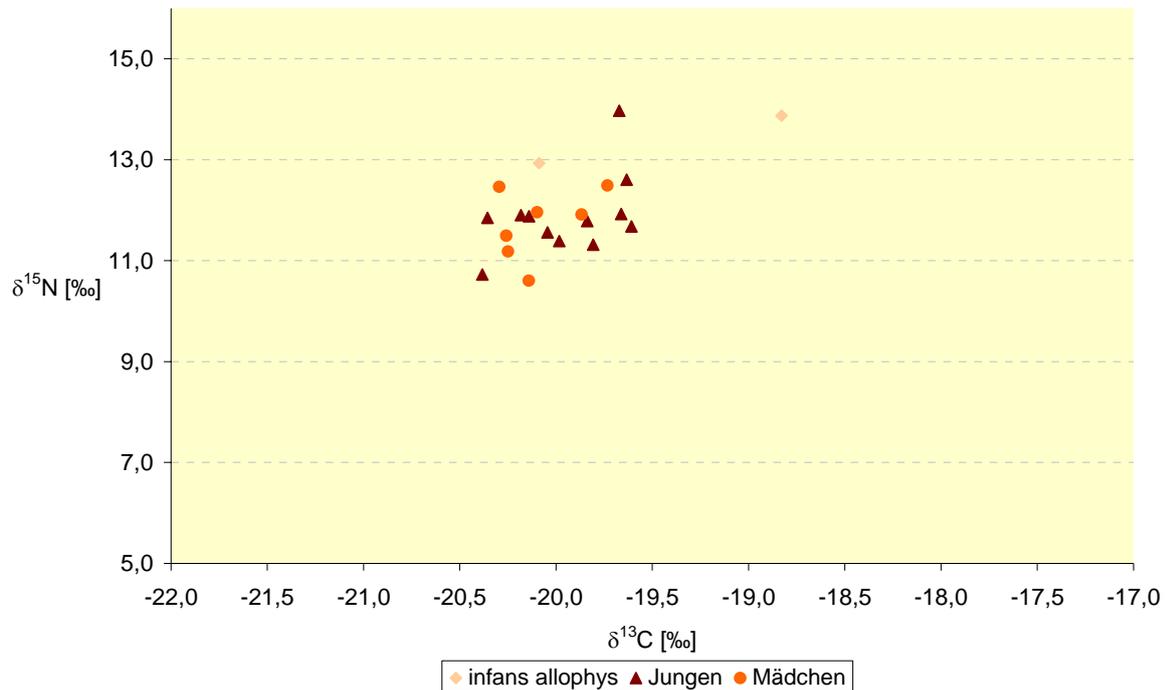
Die Mediane der Usedomer Frauen sehen etwas anders aus: Insgesamt deutet der Median (10,1 ‰) der Frauen auf eine Proteinquelle von 6 ‰ bis 7 ‰. Die adulten Frauen (10,0 ‰), die maturen Frauen (10,0 ‰) und die senilen Frauen (10,3 ‰) weisen alle auf die gleichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte hin, nämlich auf 6 ‰ bis 7 ‰, was auch der Proteinquelle der maturen Männer entspräche. Möglicherweise wurde ab und an ein Schwein geschlachtet und verzehrt.



**Abbildung 29:** Erwachsene und Kinder aus *Usedom* ( $N_{\text{gesamt } \text{♂♂}} = 10$ ,  $N_{\text{gesamt } \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Jungen}} = 3$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 9$ ). Das Ernährungsverhalten zwischen Männern und Frauen weist qualitative Unterschiede auf. Da die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Konsumenten in der Regel 3 – 4 ‰ schwerer sind als die seiner Nahrung, erlaubt dies zu rekonstruieren, ob ein Kind noch gestillt wurde. Die Ellipse stellt den Aufenthaltsraum der Männer und Frauen im Nahrungsnetz dar.

Abbildung 29 stellt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der verschiedenen Geschlechter aus Usedom dar. Drei „Ausreißer“ sind hier wieder besonders auffällig: U 148, ein adulter Mann (-20,6 ‰ und 12,1 ‰), U 176, ein Mädchen (-19,4 ‰ und 14,7 ‰) und U 181, ein Junge (-17,5 ‰ und 12,1 ‰). Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Usedomer Jungen und den Usedomer maturen Männern in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,05$ ) und signifikante Unterschiede zwischen den Mädchen und den maturen Frauen sowohl in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,05$ ) als auch in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten.

## ERGEBNISSE

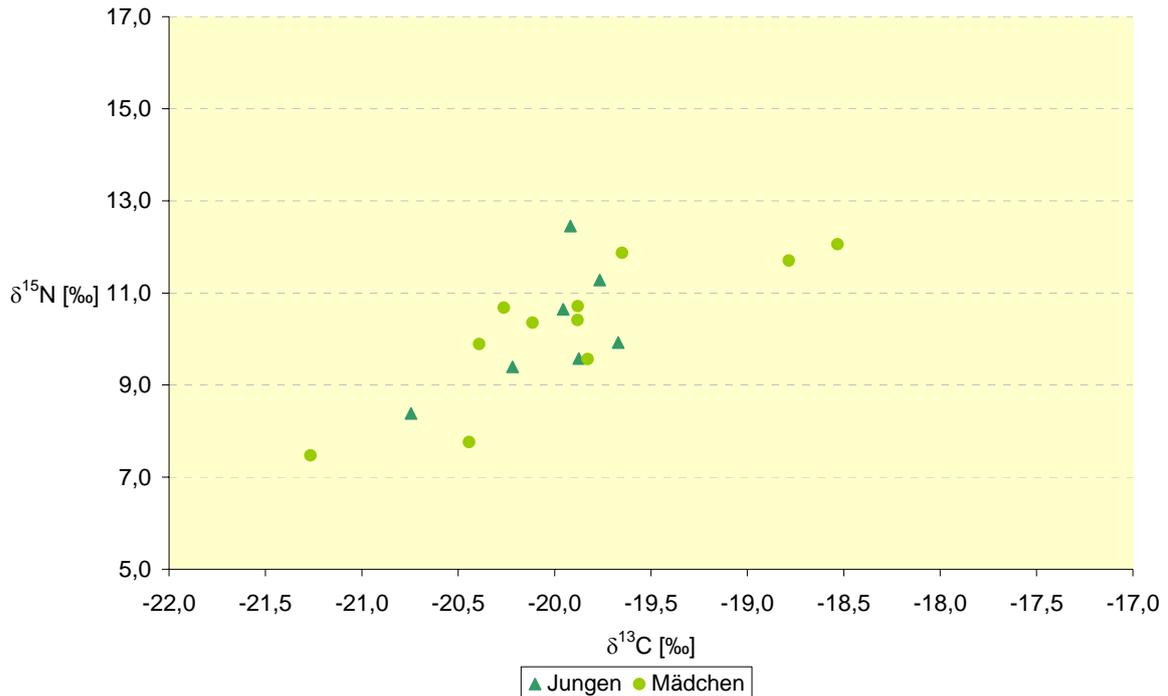


**Abbildung 30:**  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Bernauer* Mädchen und Jungen ( $N_{\text{Jungen}} = 12$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 7$ ,  $N_{\text{Infans I allophys}} = 2$ ). Die geringe Streuung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte weist auf wenig individuelle Unterschiede im Konsum von Proteinen hin. Zu bedenken ist hierbei auch, dass die höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auch auf Kinder hinweisen könnten, die noch gestillt wurden.

Abbildung 30 stellt die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kinder aus Bernau dar. Auffallend ist der Ausreißer-Wert eines Kindes unbestimmten Geschlechts mit -18,8 ‰ und 13,9 ‰. Generell weisen die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sowohl für die Mädchen als auch für die Jungen auf einen hohen Anteil an fleischlicher Nahrung, bzw. an (Mutter-) Milch hin.

Allgemein betrachtet bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Infans I und den Infans II, sowie zwischen den verschiedenen Geschlechtern in Bernau.

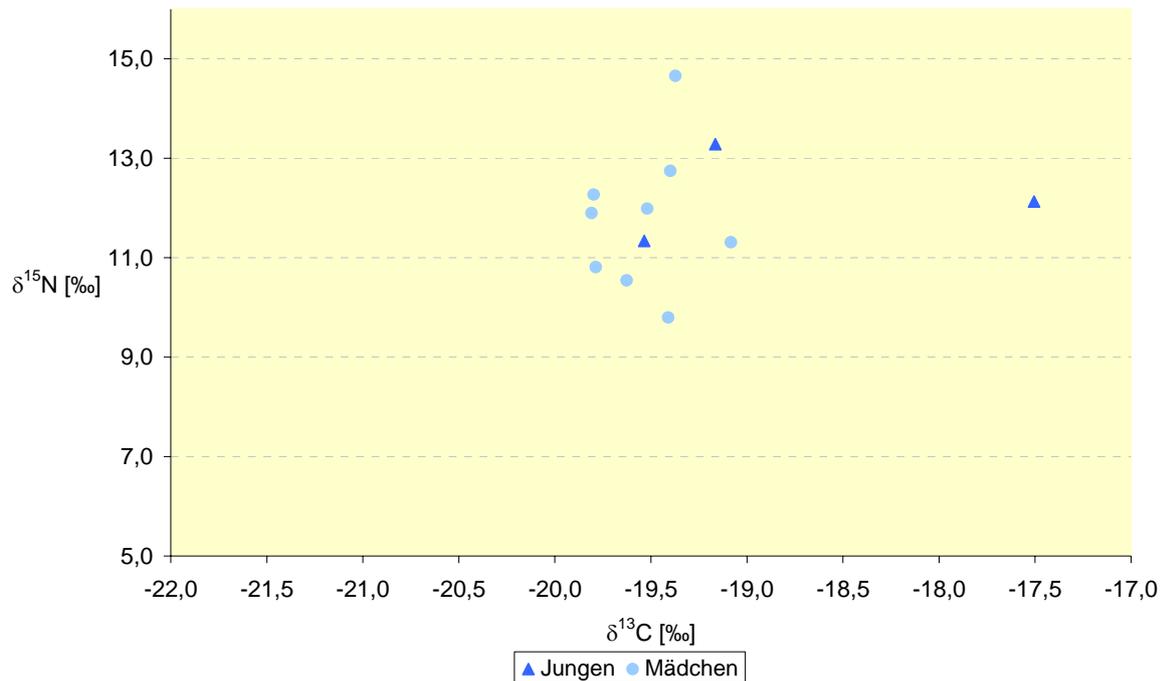
## ERGEBNISSE



**Abbildung 31:**  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Tasdorfer* Mädchen und Jungen ( $N_{\text{Jungen}} = 7$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 11$ ). Die große Streuung der Werte weist auf individuelle Unterschiede im Konsum von tierischen Proteinen und Vegetabilien hin. Zu bedenken ist hierbei auch, dass die höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auch auf Kinder hinweisen könnten, die noch gestillt wurden.

Die *Tasdorfer* Jungen und Mädchen (Abbildung 31) zeigen eine größere Variabilität in ihrer Nahrung als die *Bernauer* Kinder in der Grafik davor. Auch hier zeichnet sich bereits die Ernährung mit (Mutter-) Milch ab, was später in der Abbildung 35 noch deutlicher wird. In dieser Grafik werden drei Mädchen als „Ausreißer“ sichtbar: Das Individuum  $T_{\text{MA}100}$  mit  $-21,3$  ‰ und  $7,5$  ‰, das Individuum  $T_{\text{MA}125}$  mit  $-18,8$  ‰ und  $11,7$  ‰ sowie das Individuum  $T_{\text{MA}194}$  mit  $-18,5$  ‰ und  $12,1$  ‰. Zwischen den Infans I und den Infans II in *Tasdorf* bestehen keinerlei signifikante Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. Auch die Geschlechter weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

## ERGEBNISSE

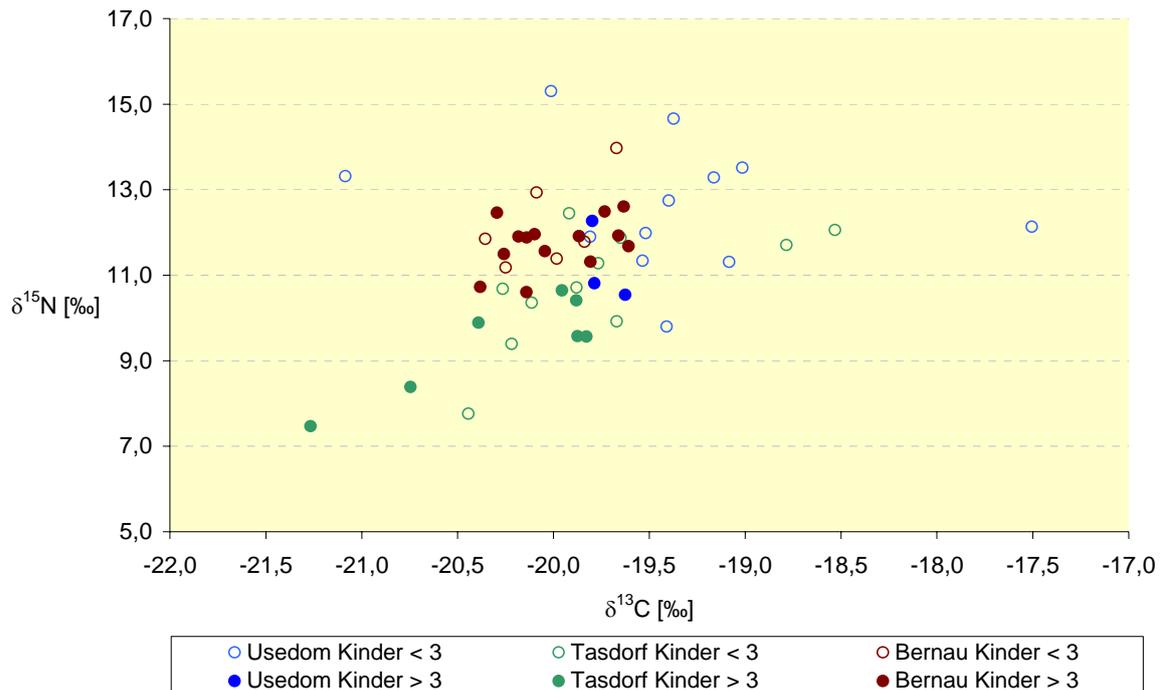


**Abbildung 32:  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der *Usedomer* Mädchen und Jungen ( $N_{\text{Jungen}} = 3$ ,  $N_{\text{Mädchen}} = 9$ ). Die geringe Streuung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte weist auf wenigindividuelle Unterschiede im Konsum von Proteinen hin. Zu bedenken ist hierbei auch, dass die höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auch auf Kinder hinweisen könnten, die noch gestillt wurden.**

In Abbildung 32 wird deutlich, dass die Kinder in Usedom einen hohen Anteil an fleischlicher Nahrung, bzw. an (Mutter-) Milch hatten. Ein ca. zweijähriger Junge (U 181) zeigt jedoch stark abweichende Werte: -17,5 ‰ und 12,1 ‰. Die höchsten  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte weist ein etwa anderthalbjähriges Mädchen mit 14,7 ‰ auf.

Auch in Usedom bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jungen und den Mädchen.

## ERGEBNISSE



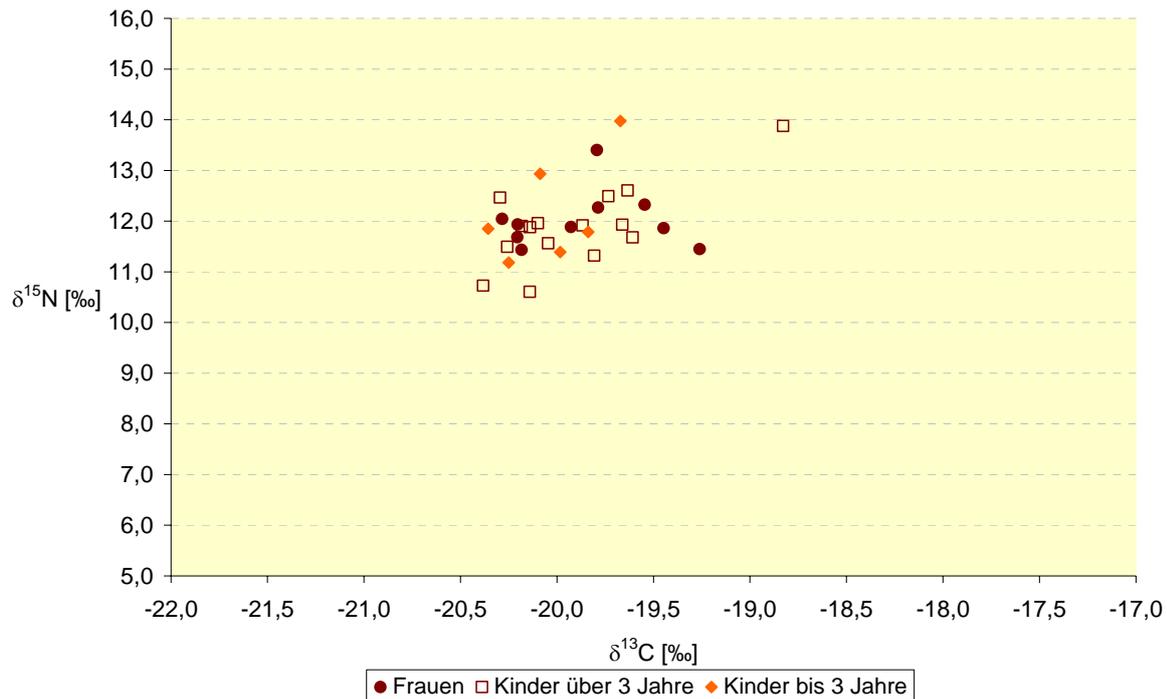
**Abbildung 33: Grafische Darstellung der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller drei Kindergruppen unter drei Jahren ( $N_{\text{gesamt Bernau}} = 6$ ,  $N_{\text{gesamt Tasdorf}} = 11$ ,  $N_{\text{gesamt Usedom}} = 12$ ). Gezeigt werden die Unterschiede im Ernährungsverhalten der Kinder zwischen den drei Kulturen. Zu bedenken ist hierbei auch, dass die teilweise höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auch auf Kinder hinweisen könnten, die noch gestillt werden.**

In Abbildung 33 sind noch einmal alle drei Kindergruppen unter drei Jahren zusammen dargestellt. Die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kinder zeigen eine starke Variabilität. Inwieweit die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte einen Einblick in das Abstillalter der Kinder geben können, wird in den folgenden Grafiken ersichtlich.

Es bestehen höchst signifikante Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von Bernau und Tasdorf ( $p \leq 0,001$ ), hoch signifikante Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Kinder aus Bernau und Usedom ( $p \leq 0,01$ ), sowie höchst signifikante Unterschiede zwischen den Kindern aus Tasdorf und aus Usedom in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und hoch signifikante Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten.

Die drei folgenden Grafiken verdeutlichen das unterschiedliche Nahrungsverhalten der Kinder im Gegensatz zu den Erwachsenen. Unterteilt werden die Kinder hierzu in Gruppen unter drei und über drei Jahren, da das Abstillalter in der Zeit bis drei Jahre zu erwarten ist und somit die Kinder infolge der proteinreichen Muttermilch höhere  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als die Frauen aufweisen müssten. Für eine bessere Vergleichbarkeit der drei Gruppen miteinander wurde die gleiche Skalierung der Achsen für die Grafiken gewählt.

## ERGEBNISSE

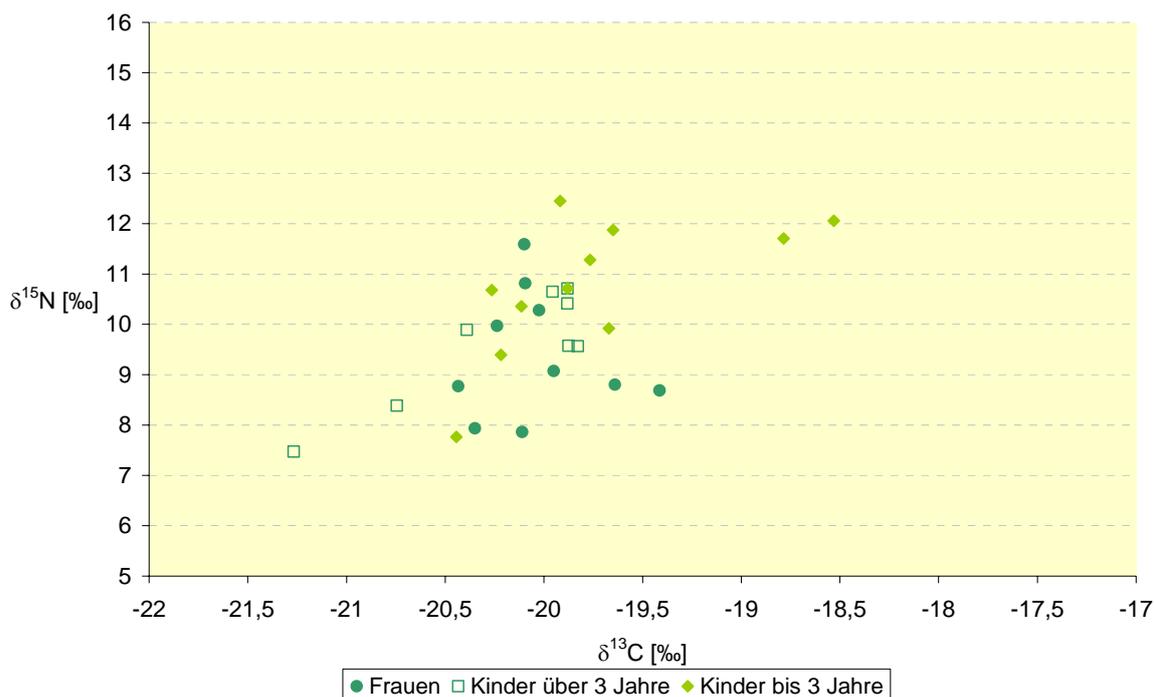


**Abbildung 34: Bernauer Frauen und Kinder** ( $N_{\text{♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Kinder} \leq 3 \text{ Jahre}} = 6$ ,  $N_{\text{Kinder} \geq 3 \text{ Jahre}} = 15$ ). Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung der Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Da die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Konsumenten in der Regel 3–4 ‰ schwerer sind als die seiner Nahrung, erlaubt dies zu rekonstruieren, ob ein Kind noch gestillt wurde.

In Abbildung 34 sind die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Frauen und Kinder unterteilt in Kinder bis drei Jahre und Kinder ab drei Jahre dargestellt. Diese Grafik dient der Verdeutlichung des Abstillalters. Junge Säugetiere weisen, infolge ihrer „karnivoren“ Ernährung mit Muttermilch, erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf, solange sich das Kollagen noch nicht erneuert hat. Die Milchaufnahme führt zu einer Anreicherung mit  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen. Diese kann, relativ zu der Ernährung der Mutter, eine Erhöhung von 1 ‰ bis 3 ‰ betragen, was einer Trophiestufe entspricht. Unterteilt wurden die Kinder in Kinder unter und über drei Jahren, weil im Alter um zwei Jahre und eventuell etwas älter, das Abstillen zu erwarten ist. Interessanterweise liegen nur zwei der Kinder unter drei Jahren eine, bzw. zwei Trophiestufen über den Frauen. Zwei Jungen: ein zwei- bis dreijähriger Junge (B 29/2) und ein Junge zwischen Null und einem Jahr (B 148/3). Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Frauen und den Kindern über und unter drei Jahre. Und auch zwischen den zwei Kindergruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> vgl. hierzu die Diskussionstexte 5.7 Kindheit im Mittelalter, Seite 162 und 5.8.2 Das Abstillen der Kinder in Bernau, Seite. 181.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 35: Tasdorfer Frauen und Kinder ( $N_{\text{Frauen}} = 10$ ,  $N_{\text{Kinder} \leq 3 \text{ Jahre}} = 11$ ,  $N_{\text{Kinder} \geq 3 \text{ Jahre}} = 7$ ).** Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung der Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Da die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Konsumenten in der Regel 3–4 ‰ schwerer sind als die seiner Nahrung, erlaubt dies zu rekonstruieren, ob ein Kind noch gestillt wurde.

In Tasdorf dagegen, dargestellt in Abbildung 35, wird der Trophiestufenunterschied zwischen den Frauen und den Kindern bis drei Jahre klar ersichtlich. Infolge ihrer „karnivoren“ Ernährung mit Muttermilch, weisen die Kinder erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf. Die Milchaufnahme führte zu einer Anreicherung mit  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen. Die Tasdorfer Kinder bis drei Jahre zeigen erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte gegenüber den Frauen, was auf eine Ernährung mit (Mutter-) Milch hindeutet. Da sich die Tasdorfer Frauen sonst überwiegend pflanzlich ernährten, ist dies hier besonders gut zu beobachten. Zwei der Kinder unter drei, sowie zwei der Kinder über drei Jahren liegen etwas außerhalb der Gruppe mit ihren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten. Die älteren Kinder haben niedrigere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte; ein sechs bis sieben Jahre altes Mädchen ( $T_{\text{MA}100}$ ) mit -21,3 ‰ und 7,5 ‰ und ein sieben bis acht Jahre alter Junge ( $T_{\text{MA}30}$ ) mit -20,7 ‰ und 8,4 ‰. Die jüngeren Kinder weisen höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf: -18,8 ‰ und 11,7 ‰ für ein ein- bis anderthalbjähriges Mädchen ( $T_{\text{MA}125}$ ) und -18,5 ‰ und 12,1 ‰ für ein Mädchen, das etwa ein halbes bis ein Jahr alt wurde ( $T_{\text{MA}194}$ ).<sup>16</sup>

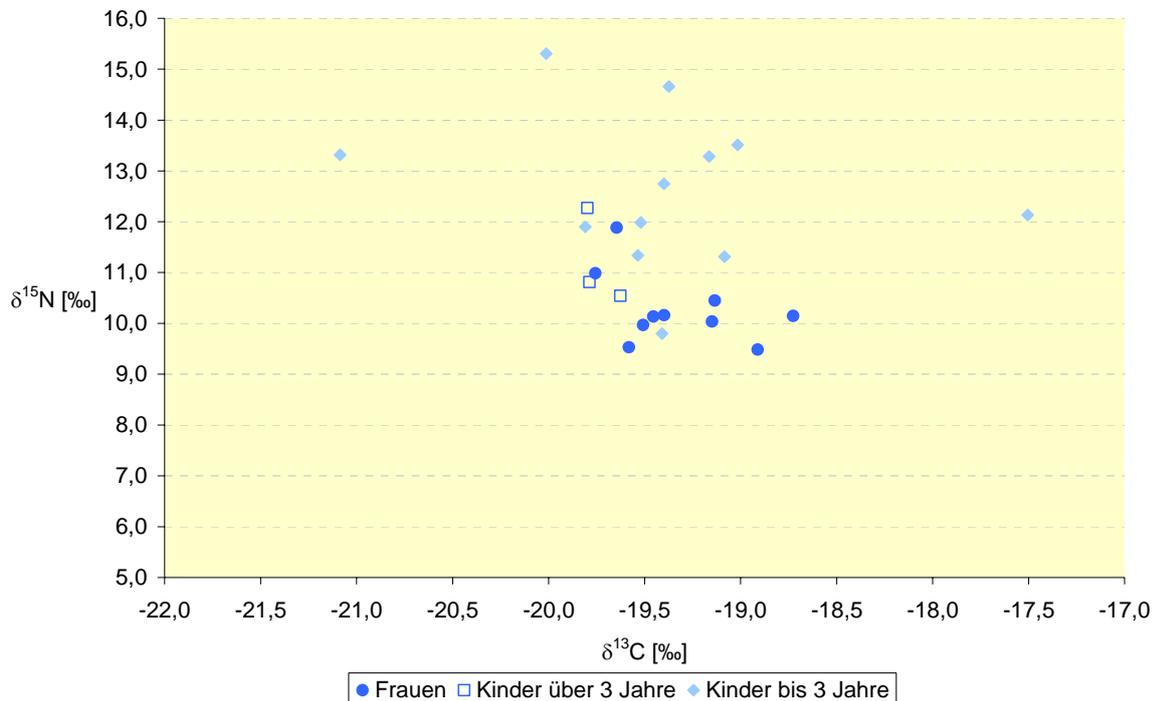
Kinder, die gestillt werden, ernähren sich in der Zeit, in der noch nicht zugefüttert wird, ausschließlich von tierischem Protein, nämlich in Form der Muttermilch, und weisen

<sup>16</sup> vgl. hierzu die Diskussionstexte 5.7 Kindheit im Mittelalter, Seite 162 und 5.9.2 Das Abstillen der Kinder in Tasdorf, Seite 204.

## ERGEBNISSE

damit die „karnivorste“ Ernährungsweise und auch die höchsten  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf. Hier deuten jedoch einige der Daten darauf hin, dass bei mehreren Individuen möglicherweise eine falsche Ernährungsweise vorlag, bzw. sie vielleicht sogar gar nicht gestillt wurden. So weist T<sub>MA67</sub>, ein etwa zwei bis drei Jahre altes Mädchen zu niedrige Stickstoffwerte auf (7,8 ‰), um noch gestillt worden zu sein. Möglicherweise wurde dieses Kind sehr früh entwöhnt.

Zwischen den beiden Kindergruppen und den Frauen und den Kindern über drei Jahre bestehen keinerlei signifikante Unterschiede. Allerdings besteht ein signifikanter Unterschied in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Kinder unter drei Jahren und den Frauen ( $p \leq 0,05$ ).



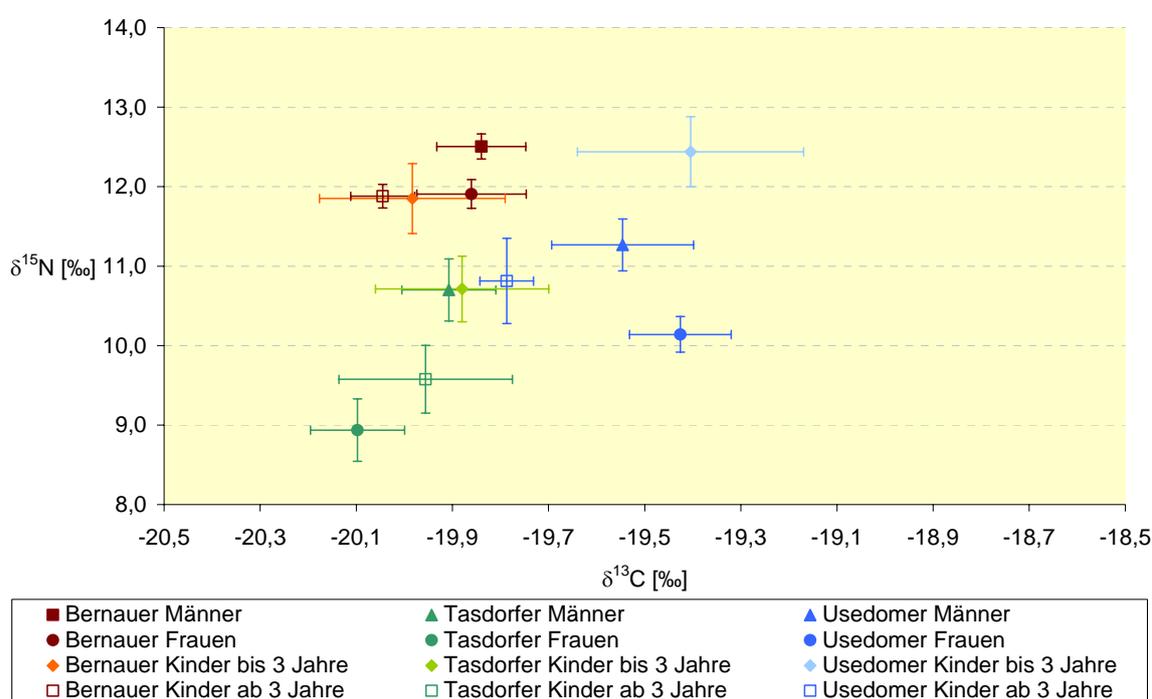
**Abbildung 36: Usedomer Frauen und Kinder ( $N_{\text{Frauen}} = 10$ ,  $N_{\text{Kinder} \leq 3 \text{ Jahre}} = 12$ ,  $N_{\text{Kinder} \geq 3 \text{ Jahre}} = 3$ ). Die Stickstoffisotope zeigen die Stellung der Konsumenten innerhalb der Nahrungskette an. Da die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Konsumenten in der Regel 3–4 ‰ schwerer sind als die seiner Nahrung, erlaubt dies zu rekonstruieren, ob ein Kind noch gestillt wurde.**

In Abbildung 36 wird das Stillen der Kinder sehr gut deutlich. Die Usedomer Kinder bis drei Jahre liegen fast alle mindestens eine Trophiestufe über den Frauen, was auf eine Fütterung mit (Mutter-) Milch hinweist. Ein etwa anderthalbjähriges Kind (U 190) zeigt abweichende  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von denen der restlichen Usedomer Kinder: -21,1 ‰ und 13,3 ‰. Ebenso wird ein etwa zweijähriger Junge mit einem höheren  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert: -17,5 ‰ und 12,1 ‰ dargestellt. Des Weiteren wiesen ein etwa zweijähriges Kind (U 192) mit -20,0 ‰ und 15,3 ‰, und ein ca. anderthalbjähriges Mädchen (U 176) mit -19,4 ‰ und 14,7 ‰ höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Frauen und den Kindern, die älter als drei Jahre waren in den  $\delta^{13}\text{C}$ -

## ERGEBNISSE

Werten ( $p \leq 0,05$ ). Der Unterschied in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zwischen den Frauen und den Kindern unter drei, der ausschlaggebend für ein Erkennen des „Stillsignals“ in der Grafik ist, ist sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Zwischen den Altersgruppen der Kinder besteht jedoch kein signifikanter Unterschied.

Das etwa dreijährige Mädchen aus Grab U 89 zeigt sehr niedrige  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Die vorliegenden Werte deuten an, dass das Kind mit hoher Wahrscheinlichkeit keine normale Entwicklung durchlaufen ist, was möglicherweise auch den frühen Tod bedingte. Unter diesen Umständen ist es wahrscheinlich, dass das Kind, weil es selbst oder seine Mutter krank war, nicht normal, d.h. altersgemäß ernährt werden konnte. Vielleicht ist es zu früh abgestillt worden.<sup>17</sup>



**Abbildung 37: Mittelwerte der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller drei Bevölkerungsgruppen. Es zeigen sich durch die verschiedenen Isotopiewerte signifikante Unterschiede im Ernährungsverhalten zwischen den drei Kulturen. Verschiedene Proteinquellen lassen sich unterscheiden, aber es ist unmöglich, eine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Proteinquellen des gleichen Tieres (Milch / Fleisch) zu treffen.**

In Abbildung 37 werden die Mittelwerte der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit ihren Standardabweichungen der Männer, Frauen und Kinder der drei verschiedenen Skelettserien grafisch dargestellt. Auffallend ist hier die Verteilung der Tasdorfer Männer, Frauen und Kinder. Die Kinder bis drei Jahre befinden sich (durch die Ernährung mit Muttermilch) auf der gleichen Ebene wie die Tasdorfer Männer, die Kinder ab drei Jahre dagegen auf der gleichen Ebene wie die Tasdorfer Frauen. Ein solch gravierender Unterschied ist weder bei den Bernauern noch bei den Usedomern festzustellen.

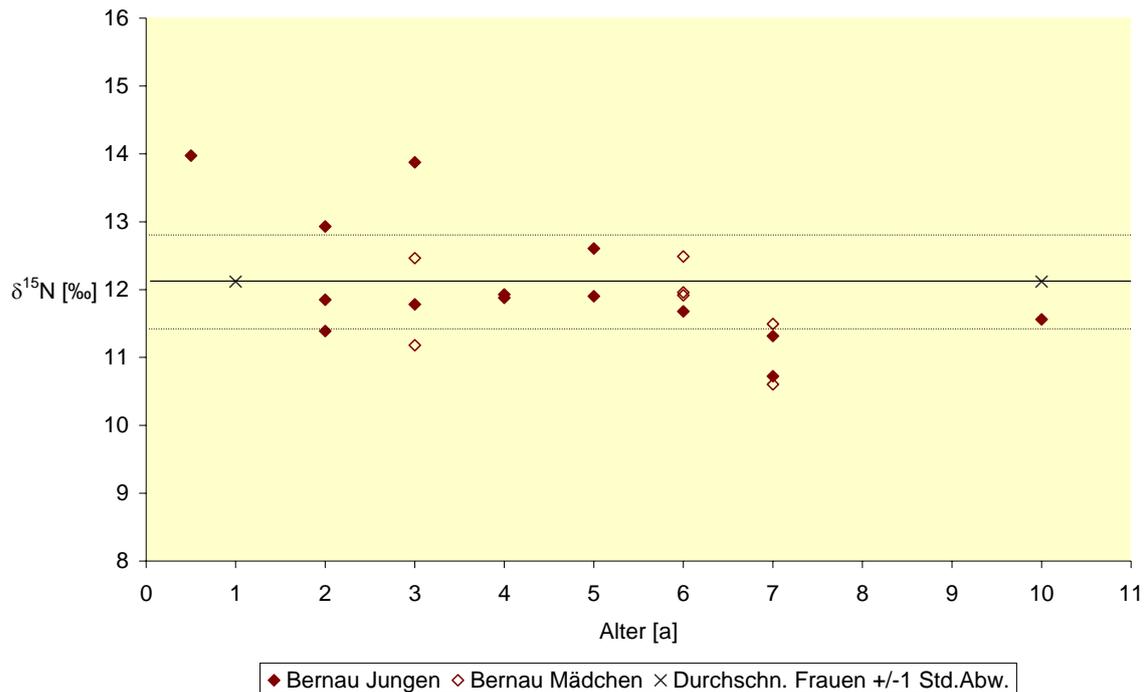
<sup>17</sup> vgl. hierzu die Diskussionstexte 5.7 Kindheit im Mittelalter, Seite 162 und 5.10.3 Das Abstillen der Kinder in Usedom, Seite 232.

Hier werden noch einmal die höchst signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von Bernau und Tasdorf ( $p \leq 0,001$ ), sowie die hoch signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Kinder aus Bernau und Usedom ( $p \leq 0,01$ ) deutlich. Außerdem sind die höchst signifikanten Unterschiede zwischen den Kindern aus Tasdorf und aus Usedom in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und die hoch signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zu erkennen. Außerdem zeigt diese Grafik nochmals die höchst signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) aller drei Gruppen, sowie die höchst signifikanten Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ) von Tasdorf und Usedom und Bernau und Usedom noch einmal deutlich. Es bestehen höchst signifikante Unterschiede in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zwischen den Kindern über drei Jahre aus Bernau und Tasdorf, höchst signifikante Unterschiede zwischen den erwachsenen Frauen aus diesen beiden Regionen in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ), sowie auch höchst signifikante Unterschiede zwischen den erwachsenen Männern dieser beiden Orte in den gleichen Werten ( $p \leq 0,001$ ). Bei den Kindern unter drei Jahren aus Bernau und aus Usedom konnte ebenfalls ein signifikanter Unterschied in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten festgestellt werden ( $p \leq 0,05$ ). Auch die erwachsenen Frauen aus Bernau und aus Usedom zeigten sowohl für die  $\delta^{15}\text{N}$ - ( $p \leq 0,001$ ) als auch für die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ( $p \leq 0,05$ ) höchst bzw. signifikante Unterschiede an. Die erwachsenen Männer dieser beiden Städte zeigten dagegen nur in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten höchst signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ). Höchste signifikante Unterschiede gab es auch bei den über dreijährigen Kindern aus Usedom und Tasdorf in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ), sowie signifikante Unterschiede in den  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der erwachsenen Frauen ( $p \leq 0,05$ ). Auch die erwachsenen Frauen beiderorts zeigten einen höchst signifikanten Unterschied in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $p \leq 0,001$ ). Der Unterschied der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der erwachsenen Männer war dagegen nur signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.1 Das Abstillalter der Kinder

Junge Säugetiere weisen, wie bereits erwähnt, infolge ihrer proteinreichen Ernährung mit Muttermilch, erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf, solange sich das Kollagen noch nicht erneuert hat. Die Milchaufnahme führt zu einer Anreicherung mit  $^{15}\text{N}$  im Kollagen. Diese kann, relativ zu der Ernährung der Mutter, eine Erhöhung des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes von 1 ‰ bis 3 ‰ bedeuten, was einer Trophiestufe entspricht. Während des Abstillens sinken die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kinder, bis sie letztendlich das Niveau ihrer Mütter erreichen, wenn die Kinder vollständig entwöhnt sind.

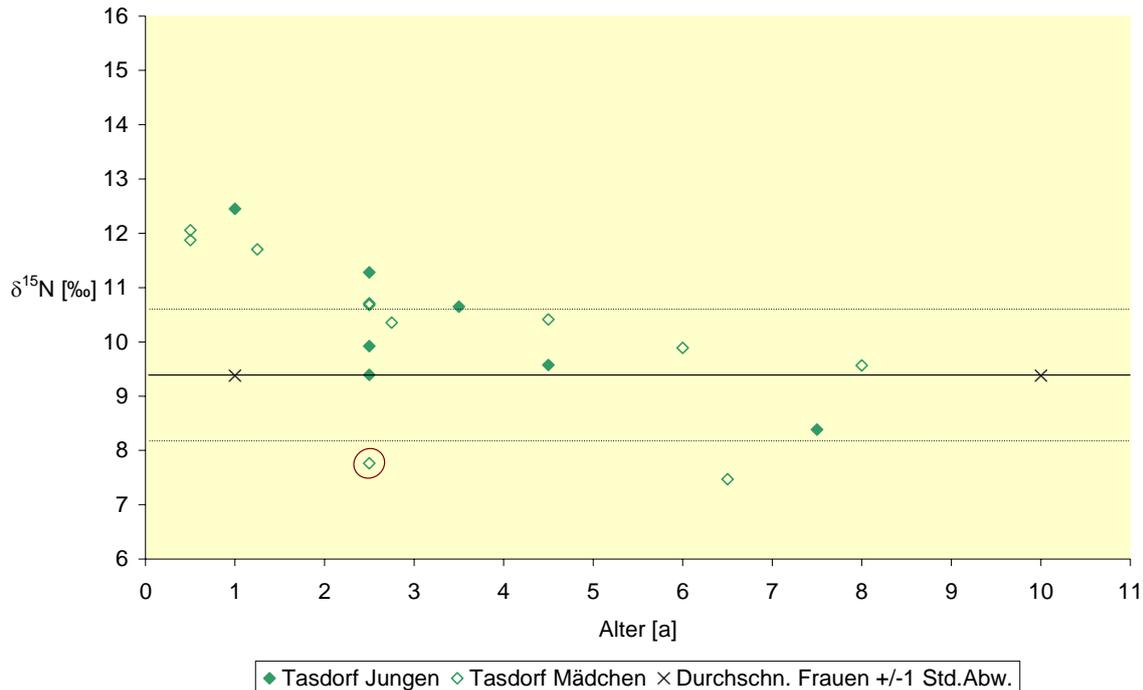
## ERGEBNISSE



**Abbildung 38: Das Abstillalter der Kinder in Bernau. Die Milchaufnahme führt zu einem Anstieg von  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen. Diese kann, relativ zu der Ernährung der Mutter, eine Erhöhung von 1 ‰ bis 3 ‰ betragen, was einer Trophiestufe entspricht. Während des Abstillens sinken die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, bis sie nach vollständiger Entwöhnung das Niveau der Mütter erreichen.**

Abbildung 38 macht deutlich, dass die Kinder aus Bernau mit etwa zwei bis spätestens drei Jahren abgestillt worden sind. Die Datenpunkte reflektieren das Abfallen der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit ungefähr einem Jahr. Die Bernauer Kinder erreichen mit ihren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten recht schnell das Trophieniveau der Mütter. Da keine Daten von ein- oder anderthalb Jährigen zur Verfügung standen, kann festgestellt werden, dass die Ernährung der Kinder im Alter von zwei und drei Jahren (weitestgehend) umgestellt und der Erwachsenenkost angeglichen ist, die Kinder also entwöhnt sind. Wahrscheinlich ab etwa anderthalb Jahren begann die Entwöhnung, andere Nahrungsmittel – mit niedrigeren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, wie Getreide, Gemüse, Früchte – wurden zusätzlich zur Muttermilch verabreicht. Das Kind ist vom reinen Karnivoren (Muttermilch) zum Omnivoren geworden.

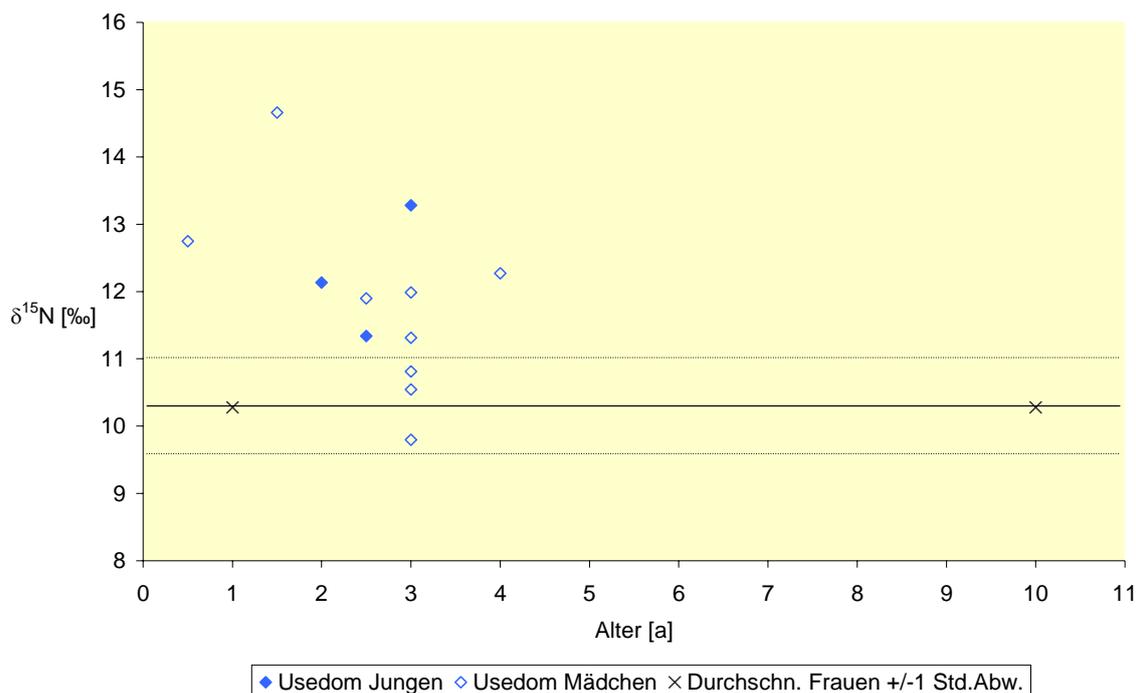
## ERGEBNISSE



**Abbildung 39: Das Abstillen der Kinder in *Tasdorf*. Die Milchaufnahme führt zu einem Anstieg von  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen. Diese kann, relativ zu der Ernährung der Mutter, eine Erhöhung von 1 ‰ bis 3 ‰ betragen, was einer Trophiestufe entspricht. Während des Abstillens sinken die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, bis sie nach vollständiger Entwöhnung das Niveau der Mütter erreichen.**

Die Tasdorfer Kinder bis zum Alter von etwa drei Jahren zeigen, wie man in Abbildung 39 sieht, teilweise noch erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte gegenüber den Frauen. Dies deutet auf eine Ernährung mit (Mutter-) Milch hin. Allerdings deuten hier jedoch auch einige der Daten darauf hin, dass bei einigen Individuen möglicherweise eine falsche Ernährungsweise vorlag oder sie viel zu früh abgestillt wurden. So weist T<sub>MA67</sub>, ein etwa zwei bis drei Jahre altes Mädchen (hier rot umrahmt) sehr niedrige Stickstoffwerte auf (7,8 ‰), die noch unterhalb denen der Frauen liegen. Vielleicht wurde dieses Kind zu früh entwöhnt und erhielt schon längere Zeit vor seinem Tod nur Vegetabilien als Nahrung. In Tasdorf wurde etwas später als in Bernau aber dennoch in etwa zur gleichen Zeit entwöhnt, so dass die Kinder mit drei Jahren abgestillt waren. Im Alter von zweieinhalb Jahren liegen die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte unter denen der Anderthalb- bis Zweijährigen.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 40: Das Abstillalter der Kinder in Usedom. Die Milchaufnahme führt zu einem Anstieg von  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen. Diese kann, relativ zu der Ernährung der Mutter, eine Erhöhung von 1 ‰ bis 3 ‰ betragen, was einer Trophiestufe entspricht. Während des Abstillens sinken die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, bis sie nach vollständiger Entwöhnung das Niveau der Mütter erreichen.**

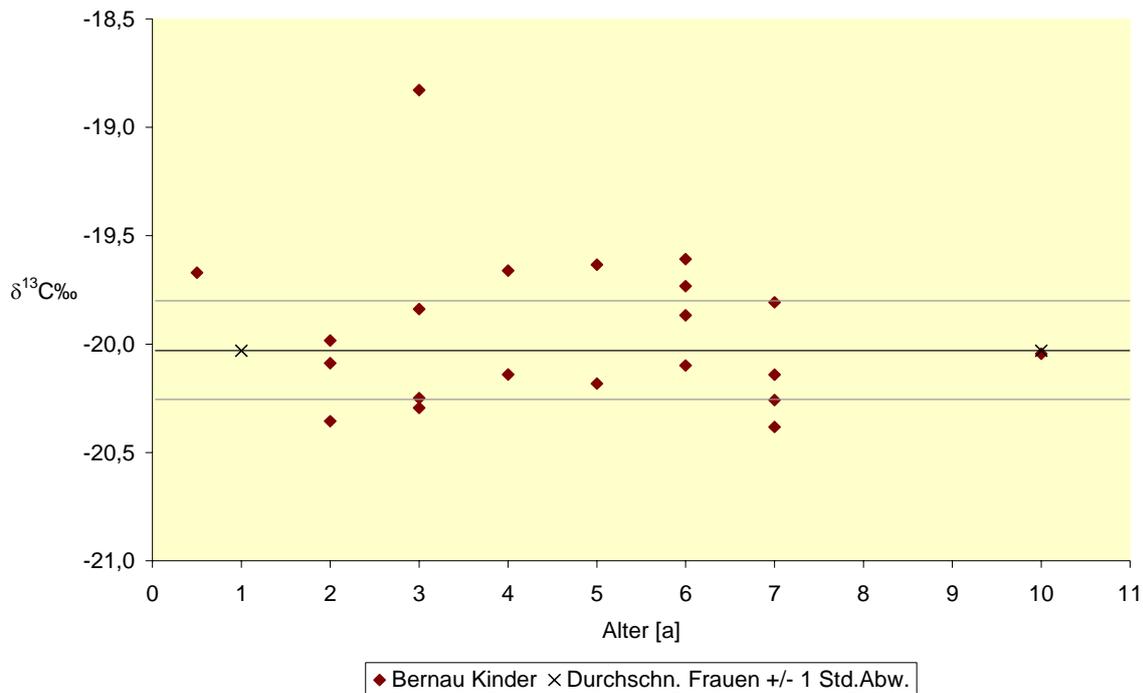
Bei der Usedomer Skelettserie sind hier zunächst die deutlich höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als bei der Tasdorfer Population auffallend. Auch hier zeigt sich wieder, dass sich die Tasdorfer Bevölkerung deutlich weniger proteinreich ernährt hat als die Usedomer oder Bernauer Bevölkerung. Die Usedomer Kinder bis drei Jahre liegen alle ein bis drei Trophiestufen über den Frauen, was auf eine Fütterung mit (Mutter-) Milch hinweist. Der Unterschied in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zwischen den Frauen und den Kindern unter drei, der ausschlaggebend für ein Erkennen des „Stillsignals“ in der Grafik ist, ist sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Es wird hier sehr deutlich (Abbildung 40), dass in Usedom auf jedenfall mindestens bis zum dritten Lebensjahr gestillt worden ist. Leider fehlen Vergleichswerte der Kinder über vier Jahre, da es anhand dieser Grafik sogar so scheint, als hätten die Usedomer Frauen zumindest einige ihrer Kinder auch noch mit dem vierten Lebensjahr gestillt. Es zeigte sich außerdem ein signifikanter Unterschied zwischen den Frauen und den Kindern, die älter als drei Jahre waren in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ( $p \leq 0,05$ ).

Ein Unterschied der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Karnivoren-Kollagenen und Herbivoren-Kollagenen von 0,5 ‰ bis 1 ‰ kann sowohl in modernen als auch in Paläosystemen beobachtet werden (VAN KLINKEN ET AL., 2000). Dabei sind die Herbivoren meist an  $^{13}\text{C}$ -Atomen angereicherter. (siehe hierzu auch Seite 149) Kinder, die gestillt werden, stellen hier praktisch reine Karnivore dar, die sich von ihren Müttern (bzw. eigentlich

## ERGEBNISSE

deren Milch) ernähren. Diesen Effekt kann man als „Karnivoren-Effekt“ bezeichnen, denn diejenigen Kinder, die noch gestillt werden, sind ebenfalls mit 0,5 ‰ bis 1 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  angereicherter als die Frauen.

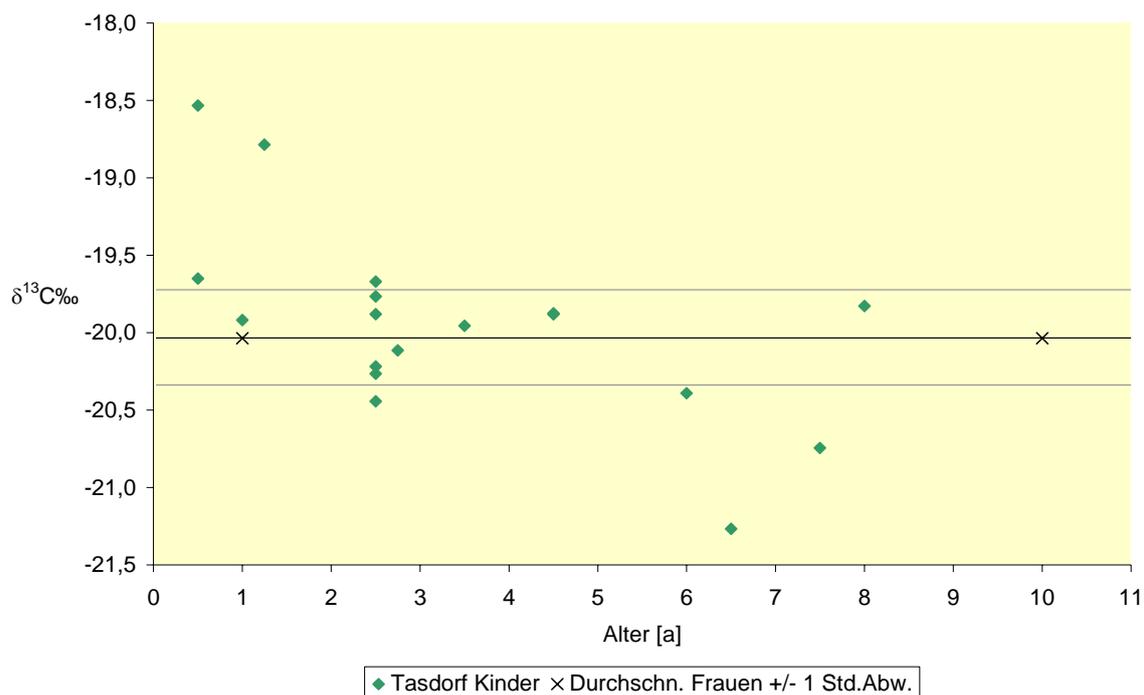
Die nachfolgenden drei Grafiken zeigen die Kohlenstoffisotopiewerte der Kinder ihrem Alter nach entsprechend aufgetragen. Als Vergleich dient hier wiederum der durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Frauen.



**Abbildung 41:** *Bernauer* Kinderkollagen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dem Alter entsprechend aufgetragen. Als Vergleich dient der durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Frauen.

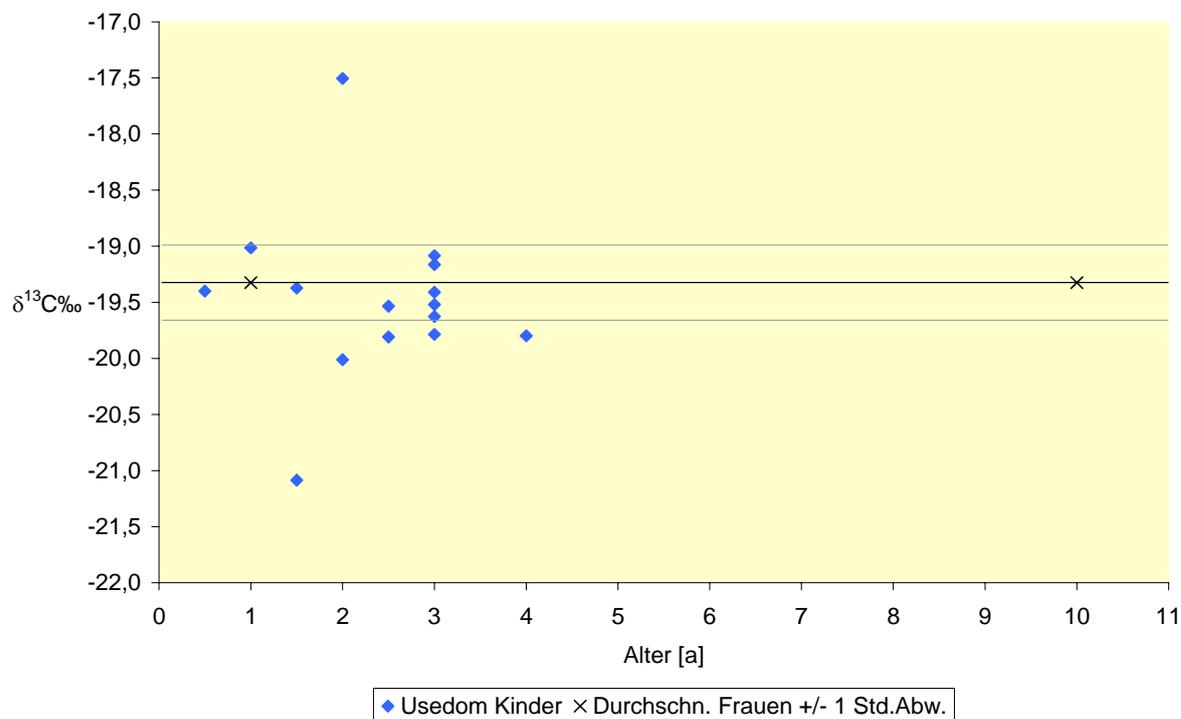
Zumindest bei einem Individuum aus Bernau wird dieser „Karnivoren-Effekt“ deutlich. Alle anderen Werte erreichen recht schnell um die Isotopiewerte der Frauen ein. In dieser Grafik (Abbildung 41) wird das Abstillalter – in Bernau bei ca. zwei Jahren – nicht besonders deutlich.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 42:** *Tasdorfer* Kinderkollagen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dem Alter entsprechend aufgetragen. Als Vergleich dient der durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Frauen.

Bei der Tasdorfer Bevölkerung zeigen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Kinder den „Karnivoren-Effekt“ recht deutlich: diejenigen Kinder, die noch nicht abgestillt worden sind – in Tasdorf (Abbildung 42) wurde ein Abstillalter von etwa zweieinhalb Jahren geschätzt – sind angereicherter an  $\delta^{13}\text{C}$  als die Frauen.



**Abbildung 43:** *Usedomer* Kinderkollagen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dem Alter entsprechend aufgetragen. Als Vergleich dient der durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Frauen.

Für Usedom (Abbildung 43) lässt sich anhand der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Kinder im Vergleich zu den Frauen nicht auf das Abstillalter schließen. Da es sich bei den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten lediglich um eine Erhöhung von 1 ‰ handelt, ist die Bestimmung des Abstillalters mit  $\delta^{15}\text{N}$  einfacher und sicherer.

C-Atome aus Kohlenhydraten und Fetten werden jedoch nur dann in signifikanten Mengen eingebaut, wenn eine extrem proteinarme Ernährung vorliegt (AMBROSE, 1987 & 1993), wie es z.B. bei der Tasdorfer Bevölkerung der Fall gewesen sein dürfte.

#### 4.2.2 Exkurs: Doppel- und Mehrfachbestattungen in Bernau

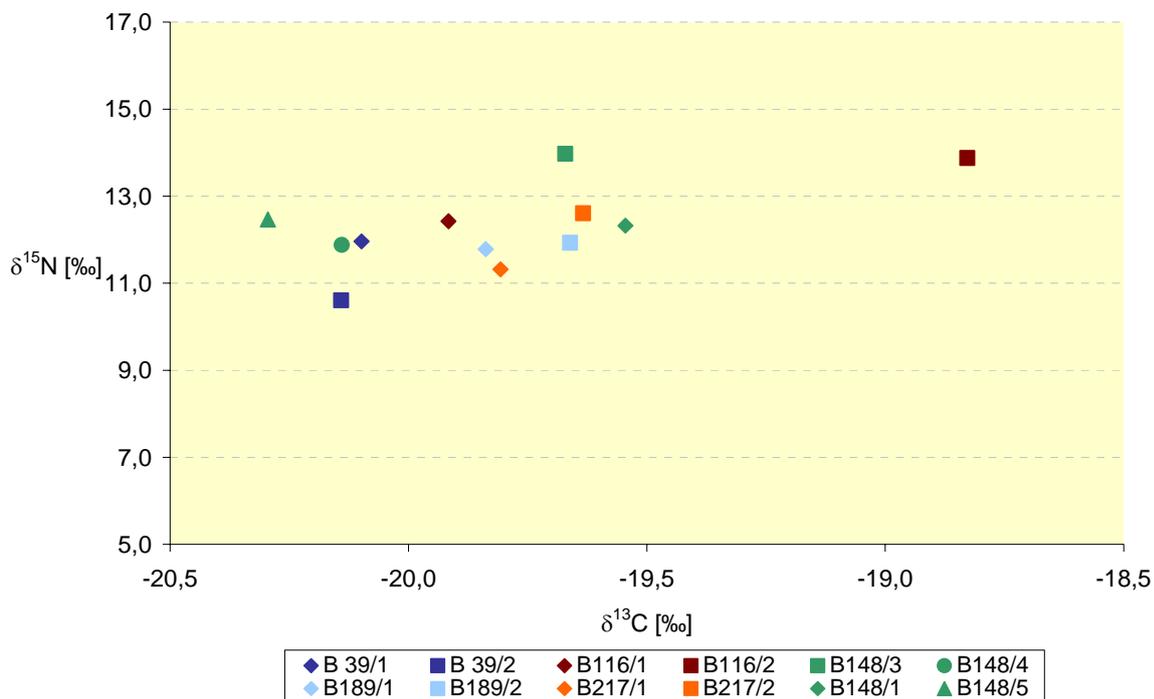


Abbildung 44: Isotopenwerte des Kollagens der Doppel- und Mehrfachbestattungen aus *Bernau*. Lediglich die Werte aus Grab B 189 in Bezug auf den Stickstoff liegen relativ eng beieinander. In Bezug auf die Kohlenstoffisotopen liegen die Individuen des Grabes B 39 sehr eng beieinander.

Ein weiterer interessanter Aspekt sind die Mehrfachbestattungen aus Bernau. Es stellt sich die Frage, warum diese Personen miteinander bestattet wurden. Eine Erklärung könnte in verwandtschaftlichen Beziehungen liegen, eine andere Möglichkeit wären gesellschaftliche Gründe. Vielleicht handelte es sich um Menschen, die eine besondere soziale Stellung (hoch oder niedrig) eingenommen hatten und wegen dieser Gemeinsamkeit auch in einem Grab bestattet wurde.

Abbildung 44 zeigt die Isotopieverteilungen aus dem Kollagen der Mehrfachbestattungen. Wie aus dieser Grafik hervorgeht, liegen lediglich die Werte aus Grab B 189 in Bezug auf  $\delta^{15}\text{N}$  relativ eng beisammen. In Bezug auf die Kohlenstoffisotopen befinden sich die Individuen des Grabes B 39 sehr eng beieinander. Die Individuen der

Gräber B 189 und B 217 zeigen auch recht ähnliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit nur etwa 0,2 ‰ Unterschied. Die Diskrepanz zwischen den Individuen B 116/1 und /2 könnte daran liegen, dass B 116/2 noch ein Kind war (Infans I) und 116/2 ein maturer Mann. Das Kind wurde wahrscheinlich noch gestillt.

Die Kinder aus Grab B 148 weisen alle sehr unterschiedliche Werte auf. B 148/1 ist eine senile Frau; B 148/3 ist ein nicht einmal einjähriges Kind. Dessen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte deuten ein Stillsignal an. B 148/4 und B 148/5, zwei Kinder im Alter von vier bis fünf und drei bis vier Jahren, scheinen dagegen nicht mehr gestillt worden zu sein.

Eine mögliche Schlussfolgerung dieser Daten könnte sein, dass die Personen sich in derselben Mikroumwelt befanden, d.h. aus gesellschaftlichen Gründen oder wegen ihrer Verwandtschaft eng zusammen gelebt haben und damit auch ähnlichen Ernährungsbedingungen ausgesetzt waren.

Allein anhand der Isotopiedaten kann somit nicht abschließend geklärt werden, welche Beziehungen zwischen den einzelnen Personen bestanden.

### 4.3 Stabile Isotope im Karbonat

Die menschlichen Knochen lieferten einen Median des prozentualen Apatits im Verhältnis zum Knochengewicht von 77,72 % (siehe Anhang, Tabelle 9.12, Seite 304). Diese Konzentration liegt oberhalb des erwarteten Wertes von 70 %.

Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass dekompositionsbedingt organische Substanzen, z.B. Kollagen, einen vergleichsweise geringen Teil des Knochenmaterials ausmachten. Bei der Entfernung dieser organischen Substanzen mit  $\text{NaOCl}$  blieb also im Verhältnis mehr anorganisches Material übrig.

Der prozentuale Kollagenanteil des Knochens ergibt addiert zum prozentualen Anteil des Apatits keine vollen 100 % (z.B. nicht-kollagene Proteine oder Lipide), adsorbiertes Karbonat oder Verschmutzungserscheinungen. Diese Bestandteile werden während der Extraktion entfernt.

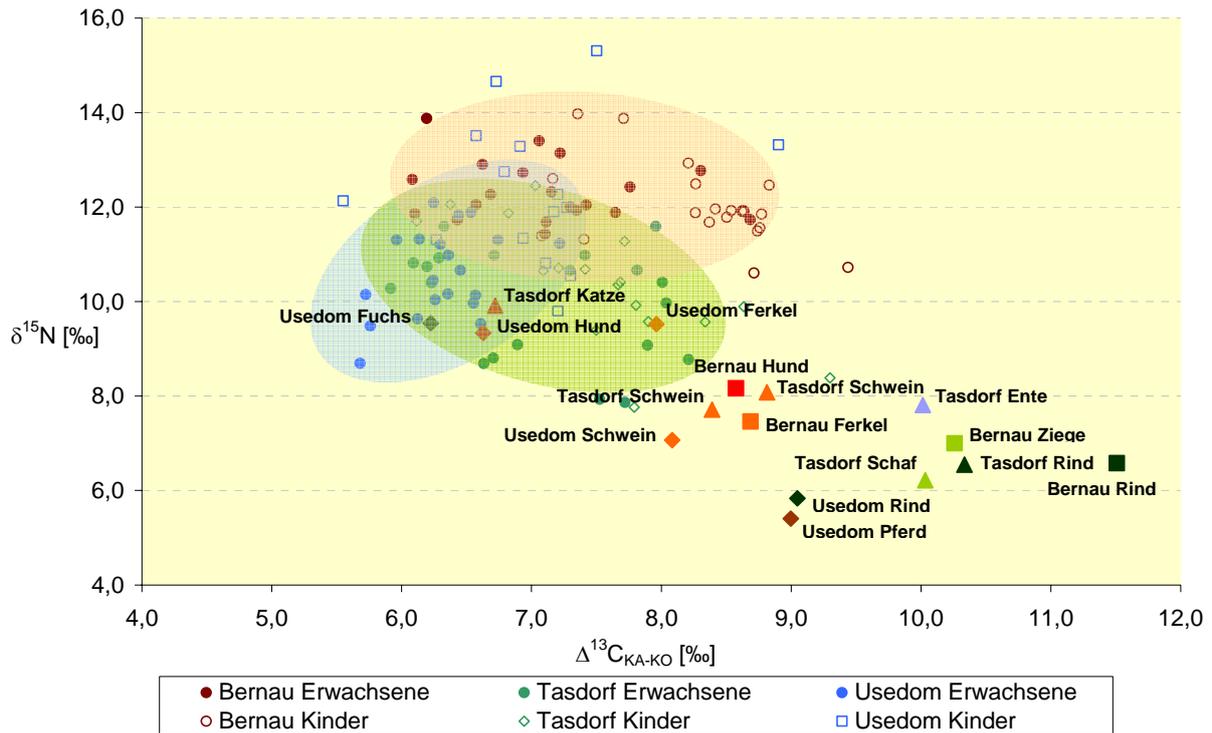
Insgesamt kann ein relativ starker Verlust organischer Bestandteile bei geringer Beeinträchtigung des anorganischen Anteils der Knochen festgestellt werden. Die Apatit-Werte von Menschen- und Tierknochen entsprechen im Großen und Ganzen den erwarteten Werten um 70 % Apatitkonzentration. Darüber hinaus gibt es zurzeit in der Wissenschaft keine Qualitätskontrolle mit Ausnahme der ernährungsbedingten  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KO-KA}}$ -Werte. Anhand der Ergebnisse aus den stabilen Kollagenisotopen können jedoch die Isotopiewerte aus dem Karbonat bestätigt werden.

Im Karbonat wird die Zusammensetzung der gesamten Nahrung und nicht nur der Proteinanteil widergespiegelt. Im Vergleich zum Kollagen sind die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Knochenkarbonat im Allgemeinen um 3 ‰ bis 10 ‰ angereicherter. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im

## ERGEBNISSE

Karbonat und Phosphat geben Hinweise auf das aufgenommene Wasser, welches wiederum von der vorherrschenden Temperatur beeinflusst wird. Mittels der Analyse von  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten können Aussagen über Paläoklima und Klimaschwankungen getroffen werden.

Der Vergleich der stabilen Kohlenstoffisotope des Karbonats mit denen des Kollagens ( $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KO-KA}}$ ) stellt, ähnlich den stabilen Stickstoffisotopen, einen Indikator für den Fleisch- bzw. Fettkonsum des Individuums dar.



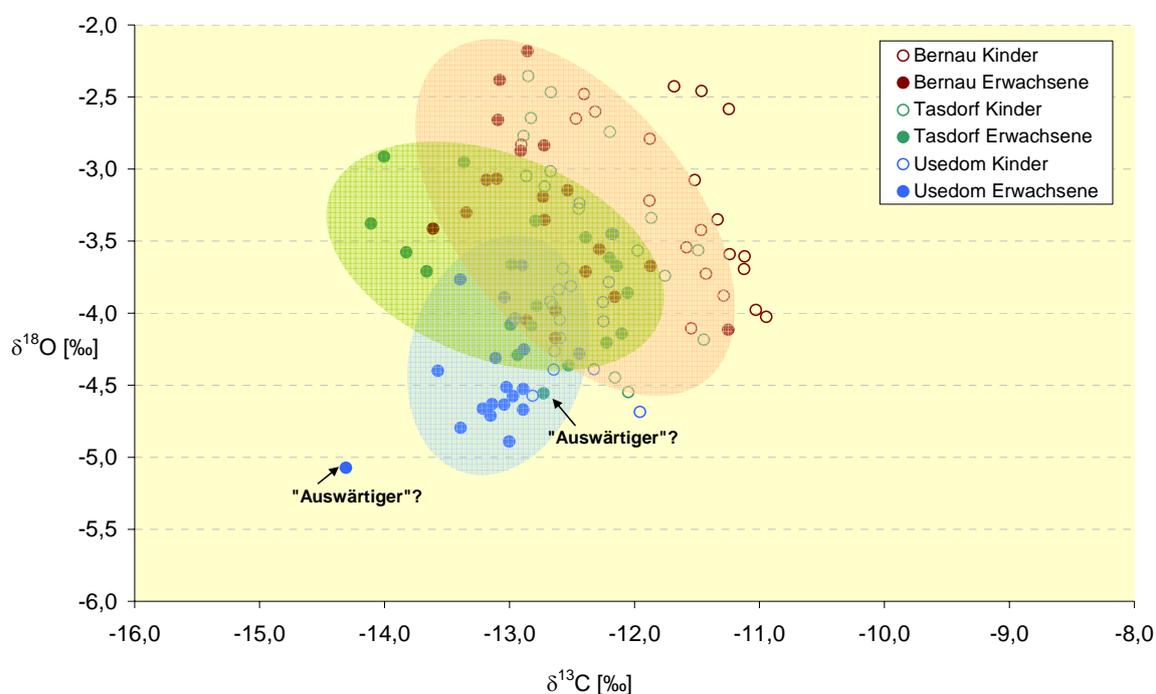
**Abbildung 45:**  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$ -Werte der Menschen und Tiere aus *allen drei Grabungsstätten*. Der Unterschied ( $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$ ) zwischen dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Karbonats und dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Kollagens bei Karnivoren ist kleiner als bei Herbivoren.

LEE-THORP ET AL. (1989) postulierten, dass der Unterschied zwischen dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Karbonats und dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Kollagens ( $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$ ) bei Karnivoren kleiner ist als bei Herbivoren. Da Fette im Vergleich zu Proteinen und Kohlenhydraten desselben Organismus an  $^{13}\text{C}$  abgereichert sind, erkennt man ihren Einbau im Karbonat an kleineren Werten des  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$ . Anhand der obigen Grafik (Abbildung 45) ist dieses Verhältnis gut zu erkennen. Die Ergebnisse stimmen auch mit den Befunden, die sich bei den stabilen Isotopen der Kollagene ergaben überein. Auch hier wird deutlich, dass sich die menschlichen Bevölkerungen omnivor bis karnivor, genauso wie die Karnivoren (Fuchs, Hund, Katze) ernährt haben, was in der obigen Grafik vor allem auch durch die erhöhten Stickstoffwerte noch einmal ersichtlich wird. Ebenso fällt hier der omnivore Hund auf, der sich eindeutig in der omnivoren Gruppierung – bei den Schweinen – befindet. Die Kinder sind wieder separat dargestellt, da sie infolge des

## ERGEBNISSE

Stillens, wie bereits erwähnt, höhere Stickstoffisotopiewerte aufweisen und sich bei den  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$  in der karnivoren Differenzierung befinden.

Karnivore, Omnivore und Herbivore lassen sich in dieser Grafik deutlich differenzieren. Die erwachsenen Menschen sind auch hier omnivor bis karnivor, wobei sich die Infans I noch karnivorer als die Erwachsenen der gleichen Bevölkerung präsentieren: Der  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$  der Kinder ist kleiner als der Wert der erwachsenen Individuen. Bei dieser Analyse erkennt man den wahren Fleischanteil bzw. Fettanteil in der Ernährung. Es ist zu beobachten, dass sich die Tasdorfer Bevölkerung deutlich weniger von tierischem Protein bzw. Fett ernährt hat als die beiden anderen Bevölkerungen. Die  $\Delta^{13}\text{C}_{\text{KA-KO}}$  der Tasdorfer deuten möglicherweise auf einen hohen Fettkonsum durch z.B. Milchprodukte an. Ein Konsum ausschließlich des tierischen Fettes bei gleichzeitiger Verschmähung des Proteinanteils (Muskel-Fleisches) ist her unwahrscheinlich.

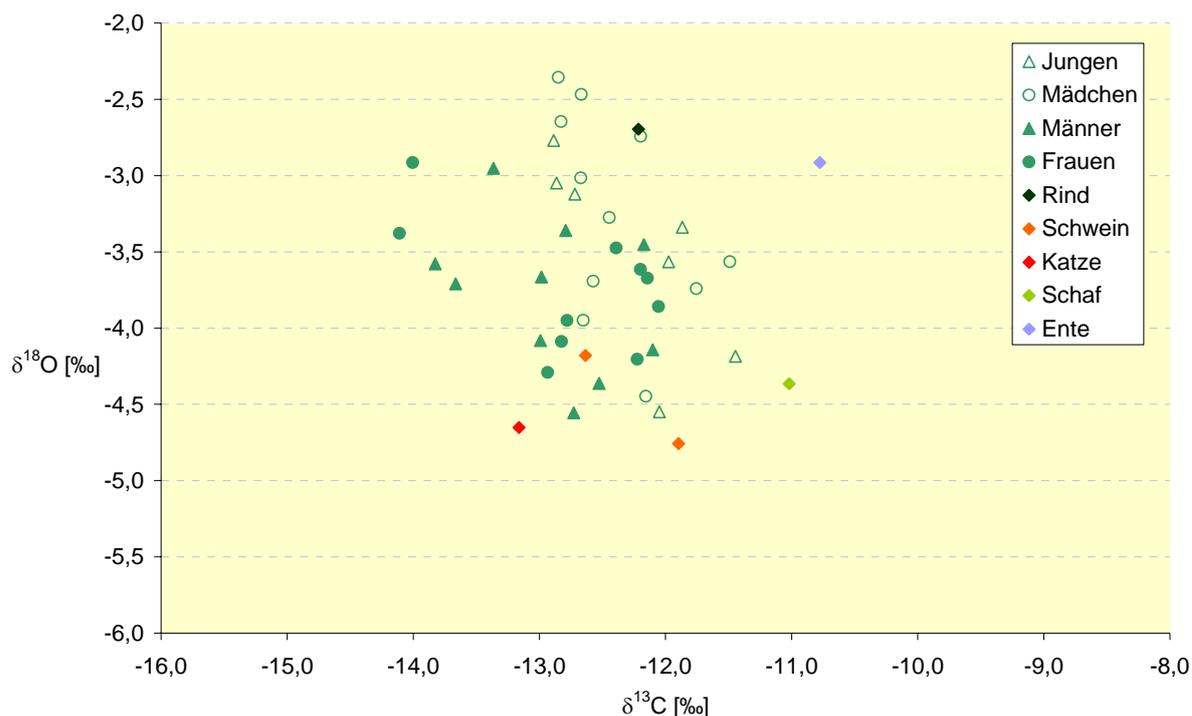


**Abbildung 46: Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope der *Bernauer* (13.-16. Jhdt.), *Tasdorfer* (13.-15. Jhdt.) und *Usedomer* Proben (12.-13. Jhdt.). Die gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterstreichen die Einheitlichkeit der Wasserversorgung in den jeweiligen Gebieten.**

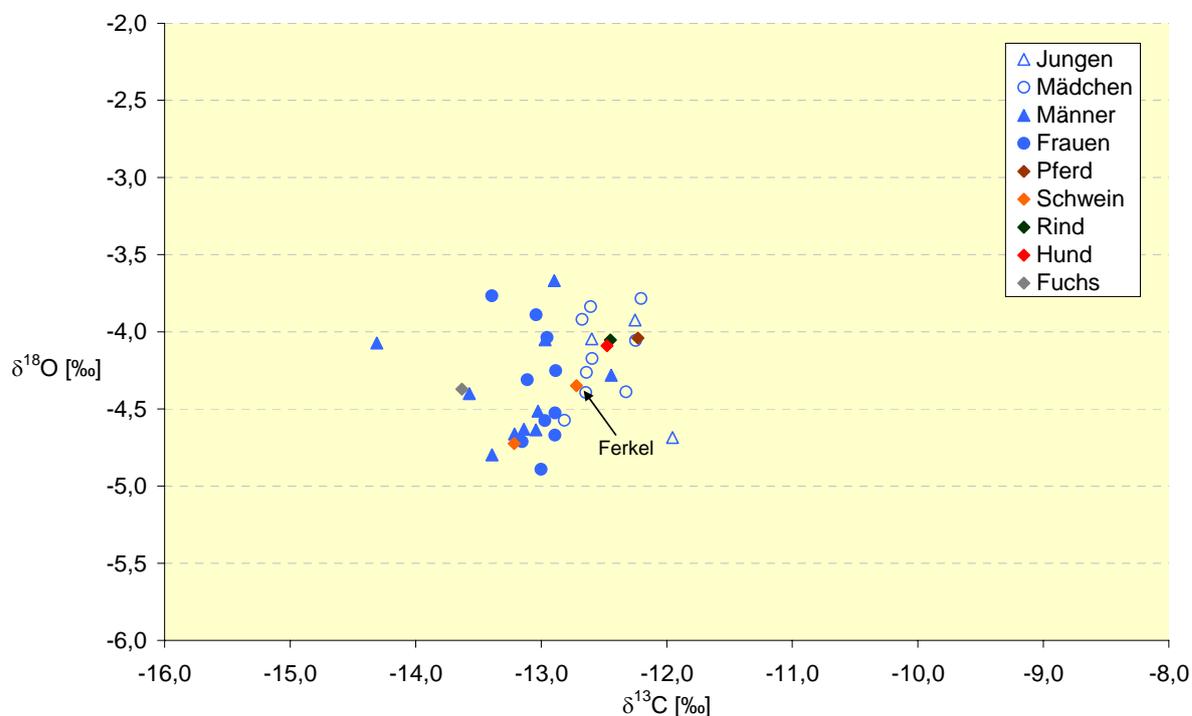
Die Kinder haben aufgrund ihrer eiweiß- und fettreichen Ernährung niedrigere Kohlenstoffwerte als die Erwachsenen. Hier in den Abbildung 46 - Abbildung 49 dargestellt. Die Sauerstoffisotopien unterstreichen die Einheitlichkeit der Wasserversorgung der einzelnen Bevölkerungen. Errechnet man anhand des Lee-Thorpschen Nahrungsnetzmodelles (1989) den  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der konsumierten Pflanzen ( $-24,68 \pm 0,34$  ‰ für Bernau bis  $-24,59 \pm 0,75$  ‰ für Tasdorf und  $-24,99 \pm 0,16$  ‰ für



## ERGEBNISSE



**Abbildung 48: Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope der *Tasdorfer* Proben (13. bis 15. Jhdt.). Die gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterstreichen die Einheitlichkeit der Wasserversorgung. Die Kinder haben aufgrund ihrer teilweise noch sehr eiweiß- und fettreichen Ernährung (Muttermilch) niedrigere Kohlenstoffwerte als die Erwachsenen.**



**Abbildung 49. Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope der *Usedomer* Proben (12.-13.Jhdt.). Die gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterstreichen die Einheitlichkeit der Wasserversorgung. Die Kinder haben aufgrund ihrer teilweise noch sehr eiweiß- und fettreichen Ernährung (Muttermilch) niedrigere Kohlenstoffwerte als die Erwachsenen.**

Beziehen verschiedenen Individuen längerfristig ihr Trinkwasser aus der gleichen Quelle, wirkt sich dies auf die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ihres Karbonats aus, welche sich angleichen. Die folgenden Grafiken stellen die stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopien der drei mittelalterlichen Bevölkerungen dar. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte weisen darauf hin (bis auf zwei Ausnahmen), dass die untersuchten Individuen jeweils im gleichen Siedlungsgebiet gelebt haben. Dies wird noch einmal besonders deutlich, wenn man sich die Mediane der drei Gruppen ansieht (Abbildung 50).

Anscheinend handelt es sich bei den Individuen U 148 und T<sub>MA</sub>28 tatsächlich um „Auswärtige“, da sie im Vergleich zu der restlichen Bevölkerung aus Usedom und Tasdorf stark abweichende Sauerstoffisotope aufweisen.

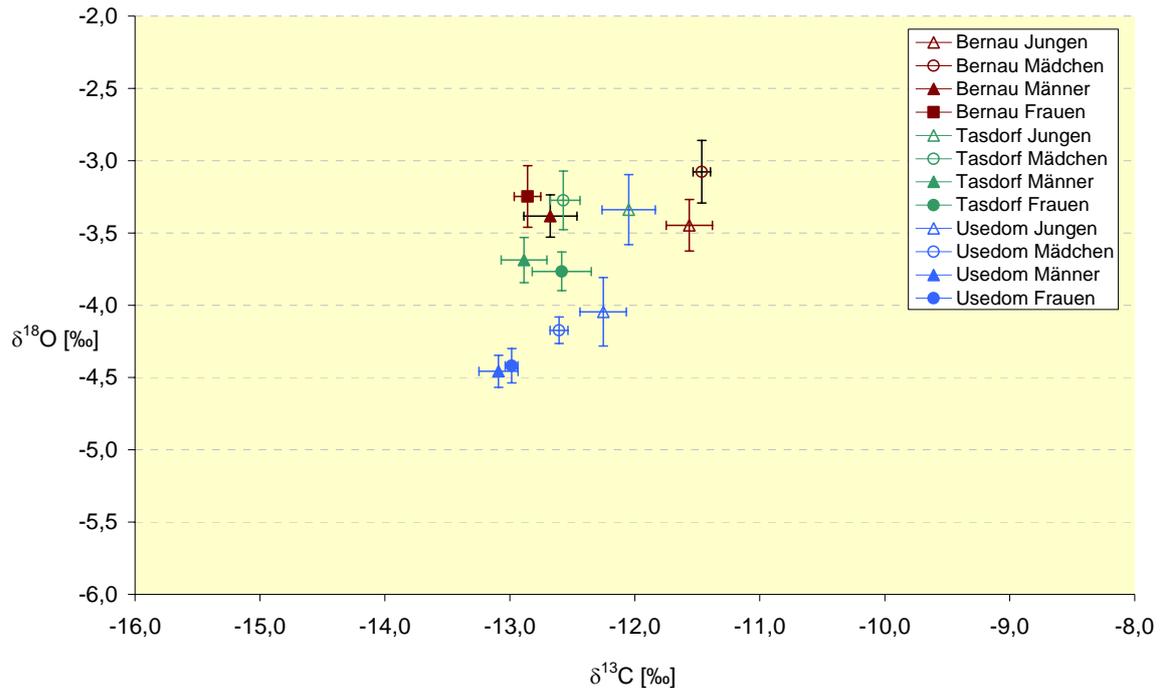
Die untersuchten Proben weisen teilweise sehr variable  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf, oft auch innerhalb einer Spezies. Von LONGINELLI (1984) ist ebenfalls eine Variation der intraspezifischen Werte von etwa 5 ‰ beobachtet worden. SPONHEIMER & LEE-THORP (1999) postulieren bei Herbivoren im selben Habitat sogar Variationen von 8 ‰ bis 9 ‰.

Die Mediane der Werte der menschlichen Knochenproben sind in Abbildung 50 jeweils getrennt nach ihrem Fundort aufgetragen. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Usedomer Bevölkerung sind niedriger als die der Tasdorfer und Bernauer Bevölkerung, was auf ein kühleres Klima in Usedom hindeutet, da die Anreicherung mit  $\delta^{18}\text{O}$  ist temperaturabhängig. Je wärmer das Klima, desto mehr schwerer Sauerstoff.

Ein kühleres Klima an der Küste verwundert nicht, da es aufgrund der Nähe der großen Wassermassen in Küstenregionen immer etwas kühler als im Inland ist.

Die Tasdorfer  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte streuen wieder etwas mehr als die Bernauer und Usedomer Werte. Möglicherweise liegt das daran, dass eventuell nicht alle untersuchten Individuen aus ein und demselben Jahrhundert stammten, da der Tasdorfer Friedhof ja über mehrere Jahrhunderte belegt war. Vielleicht stammten daher einige Individualdaten aus dem Anfang des 13. Jahrhunderts und andere wiederum vom Ende des 15. Jahrhunderts, was die große Variationsbreite erklären würde.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 50: Mediane der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope aller drei Skelettserien. Die zum Teil recht großen Fehlerbalken bedingen sich aus der teilweise geringen Probenanzahl. Die gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterstreichen die Einheitlichkeit der Wasserversorgung in jeder der drei Bevölkerungen.**

Beziehen verschiedene Individuen längerfristig ihr Trinkwasser aus der gleichen Quelle, wirkt sich dies auf die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ihres Karbonats aus, welche sich angleichen. Die gemessenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterstreichen somit die Einheitlichkeit der Wasserversorgung in den drei Siedlungsgebieten. Gerade die Sauerstoffwerte der Usedomer Bevölkerung sprechen für einen sehr engen Siedlungsraum.

Die „Auswärtigen“ U 148 und T<sub>MA</sub>28 sind in die Mediane nicht miteinbezogen, da sie im Vergleich zu der restlichen Bevölkerung aus Usedom und Tasdorf stark abweichende Sauerstoffisotope aufweisen

#### 4.4 Ergebnisse der Texturpräparate der Bodenproben

Um auf eventuelle diagenetische Einflüsse Rückschlüsse ziehen zu können, wurden die Spurenelementdaten der drei Bevölkerungen auf ihre Korrelationen hin überprüft. Bestimmte Elementkombinationen können so einen Hinweis auf die umgebende Bodenstruktur geben, die dann mit den tatsächlich ermittelten Bodenbestandteilen verglichen werden kann.

Die folgenden Aussagen stammen aus den pers. Gesprächen mit Prof. HALBACH:

Allein bei Betrachtung der Korrelationsmatrizes (vgl. 9.17 Korrelationsmatrizes der in den Proben analysierten Spurenelemente, Seite 318) lassen sich in den untersuchten Bodenproben Großgruppen lokalisieren:

- Die Apatitgruppe, wobei hierfür die typischen Elemente und Verbindungen Ca, Ba und Sr zu nennen sind;
- die Tonmineralgruppe, typische Elemente und Verbindungen sind hierbei Mg, Al und Hydrosilikate;
- die Sulfidgruppe mit den Elementen Cd, Zn und Fe;
- die Feldspatgruppe mit Al, Sr, Ba, K und Na, sowie
- die adsorptiv gebundenen Elemente wie As, Zn, Cu und Cd

Die adsorptiv gebundenen Elemente werden in den Tonmineralen und Hydroxiden eingelagert (s.u.).

##### **Probe I: (Bernau) Mineralbestand:**

- viel Illit
- unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 10-14Å
- unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 14-17Å
- viel Smectit
- Quarz
- viel Kaolinit
- (Feldspäte)

*Anmerkung:* Am Aufbau der unregelmäßigen Wechsellagerungsminerale sind Smectit, Illit und Chlorit beteiligt.

**Probe II (Tasdorf) Mineralbestand:**

- Quarz
- viel Feldspäte
- etwas<sup>19</sup> sog. Bodenchlorit
- wenig<sup>20</sup> Illit
- unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 10-14Å
- wenig Chlorit
- Kaolinit
- unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 14-17Å
- Spuren von Smectit

*Anmerkung:* Bei der Entnahme der Suspension ist wahrscheinlich auch etwas der Siltfraktion in die Pipette gelangt: Daher der deutliche Quarz und Feldspat-Gehalt. Unregelmäßigen Wechsellagerungsminerale sind Smectit, Illit und Chlorit.

**Probe III (Usedom) Mineralbestand:**

- viel Illit
- viel Smectit
- Unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 10-14Å
- Unregelmäßige Wechsellagerungsminerale 14-17Å
- Quarz
- Kaolinit
- (Feldspäte)

*Anmerkung:* Am Aufbau der unregelmäßigen Wechsellagerungsminerale sind Smectit, Illit und Chlorit beteiligt.

Die Analyse der Bodenproben ergab in der Tat, wie man oben erkennen kann, eine hohe Anzahl an Tonmineralen<sup>21</sup>, die sicherlich einen hohen Einfluss auf die diagenetischen Prozesse innerhalb der Knochen hatten.

Bei allen Böden handelt es sich um sandige, eiszeitliche und kieselsäurereiche Böden. Lockersedimente durchlaufen eine Diagenese, wenn sich aus ihnen Sedimentgesteine bilden. Hierbei spielen vor allem zunehmender Druck und zunehmende Temperatur eine Rolle. Mit zunehmender Bedeckung geraten die Sedimente unter immer höheren Druck. Dabei werden die Sedimente kompaktiert und entwässert. Zugleich erhöht sich die Temperatur leicht. Durch Lösung von Mineralen, Stoffdiffusion und Kristallneubildung wird das lockere Material dabei verfestigt.

---

<sup>19</sup> „etwas“ bedeutet 5 – 10 %

<sup>20</sup> „wenig“ bedeutet < 1 %

<sup>21</sup> Zu den Tonmineralen zählen Chlorit, Illit, Kaolinit und Smectit

## ERGEBNISSE

Mineralien können von den Porenwässern in die Hohlräume des organischen Materials, also den Knochen, eingebracht werden und füllen diese aus. Das organische Material kann später aufgelöst und/oder ersetzt werden.

Die Faktorenanalysen ergaben folgende Gruppen von Spurenelementkorrelationen:

	<i>Bernau</i>	<i>Tasdorf</i>	<i>Usedom</i>
1. Gruppe	Cd, Cu, Al, Ba, Zn, Sr, Fe	Cd, Co, Ni, Cu, Al, Ba, Sr, Mg, Fe	Cd, Co, Ni, Al, Zn, Fe, Mn
2. Gruppe	Ca, P, PO <sub>4</sub>	Ca, P, PO <sub>4</sub>	Pb, Ni, Ca, Fe, P, PO <sub>4</sub>
3. Gruppe	Co, Pb, Fe, Mn	Cu, Zn, Mn	Ba, Sr
4. Gruppe	Ni	Pb	Cu, Mg

Sowohl bei der Bodenprobe aus Usedom als auch bei der aus Tasdorf scheint die Alumosilikatgruppe einen großen Einfluss zu haben in der 1. Gruppe. Hier scheint Cd oberflächenadsorptiv gebunden zu sein. Die 2. Gruppe aus Bernau und Tasdorf bildet die reine Apatitfraktion, während diese in Usedom Verschmutzungen von Fe und ev. Pb im Apatit zeigt.

Die Oxidhydrate lassen sich in diesen Proben nicht eindeutig von den Tonmineralen trennen; wahrscheinlich sind die Tonminerale mit Fe-Hydroxid vermischt.

Tonminerale, wie man wasser- und hydroxidhaltige Alumosilikate mit geringen Mengen an Na, Fe, N, K und Ca nennt, können Zn, Cu und Cd adsorptiv mit sich schleifen. Dies könnte bei allen Böden der Fall sein und damit die Ergebnisse der Spurenelementanalysen der Knochenproben diagenetisch beeinflussen.

Die 3. Gruppe in Usedom ist die Feldspatgruppe; in Bernau und Tasdorf handelt es sich bei der 3. Gruppe um Mn-Fe-Oxidhydrate mit adsorptiv gebundenem Cu und Zn. Es ist also gut möglich, dass gerade bei diesen beiden Böden ein großer diagenetischer Einfluss auf die Elemente Cu und Zn bestehen könnte.

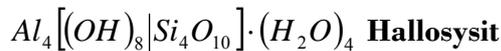
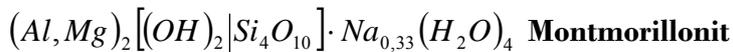
Um die Analysen und ihre Bedeutung in Bezug auf die Interpretation der Spurenelementanalysen besser zu verstehen, wird im Folgenden auf die unterschiedlichen Mineralien<sup>22</sup> und ihre Affinität zu den einzelnen Spurenelementen eingegangen:

---

<sup>22</sup> entnommen aus DIETRICH (1984) und HOEDEL (1994).

**Tonmineralien (Schichtsilikate):**

Anhand des Gitterbaus, der physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung lassen sich gewisse Gruppierungen vornehmen



Zum Teil ist die Zusammensetzung der Tonmineralien konstant (Kaolinit), zum Teil schwankt sie sehr stark durch die Fähigkeit, das Gitter aufzuweiten und alle mögliche Stoffe aufzunehmen und wieder abzugeben (Montmorillonit). Hier können sich also viele Elemente anlagern (mündl. Mitteilung HALBACH).

Tonmineralien sind sekundäre Bildungen, die durch Verwitterung oder hydrothermale Umwandlung aus Aluminiumsilikaten aller Art hervorgehen Sie binden also Wasser. Die häufigsten Vertreter, die Kaolinite, entstehen aus Feldspäten und Foiden. „Illite“ sind die sogenannten Hydroglimmer: Das sind ehemals echte Glimmer, die im Zuge der Verwitterung Wasser in das Gitter eingebaut haben. Vermiculit ist dem Montmorillonit sehr ähnlich, führt jedoch Fe und enthält kein Na.

Die Serpentin-Reihe gehört zur Kaolinit-Gruppe. Sie umfasst drei Mineralien, die sich in ihrer Zusammensetzung kaum unterscheiden. Sie ist analog dem Kaolinit:  $Mg_6[(OH)_8|Si_4O_{10}]$  Diese Verbindung enthält also Mg statt Al. Es kann aber auch Fe und Al eingebaut werden. Somit kann die Kaolinit-Gruppe einen diagenetischen Einfluss auf Mg, Fe und Al haben und die Ergebnisse der Spurenelemente aus den Knochen verfälschen.

Verschiedene Kationen haben eine unterschiedliche „Haftfestigkeit“. Die Elementverhältnisse der Lösung und der Schicht müssen nicht identisch sein. Die Haftfestigkeit steigt mit der Anzahl der möglichen Bindungselektronen und dem abnehmenden effektiven Ionenradius:



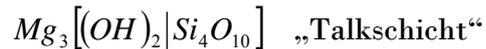
**Feldspat (Gerüstsilikate)**

**Feldspat** ist eine Gruppe sehr häufiger, quasi „auf dem Feld“ vorkommender Silikatminerale der chemischen Zusammensetzung (Na, K, Ca, Ba) (Al, Si)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>. Die in Klammern angegebenen Elemente können sich jeweils gegenseitig vertreten, stehen jedoch immer im selben Mengenverhältnis zu den anderen Bestandteilen des Minerals. Wird  $Si^{4+}$  durch  $Al^{3+}$  ausgetauscht, so ist im Tetraedergerüst eine Valenz frei, die dann durch ein zusätzliches Kation abgesättigt werden muss. Dabei entsteht z.B.  $Na[AlSi_3O_8]$  Albit oder  $K[AlSi_3O_8]$  Kalifeldspat. Wird ein weiteres Si durch ein Al

ersetzt, so erhält man den Anorthit  $Ca[Al_2Si_2O_8]$ . Da die K-reichen Feldspäte in der Natur vorherrschen, spricht man häufig nur von Kalifeldspat. Diese drei Feldspäte stellen die Endglieder eines Mischkristallsystems dar, die Zwischenglieder fasst man unter dem Namen Plagioklas zusammen.

### Chloritgruppe

Wegen starker Mischkristallbildung ist die chemische Zusammensetzung hier sehr variabel:



In beiden Schichten kann  $Mg^{2+}$  durch  $Fe^{2+}$ , bei entsprechendem Wertigkeitsausgleich im Silikatanteil auch durch  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  ersetzt werden.

Die mit Abstand größten Sorptionskapazitäten<sup>23</sup> zeigten die Mn-Fe-Hydroxide, was auf die sehr großen inneren Oberflächen dieser Verbindungen zurückzuführen ist. Dabei stellt neben der Adsorption auch der Einbau der entsprechenden Ionen in das Kristallgitter (Inkorporation) einen wichtigen Mechanismus bei der Festlegung (Einlagerung) dar. Diese Verbindungen zeigen nicht nur die höchsten Festlegungs-kapazitäten, sondern auch die größten Bindungsstärken.

Im huminstoffarmen Milieu treten deutliche Affinitäten bestimmter Elemente zu entsprechenden Festphasen auf, wie z.B. As und Kaolinit, Pb und Natriumfeldspat, Cd und Kalk. Sind Huminstoffe anwesend, ändern sich aber die Verhältnisse: Huminstoffe verhindern, durch Komplexierung der Elemente, die Wechselwirkung der Elemente mit den Festphasen und auch der Elemente untereinander. Dies gilt nur nicht für Cd und Kalk, da die Affiniät des Elements zu dieser Festphase größer ist als die Komplexierungskapazität der Huminstoffe

Als einzige Festphase zeigen die Hydroxide keine merkliche Verringerung der Sorptionskapazität durch die Huminstoffe. Die Remobilisierung der Elemente ist stark pH-Wert abhängig. Natürlich ist das Sorptionsverhalten der Elemente immer auch konzentrationsabhängig.

---

<sup>23</sup> Sorption ist der Oberbegriff für die Aufnahme oder Lösung eines gas- oder dampfförmigen Stoffes in oder an einem anderen festen oder flüssigen Stoff. Der aufnehmende Stoff ist das Sorbens oder Sorptionsmittel. Der aufzunehmende, noch nicht sorbierte Stoff wird als Sorptiv, der aufgenommene als Sorbat bezeichnet.

Bei der Anlagerung des Sorptivs an die Oberfläche des Sorbens spricht man von Adsorption, bei der Aufnahme ins Innere des Sorbens von Absorption. Der gegenläufige Vorgang wird in beiden Fällen als Desorption bezeichnet.

Die Ergebnisse der Korrelations- und Faktorenanalysen der Spurenelemente der Proben befinden sich im Anhang.

#### 4.5 Spurenelemente

Die Analyse der Spurenelemente wurde aus zwei Gründen durchgeführt: erstens sollte die Ernährung der drei Skelettserien, begleitend zur Analyse der stabilen Isotope, rekonstruiert und zweitens die Belastung durch Schwermetalle untersucht werden.

Die untersuchten Spurenelemente zeigen eine unterschiedlich hohe Stabilität gegenüber Austauschprozessen im Boden, wodurch die Aussagekraft des einzelnen Spurenelements definiert wird (vgl. 5.1.1 Problematik der Diagenese, Seite 136). Die Multielementanalyse, d.h. die Untersuchung möglichst vieler aussagekräftiger Spurenelemente hat sich in der Forschung durchgesetzt. Strontium (Sr) liefert ein relativ sicheres Maß für vegetabile Kost, Zink (Zn) ist vor allem in tierischen Produkten enthalten (vgl. EZZO, 1994b).

Es wird das Sr/Ca- sowie das Sr/Zn-Verhältnis zugrunde gelegt (siehe 9.16, Ergebnisse Spurenelementemessung, Seite 312). Untersuchungen an bodengelagerten Knochen zeigen, dass Sr, Zn und Mg heteroionisch ausgetauscht werden, somit also Ca-Bindungsplätze direkt einnehmen und damit Ca freisetzen. Solche Elemente haben eine höhere Aussagekraft als kontaminierende Elemente. Die Ergebnisse können eine sinnvolle Ergänzung bei der Rekonstruktion der Ernährungs- und Lebensgewohnheiten durch die stabilen Isotope sein. Die folgenden Ergebnisse sollten jedoch nicht überinterpretiert werden, da in manchen Untergruppen nur drei Individuen untersucht wurden und z.B. das Alter eines Individuums Einfluss auf die Anreicherung von Schwermetallen im Organismus hat.

Um den Erhaltungszustand der mineralischen Komponente abzuschätzen, wurde das Ca/P-Verhältnis der zu untersuchenden Knochen geprüft. Dieser Quotient ändert sich bei fortschreitender Dekomposition in Abhängigkeit vom Liegemilieu charakteristisch. Das Ca/P-Verhältnis von rezenten Knochen (Trockengewicht) liegt zwischen 2,1 und 2,3. Proben, die weit außerhalb dieser Grenzen liegen, sind für die Spurenelementanalyse eher ungeeignet. Die Messdaten der drei Skelettserien sind im Anhang unter 9.16 Ergebnisse Spurenelementemessung, Seite 312 aufgeführt.

Die Werte für die Bernauer Proben liegen bis auf einen Wert genau zwischen 2,1 und 2,3. Nur Probe B 84 zeigte eine geringe Abweichung: 2,0 für das Ca/P-Verhältnis. Bei der Tasdorfer Skelettserie gab es sechs Individuen, die knapp unter der Grenze des rezenten Materials lagen alle mit einem Verhältnis von 2,0: die Katze, T<sub>MA</sub>240, T<sub>MA</sub>126, T<sub>MA</sub>40, T<sub>MA</sub>37 und T<sub>MA</sub>36, alle anderen Proben wiesen ein Verhältnis zwischen 2,1 und 2,3 auf. Im Falle der Usedomer Serie gab es nur zwei Individuen außerhalb der 2,1 bis 2,3 Grenze: U 180 mit einem Wert von 2,0 und U 190 mit einem Wert von 2,4.

## ERGEBNISSE

Im Folgenden soll nun die Ernährungssituation der drei verschiedenen Bevölkerungen näher betrachtet werden. Dazu wurden auch die Bodenproben und die jeweiligen Tierknochen aus den drei Fundorten miteinbezogen. Auf eine Unterteilung in die Geschlechter oder Altersklassen wird zunächst verzichtet, da die Spurenelemente auf Gruppenniveau betrachtet werden sollen und nur als Trends zu den Isotopenwerten dienen.

Theoretisch sollte sich die Spurenelementcharakteristik des omnivoren Menschen in Bezug auf Sr zwischen derjenigen eines strikten Herbivoren und der eines strikten Karnivoren bewegen. Karnivore zeigen allerdings nicht selten ausgesprochen herbivore Spurenelementprofile. Eine der Hauptursachen hierfür liegt in der Fähigkeit der Karnivoren (und mancher Omnivoren) begründet, Knochen zu verdauen. Da das Skelett Speicherorgan für viele Spurenelemente ist, wird hierdurch der Diskriminierungsprozess faktisch umgangen. Eine Abschätzung z.B. des Fleischanteils in der Nahrung ist daher nur im Vergleich mit einem strikten Herbivoren, wie z.B. einem Rind möglich.

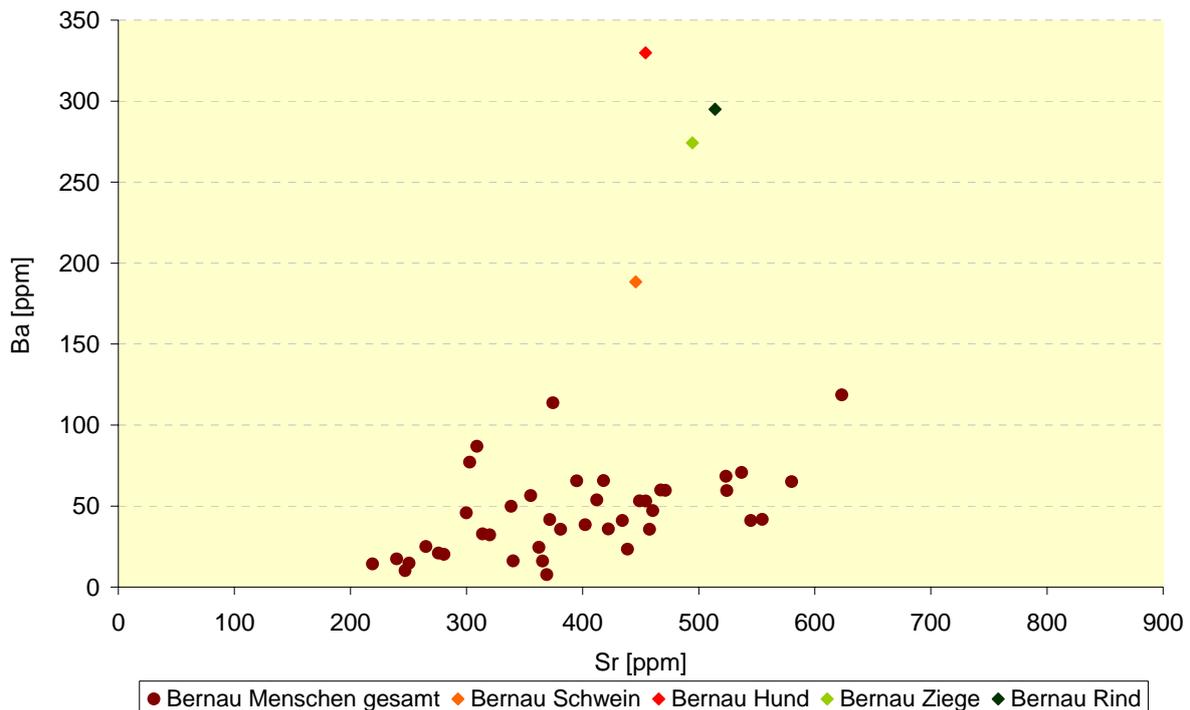
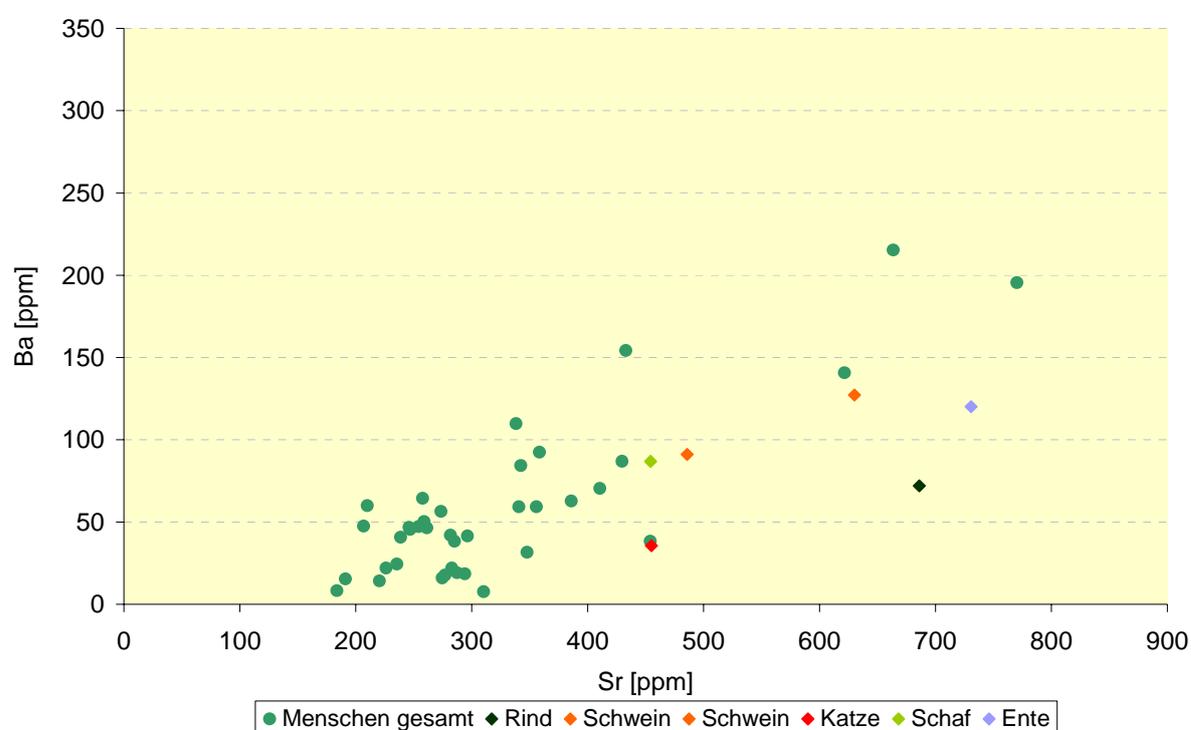


Abbildung 51 Verteilung der Sr- und Ba-Gehalte in den Skelettfunden von *Bernau*  $N_{\text{gesamt Menschen}} = 41$ . Die Sr- und Ba-Gehalte repräsentieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung.

In Abbildung 51 werden die gemessenen Sr- und Ba-Gehalte der Bernauer Bevölkerung, sowie der dort gefundenen Tierskelette in ppm dargestellt. Die Sr- und Ba-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung. Auffallend ist, dass sich die vier gefundenen Tiere in ihren Sr- und Ba-Werten deutlich von denen der humanen Skelette

## ERGEBNISSE

abheben. So wies der Hund 454 ppm Sr und 330 ppm Ba auf, das Bernauer Rind 514 ppm Sr und 295 ppm Ba, die Ziege 495 ppm Sr und 274 ppm Ba und das Schwein 446 ppm Sr und 188 ppm Ba. Die humanen Proben zeigen einen Median von 41 ppm in den Ba-Werten und einen Median von 381 ppm in den Sr-Werten. Es wird eine breite Streuung der Werte deutlich: der kleinste Wert liegt bei 219 ppm Sr und 14 ppm Ba (B 179/1, eine adulte Frau) und der höchste bei 623 ppm Sr und 119 ppm Ba (B 116/2, Infans I). In den Ba-Werten sind weder zwischen Bernau und Tasdorf noch zwischen Bernau und Usedom signifikante Unterschiede feststellbar. Allerdings zeigt sich ein höchst signifikanter Unterschied zwischen Bernau und Tasdorf in den Sr-Werten ( $p \leq 0,001$ ), wohingegen kein signifikanter Unterschied in den Sr-Werten zwischen Bernau und Usedom festzustellen ist.

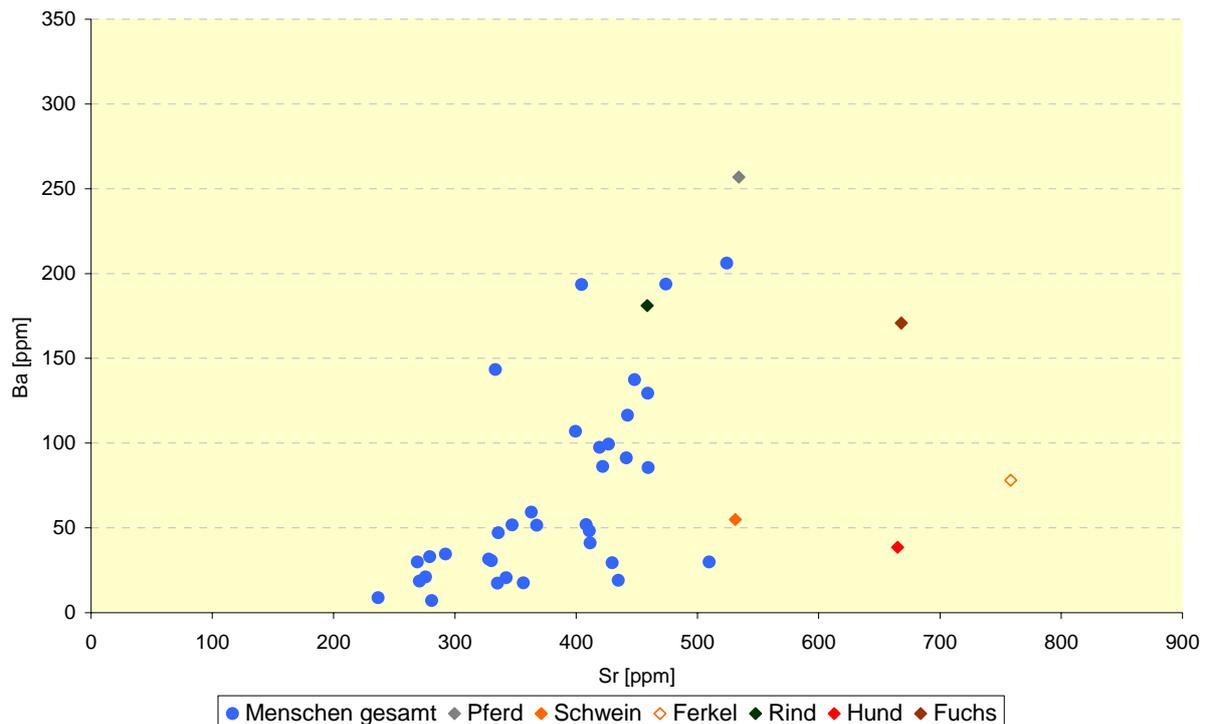


**Abbildung 52: Sr- und Ba-Gehalte der menschlichen und tierischen Individuen in *Tasdorf*** ( $N_{\text{gesamt Menschen}} = 38$ ). Die Sr- und Ba-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung.

Die Tasdorfer Bevölkerung zeigt ein deutlich anderes Bild in der Verteilung ihrer Sr- und Ba-Gehalte als die Bevölkerung aus Bernau: Die Sr-Werte liegen allgemein niedriger, die Ba-Werte allgemein höher als die der Bernauer Individuen, dargestellt in Abbildung 52. Der Median für Ba liegt bei 46 ppm und der Median für Sr bei 283 ppm. Die Ente aus Tasdorf weist 731 ppm Sr und 120 ppm Ba auf; die Messungen der Spurenelemente des einen Tasdorfer Schweines ergaben 486 ppm Sr und 91 ppm Ba, die des anderen Schweines 630 ppm Sr und 127 ppm Ba. Für das Rind wurden 686 ppm Sr und 72 ppm Ba gemessen und für die Katze 455 ppm Sr und 36 ppm Ba. Die Werte des Schafs liegen bei 454 ppm Sr und 87 ppm Ba.

## ERGEBNISSE

Den niedrigsten Wert der humanen Proben ergab T<sub>MA</sub>40, ein maturaer Mann, mit 184 ppm Sr und 8 ppm Ba, der höchste Wert wurde für T<sub>MA</sub>269, ein zweieinhalb bis dreijähriges Kind, mit 770 ppm Sr und 196 ppm Ba gemessen. Es zeigen sich höchst signifikante Unterschiede in den Sr-Werten zwischen Usedom und Tasdorf ( $p \leq 0,001$ ), die Ba-Werte ergeben jedoch keinen signifikanten Unterschied. Auch zwischen Bernau und Tasdorf sind keine signifikanten Unterschiede in den Ba-Werten feststellbar. Die Sr-Unterschiede sind sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).



**Abbildung 53: Usedomer Skelettfunde und ihre Sr- und Ba-Gehalte ( $N_{\text{gesamt Menschen}} = 35$ ). Die Sr- und Ba-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung.**

Auch die Individuen aus Usedom weisen deutlich andere Sr- und Ba-Verhältnisse als die beiden Bevölkerungen vom Festland auf, wie in Abbildung 53 dargestellt. Für das Usedomer Pferd ergaben sich 534 ppm Sr und 257 ppm Ba, das Rind wies 459 ppm Sr und 181 ppm Ba, das Schwein 531 ppm Sr und 55 ppm Ba und das Ferkel 758 ppm Sr und 78 ppm Ba auf. Bei dem Fuchs aus Usedom wurden 669 ppm Sr und 171 ppm Ba und bei dem Hund 665 ppm Sr und 39 ppm Ba gemessen. Noch einmal zum Vergleich: Die Messungen der Spurenelemente des Tasdorfer Schweines ergaben 486 ppm Sr und 91 ppm Ba, die des Ferkels 630 ppm Sr und 127 ppm Ba. Für das Rind aus Tasdorf wurden 686 ppm Sr und 72 ppm Ba gemessen. Der Hund aus Bernau ergab 454 ppm Sr und 330 ppm Ba, das Bernauer Rind 514 ppm Sr und 295 ppm Ba das Schwein aus Bernau 446 ppm Sr und 188 ppm Ba.

Die humanen Proben aus Usedom zeigen die höchsten Werte sowohl in den Sr- als auch in den Ba-Werten. Die Mediane liegen bei 399 ppm für Sr und bei 48 ppm für Ba. Den

## ERGEBNISSE

niedrigsten Wert hatte Individuum U 06, ein maturaer Mann, mit 237 ppm Sr und 9 ppm Ba, den höchsten Wert ergab U 181, ein ca. zweijähriger Junge, mit 524 ppm Sr und 206 ppm Ba. Die Sr-Werte zwischen Usedom und Tasdorf zeigen höchst signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ), wohingegen die Ba- Werte keinerlei signifikante Unterschiede aufwiesen. Zwischen Usedom und Bernau ergaben sich weder für die Ba- noch für die Sr-Werte signifikante Unterschiede.

Die folgenden Grafiken stellen die Zn- und Sr-Gehalte dar, um den pflanzlichen mit dem tierischen Anteil zu vergleichen. Nicht zu vergessen ist hierbei, dass keine Unterteilung in die Altersklassen oder Geschlechter vorgenommen wurde und dass somit auch diejenigen Kinder, die noch gestillt wurden, sich in dieser Grafik wiederfinden. Auf die Ernährung der Frauen und der Kinder, dem Stillverhalten, wird in späteren Grafiken eingegangen.

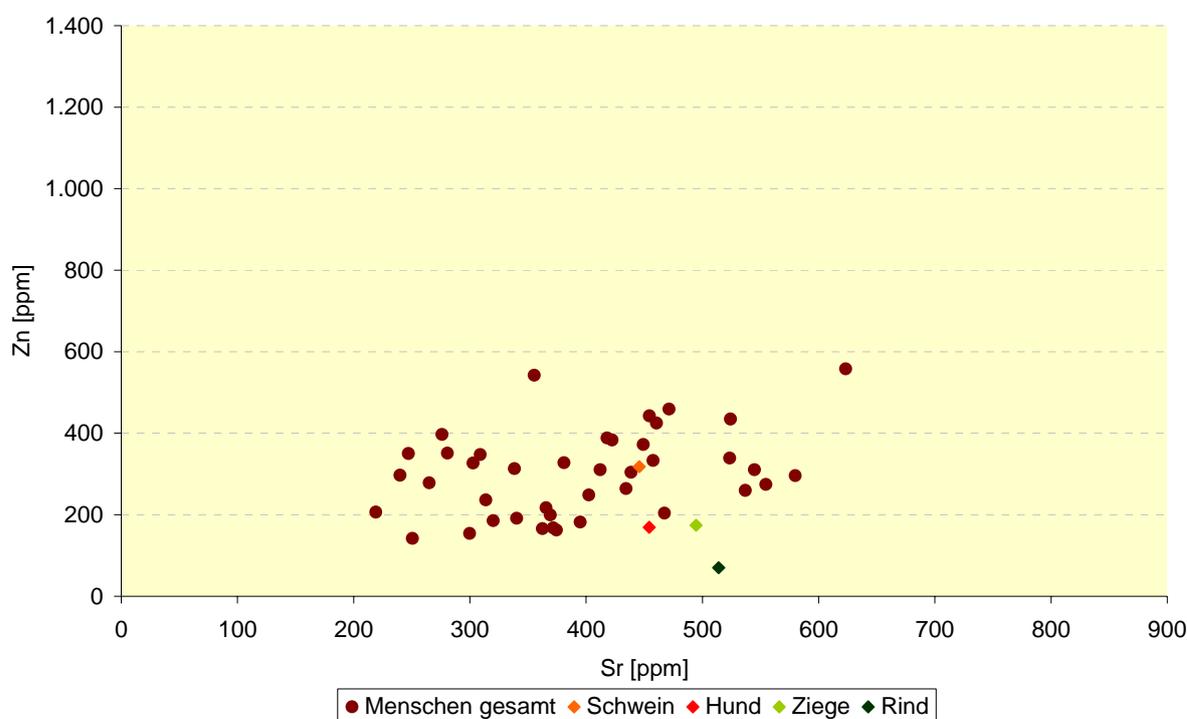


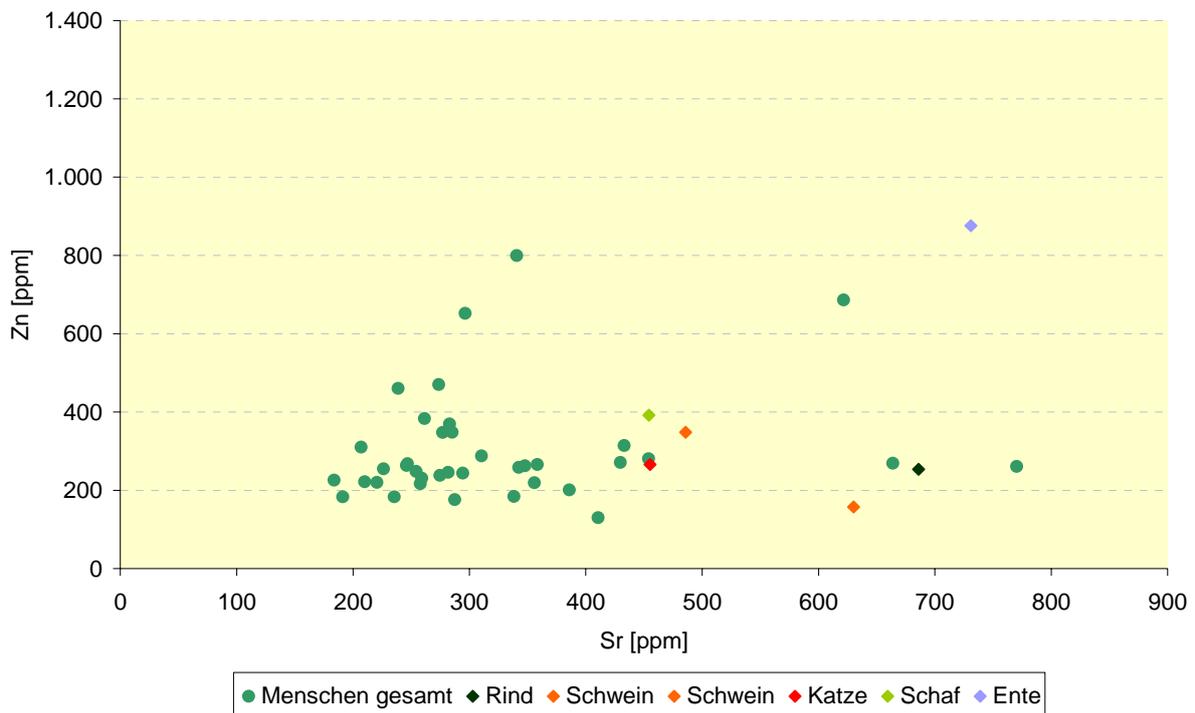
Abbildung 54: Zink- und Strontiumwerte aus *Bernau* (Ngesamt Menschen = 41). Die Sr-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung. Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu.

In Abbildung 54 ist die grafische Darstellung der Zn- und Sr- Werte der menschlichen und tierischen Individuen aus Bernau dargestellt. Die hohen Zn-Werte deuten auf eine Ernährung mit einem großen Fleischanteil hin. Das Bernauer Schwein liegt aufgrund seiner omnivoren Ernährung mit Werten von 446 ppm Sr und 318 ppm Zn inmitten der Werte der humanen Individuen. Das Rind zeigte deutliche herbivore Werte: 514 ppm Sr und 70 ppm Zn. Die Werte der Ziege liegen bei 495 ppm Sr und 179 ppm Zn. Die Ergebnisse der Spurenelemente verifizieren die Ergebnisse der stabilen Isotope aus dem

## ERGEBNISSE

Kollagen für den eher „vegetarischen“, also herbivoren Hund: der Zn-Wert mit 169 ppm lässt nicht auf einen hohen Konsum an fleischlicher Nahrung schließen. Der Sr-Wert für den Hund liegt bei 454 ppm. Die Ergebnisse der humanen Proben weisen eine starke Streuung auf. Die Werte variieren zwischen 219 ppm Sr und 206 ppm Zn für das B 179/1, einer adulten Frau, und 623 ppm Sr und 558 ppm Zn für B 116/2 (Infans I). Die Mediane liegen bei 304 ppm für Zn und bei 381 ppm für Sr.

Die Sr-Werte zwischen Bernau und Tasdorf wiesen höchst signifikante Unterschiede auf ( $p \leq 0,01$ ) In den Sr-Werten zwischen Bernau und Usedom, sowie zwischen den Zn-Werten von Usedom und Tasdorf zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede.



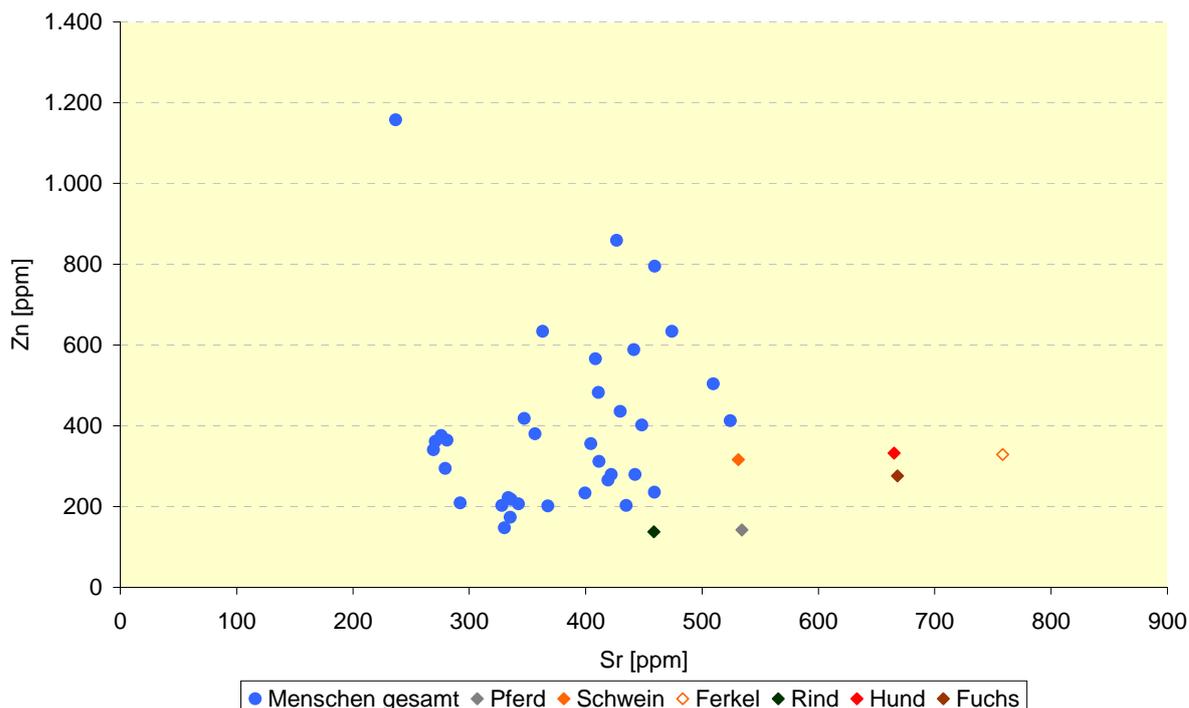
**Abbildung 55: Zink- und Strontiumwerte aus Tasdorf ( $N_{\text{gesamt Menschen}} = 38$ ). Die Sr-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung. Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu.**

Abbildung 55 stellt die Zn- und Sr-Werte der humanen Population sowie der dortigen Tiere aus Tasdorf dar. Es zeigt sich eine hohe Variabilität innerhalb der menschlichen Bevölkerung sowohl innerhalb der Zn-Werte als auch der Sr-Werte und somit deutliche individuelle Differenzen im Konsum von tierischem Eiweiß und pflanzlicher Nahrung. Das Tasdorfer Rind zeigt Werte von 686 ppm Sr und 254 ppm Zn. Die beiden Tasdorfer Schweine zeigen unterschiedliche Werte: 486 ppm Sr und 348 ppm Zn, sowie 630 ppm Sr und 158 ppm. Für die Ente ergeben sich 731 ppm Sr und 876 ppm Zn, das Schaf ergibt 454 ppm Sr und 392 ppm Zn. Die Tasdorfer Katze zeigt interessanterweise niedrigere Zn-Werte als das herbivore Schaf: 266 ppm Zn und 455 ppm Sr. Der Median für Zn der humanen Proben liegt bei 261 ppm, der für Sr liegt bei 283 ppm. Die Sr-Werte streuen zwischen 184 ppm Sr und 226 ppm Zn von T<sub>MA</sub>40, ein maturer Mann,

## ERGEBNISSE

und 770 ppm Sr-Werte und 261 ppm Zn-Werte von T<sub>MA</sub>269; ein zweieinhalb bis drei Jahre altes Mädchen, die Zn-Werte streuen zwischen 130 ppm und 411 ppm Sr von T<sub>MA</sub>349, eine adulte Frau, und 800 ppm Zn und 341 ppm Sr von T<sub>MA</sub>366, ein sieben bis neun Jahre altes Mädchen.

Es bestehen höchst signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) in den Sr-Werten von Tasdorf und Usedom, sowie in den Sr-Werten von Tasdorf und Bernau ( $p \leq 0,01$ ), jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Zn-Werten den Bevölkerungen.



**Abbildung 56: Zink- und Strontiumwerte aus Usedom (N<sub>gesamt Menschen</sub> = 35). Die Sr-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung. Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu.**

In Abbildung 56 sind die Zn- und Sr-Werte der menschlichen Skelette, sowie der gefundenen Tiere aus Usedom dargestellt. Auch hier ist eine sehr hohe Variabilität innerhalb der menschlichen Population zu beobachten. Die Werte streuen zwischen 269 ppm Sr und 341 ppm Zn (U 98, ein maturer Mann), 524 ppm Sr und 412 ppm Zn (U 181, ein seniler Mann), 412 ppm Sr und 859 ppm Zn (U 105, eine senile Frau). Es gibt einen „Ausreißer“: U 06, ein maturer Mann, mit 237 ppm Sr und 1.157 ppm Zn. Die Mediane liegen für Sr bei 399 ppm und für Zn bei 355 ppm. Somit weisen die Usedomer die höchsten Sr- und Zn-Werte in ihren Medianen auf. Betrachtet man allerdings die Werte einzeln, ergibt sich ein anderes Bild: Die Zn-Werte der Bernauer liegen alle über denen der Usedomer. Trotzdem bestehen keine signifikanten Unterschiede in den Zn- und Sr-Werten von Bernau und Usedom, jedoch höchst signifikante Unterschiede in den Sr-Werten von Usedom und Tasdorf ( $p \leq 0,001$ ).

## ERGEBNISSE

Die Werte für das Rind betragen 459 ppm Sr und 138 ppm Zn, die für das Pferd 534 ppm Sr und 142 ppm Zn. Der Usedomer Fuchs wies Werte von 668 ppm Sr und 276 ppm Zn auf, der Hund 665 ppm Sr und 333 ppm Zn. Für das Schwein ergaben sich 531 ppm Sr und 316 ppm Zn, für das Ferkel 758 ppm Sr und 329 ppm Zn. Zum Vergleich: Das Tasdorfer Rind zeigte Werte von 686 ppm Sr und 254 ppm Zn. Die beiden Tasdorfer Schweine zeigten unterschiedliche Werte: 486 ppm Sr und 348 ppm Zn, sowie 630 ppm Sr und 158 ppm. Das Bernauer Rind zeigte Werte von 514 ppm Sr und 70 ppm Zn, das Bernauer Schwein Werte von 446 ppm Sr und 318 ppm Ba. Der Bernauer Hund hatte einen Zn-Wert von 169 ppm und einen Sr-Wert von 454 ppm.

Die Bevölkerung von Bernau ist mit insgesamt erhöhten Zn-Werten bei hohen Sr-Gehalten durch eine Ernährungsweise gekennzeichnet, die reich an tierischen Nahrungsmitteln wie Fleisch, Milch und Milchprodukten war. Demgegenüber zeigt die Bevölkerung von Tasdorf durch die eher niedrigeren Zn-Werte eine Abhängigkeit von der vegetabilen Hauptkomponente.

Strontium ist ein nicht-essentielles Spurenelement, welches nach Absorption spezifisch im Skelett gespeichert wird und dort an Stelle von Calcium-Gitterplätzen in den Hydroxylapatit integriert wird. Erwachsene absorbieren nur rund ein Viertel des mit der Nahrung angebotenen Sr, so dass mit Hilfe eines Diskriminierungsfaktors aus dem gemessenen Sr/Ca-Verhältnis des Skelettes auf den Sr/Ca-Gehalt der Nahrung geschlossen werden kann:

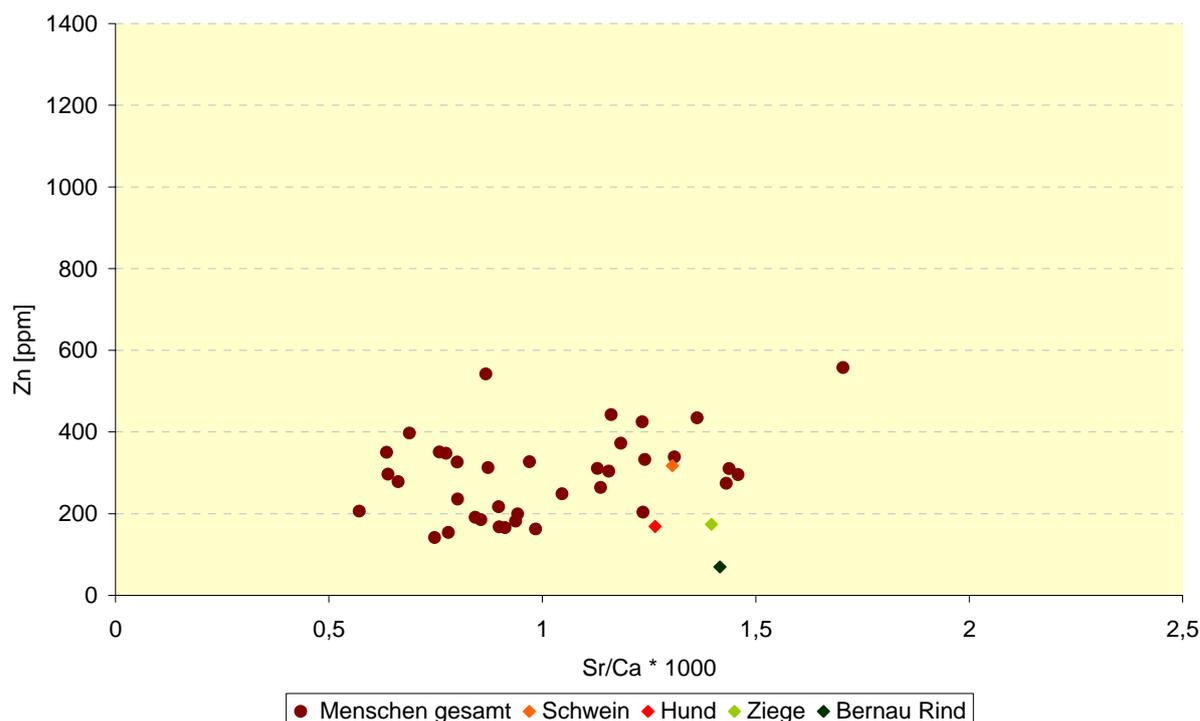
$$\text{„Observed ratio“ (OR): } \quad \text{Sr/Ca}_{\text{Knochen}} : 0,25 = \text{Sr/Ca}_{\text{Nahrung}}$$

Je niedriger die OR, desto höher ist der Anteil an tierischen Proteins in der Nahrung. Dies gilt für Individuen über zwei Jahre, da in einem geringeren Alter noch mit der Fütterung von (Mutter-) Milch zu rechnen ist.

Die Abschätzung des Anteils vegetabiler und tierischer Nährstoffe in der Grundnahrung der untersuchten Bevölkerungen kommt letztlich einer Einordnung in die Trophiestufen gleich. Je geringer der Fleischanteil der Nahrung, desto mehr tendiert das Spurenelementspektrum in Richtung der Konzentration, wie sie typisch für herbivore Organismen ist.

In den folgenden Grafiken werden nur diejenigen Individuen aus Bernau, Tasdorf und Usedom, die älter als zwei Jahre sind, dargestellt.

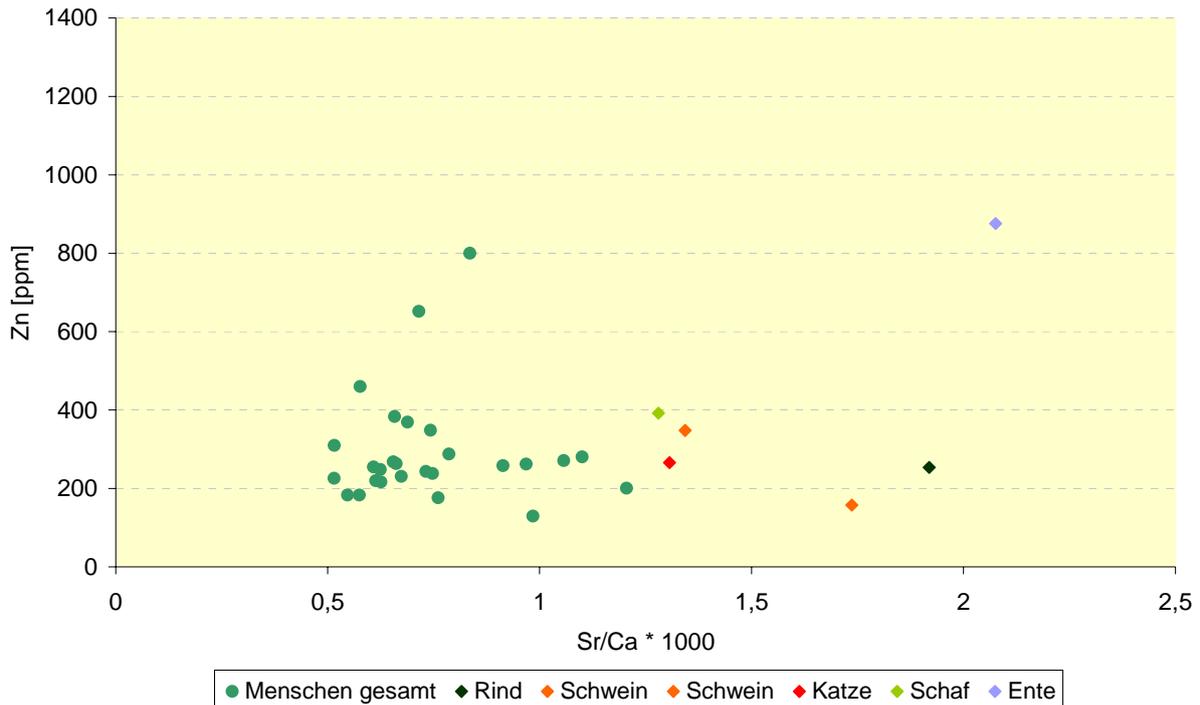
## ERGEBNISSE



**Abbildung 57: Sr/Ca-Quotient und die Verteilung von Zink in den Skelettfunden über zwei Jahre von Bernau ( $N_{\text{gesamt Menschen}} = 37$ ). Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu. Aus dem gemessenen Sr/Ca-Verhältnis des Skelettes kann auf den Sr/Ca-Gehalt der Nahrung und somit auf den pflanzlichen Anteil geschlossen werden.**

In Abbildung 57 werden die gemessenen Zn-Gehalte und der Sr/Ca-Quotient der Bernauer Bevölkerung sowie der dort gefundenen Tierskelette dargestellt. Der Sr/Ca-Quotient steigt mit dem pflanzlichen Anteil der Nahrung, die Zn-Werte mit dem tierischen Anteil. Der Median des Sr/Ca-Quotienten der humanen Proben beträgt 0,94, der Median von Zn liegt bei 304 ppm. Es wird eine breite Streuung der Werte deutlich: der kleinste Wert liegt bei 206 ppm für Zn und 0,57 für den Sr/Ca-Quotienten (B 179/1, eine adulte Frau) und der höchste bei 542 ppm Zn und für den Ba/Sr-Quotienten bei 0,87 (B 87, eine senile Frau). Im Sr/Ca-Quotienten von Bernau und Tasdorf waren höchst signifikante Unterschiede feststellbar ( $p \leq 0,001$ ), im Sr/Ca-Quotienten von Bernau und Usedom traten jedoch keine signifikanten Unterschiede auf, genauso wenig wie in den Zn-Werten von Bernau und Tasdorf als auch von Bernau und Usedom. Das Bernauer Schwein ergab Werte von 318 ppm Zn und 1,3 für den Sr/Ca-Quotienten. Das Rind zeigt deutlich herbivorere Werte: 1,4 für den Sr/Ca-Quotienten und 70 ppm für Zn. Die Werte der Ziege liegen bei 179 ppm für Zn und 1,4 für Sr/Ca. Der Zn-Wert des Hundes lag bei 169 ppm, der Sr/Ca-Quotient bei 1,2.

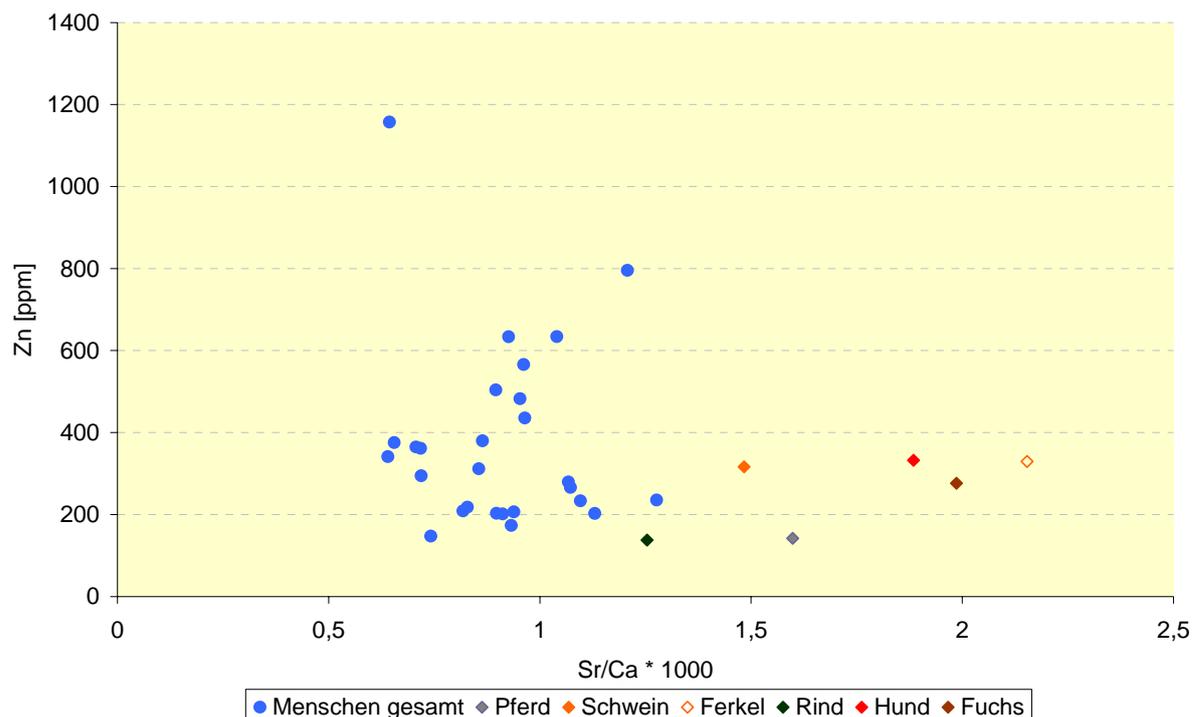
## ERGEBNISSE



**Abbildung 58: Sr/Ca-Quotient und die Verteilung von Zink in den Skelettfunden über zwei Jahre von Tasdorf ( $N_{\text{gesamt Menschen}} = 27$ ). Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu. Aus dem gemessenen Sr/Ca-Verhältnis des Skelettes kann auf den Sr/Ca-Gehalt der Nahrung und somit auf den pflanzlichen Anteil geschlossen werden.**

Die Tasdorfer Bevölkerung zeigt ein deutlich anderes Bild in der Verteilung ihrer Sr/Ca-Quotienten und ihrer Zn-Gehalte als die Bevölkerung aus Bernau: Die Sr/Ca-Quotienten liegen allgemein niedriger, genauso wie die Zn-Werte, dargestellt in Abbildung 58. Der Median für Sr/Ca liegt bei 0,73 und der Median für Zn bei 261 ppm. Das Tasdorfer Rind ergab Werte von 1,9 für Sr/Ca und 254 ppm Zn. Die beiden Tasdorfer Schweine zeigten unterschiedliche Werte: 1,3 für Sr/Ca und 348 ppm Zn, sowie 1,7 für Sr/Ca und 158 ppm. Für die Ente ergaben sich 2,1 für Sr/Ca und 876 ppm für Zn; das Schaf ergab 1,2 für Sr/Ca und 392 ppm für Zn. Die Tasdorfer Katze zeigte interessanterweise niedrigere Zn-Werte als das herbivore Schaf: 266 ppm Zn und 1,3 für Sr/Ca. Den niedrigsten Wert der humanen Proben ergab T<sub>MA349</sub>, eine mature Frau, mit 130 ppm Zn und 0,98 für Sr/Ca, der höchste Wert wurde für T<sub>MA366</sub>, ein sieben- bis neunjähriges Mädchen, mit 800 ppm Zn und 0,84 für Sr/Ca gemessen. Es zeigten sich hoch signifikante Unterschiede in den Sr/Ca-Quotienten zwischen Usedom und Tasdorf ( $p \leq 0,01$ ), die Zn-Werte ergaben jedoch keinen signifikanten Unterschied. Auch zwischen Bernau und Tasdorf waren keine signifikanten Unterschiede in den Zn-Werten feststellbar. Die Sr/Ca-Quotienten waren allerdings höchst signifikant verschieden ( $p \leq 0,001$ ).

## ERGEBNISSE



**Abbildung 59:** Sr/Ca-Quotient und die Verteilung von Zink in den Skelettfunden über zwei Jahre von Usedom (Ngesamt Menschen = 27). Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu. Aus dem gemessenen Sr/Ca-Verhältnis des Skelettes kann auf den Sr/Ca-Gehalt der Nahrung und somit auf den pflanzlichen Anteil geschlossen werden.

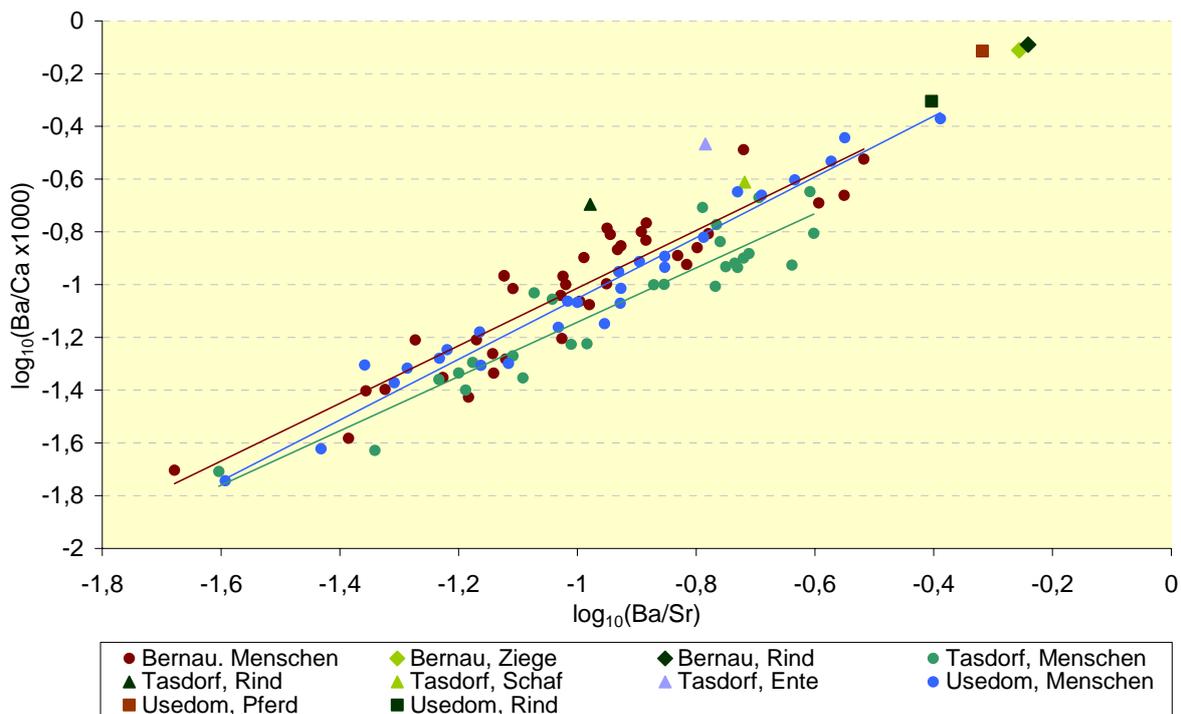
In Abbildung 59 sind die Zn- und Sr-Werte der humanen Proben sowie der Tiere aus Usedom dargestellt. Auch hier ist eine sehr hohe Variabilität innerhalb der menschlichen Population zu beobachten. Die Werte streuen zwischen 0,64 für Sr/Ca und 341 ppm Zn (U 98, ein maturaer Mann) und 1,4 für Sr/Ca und 859 ppm Zn (U 105, eine senile Frau). Es gibt einen „Ausreißer“: U 06, ein maturaer Mann, mit 0,64 für Sr/Ca und 1.157 ppm für Zn. Die Mediane liegen für den Sr/Ca-Quotienten bei 0,94 und für Zn bei 355 ppm. Die Zn-Werte der Usedomer liegen alle unter denen der Bernauer. Trotzdem bestehen keine signifikanten Unterschiede in den Zn-Werten und Sr/Ca-Quotienten von Bernau und Usedom, jedoch hoch signifikante Unterschiede in den Sr/Ca-Quotienten von Usedom und Tasdorf ( $p \leq 0,01$ ).

Die Werte für das Rind betragen 1,3 für Sr/Ca und 138 ppm für Zn, die für das Pferd 1,6 für Sr/Ca und 142 ppm für Zn. Der Usedomer Fuchs wies Werte von 2,0 für Sr/Ca und 276 ppm für Zn, der Hund 1,9 für Sr/Ca und 333 ppm für Zn auf. Für das Schwein ergaben sich 1,5 für Sr/Ca und 316 ppm für Zn, für das Ferkel 2,2 für Sr/Ca und 329 ppm für Zn. Zum Vergleich: Das Tasdorfer Rind zeigte Werte von 1,9 für Sr/Ca und 254 ppm Zn. Die beiden Tasdorfer Schweine zeigten unterschiedliche Werte: 1,3 für Sr/Ca und 348 ppm Zn, sowie 1,7 für Sr/Ca und 158 ppm. Das Bernauer Rind zeigte Werte von 1,4 für den Sr/Ca-Quotienten und 70 ppm Zn, das Bernauer Schwein Werte

## ERGEBNISSE

von 1,3 für den Sr/Ca-Quotienten und 318 ppm Ba. Der Bernauer Hund hatte einen Zn-Wert von 169 ppm und einen Sr/Ca-Quotienten von 1,2.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der Ba- und Sr-Konzentrationen in den Skeletten der Individuen über zwei Jahren von Bernau, Tasdorf und Usedom. Als Vergleichswerte sind die entsprechenden Elementgehalte der strikten Herbivoren angegeben. Die Elemente Ba und Sr sind in der Nahrungskette miteinander vergesellschaftet und werden beide überwiegend aus vegetabilen Nahrungsmitteln bezogen. Im Gegensatz zu Ba ist Sr zusätzlich in marinen Ökosystemen angereichert. Ba/Sr und Ba/Ca lassen marine und terrestrische Nahrungsquellen unterscheiden. Im Gegensatz zu den niedrigen Ba-Werten im Meer, ist die Skala zwischen der Ba/Sr- und der Ba/Ca-Quotienten der marinen und terrestrischen Umgebung sehr groß. Um die Werte besser vergleichen zu können, sind die Daten in der folgenden Grafik daher logarithmisch aufgetragen.



**Abbildung 60:** Verteilung der Ba- und Sr-Konzentrationen in den Skeletten der Individuen über zwei Jahren von *Bernau, Tasdorf und Usedom*. Als Vergleichswerte sind die entsprechenden Elementgehalte der strikten Herbivoren angegeben. Ba/Sr und Ba/Ca lassen marine und terrestrische Nahrungsquellen unterscheiden.

In Abbildung 60 sind die über zwei Jahre alten menschlichen Individuen aller drei Skelettserien, sowie die an den Orten gefundenen Herbivoren dargestellt. Es bestehen signifikante Unterschiede in den  $\log_{10}$  Ba/Sr-Werten der männlichen Infans I von Bernau und Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ), sowie zwischen den Mädchen der Infans I von Bernau und Usedom. Auch die maturen Frauen aus Bernau und Usedom wiesen signifikante

## ERGEBNISSE

Unterschiede in den  $\log_{10}$  Ba/Sr-Werten auf ( $p \leq 0,05$ ). Sowohl in den  $\log_{10}$  Ba/Sr-Werten als auch den  $\log_{10}$  (Ba/Ca\*1000)-Werten unterscheiden sich die Mädchen der Altersklasse Infans I aus Usedom signifikant von den adulten Frauen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ) und sogar hoch signifikant in beiden Werten von den senilen Frauen ( $p \leq 0,01$ ). Dagegen unterscheiden sich die Usedomer Mädchen nur in den  $\log_{10}$  (Ba/Ca\*1000)-Werten von den maturen Frauen aus Usedom signifikant ( $p \leq 0,05$ ). In Usedom unterscheiden sich die adulten Männer sich von den maturen Männern ebenfalls signifikant in den  $\log_{10}$  (Ba/Ca\*1000)-Werten ( $p \leq 0,05$ ) und die maturen Frauen von den senilen Frauen in den  $\log_{10}$  Ba/Sr-Werten.

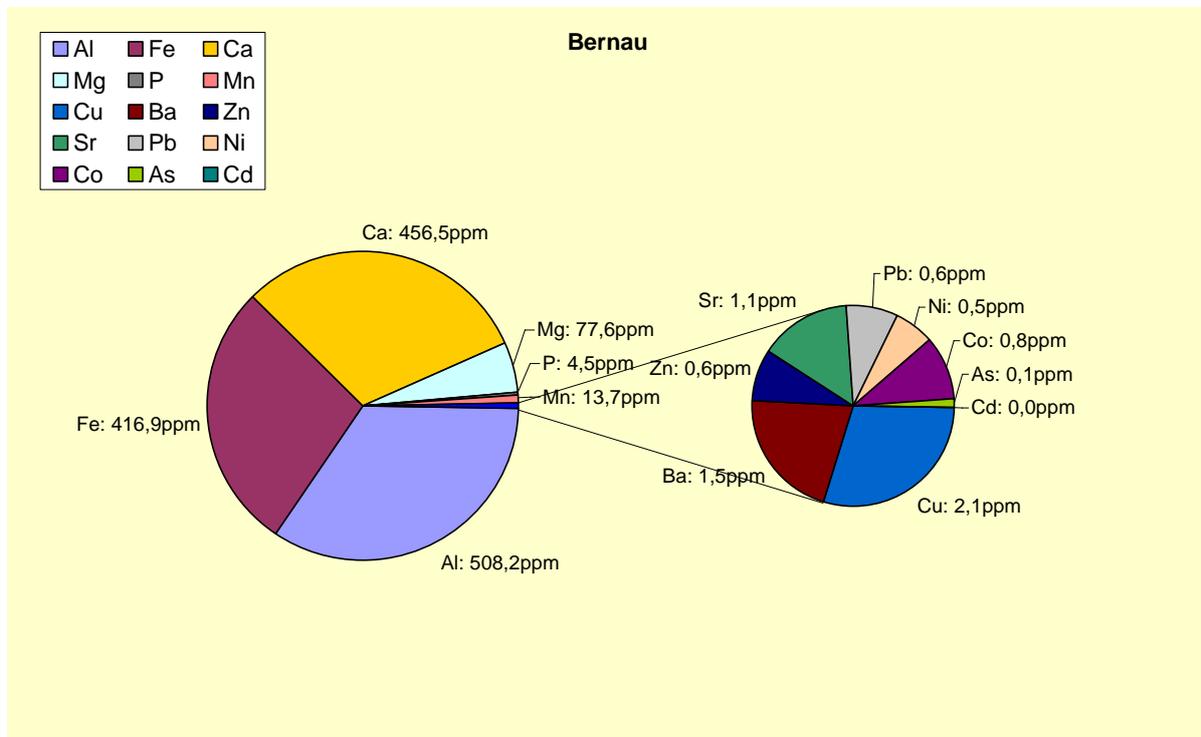
Ansonsten kann aber kein Unterschied zwischen einer im Land lebenden (Bernau, Tasdorf) und einer am Meer lebenden Bevölkerung (Usedom) festgestellt werden. Anscheinend ernährten sich die Usedomer nicht marin, was auch den Ergebnissen der stabilen Isotope entsprechen würde.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> vgl. hierzu die Diskussionstexte 5.7 Kindheit im Mittelalter, Seite 162 und 5.10.3 Das Abstillen der Kinder in Usedom, Seite 232.

### 4.5.1 Spurenelemente in den Bodenproben

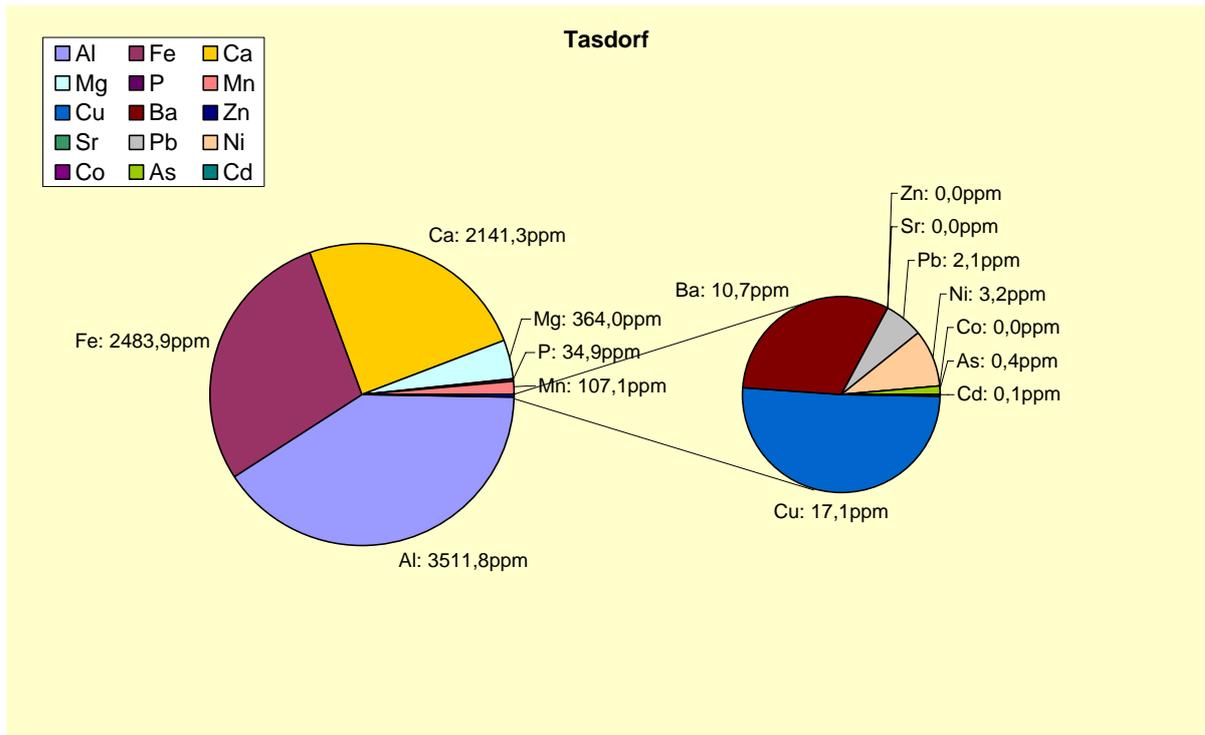
Die folgenden Abbildungen Abbildung 61, Abbildung 62 und Abbildung 63 stellen die in den Böden aus Bernau, Tasdorf und Usedom gemessenen Spurenelemente grafisch dar.



**Abbildung 61: Im Boden von *Bernau* enthaltene Spurenelemente. Ein gewisser Anteil von Schwermetallen kommt in nahezu jedem Boden vor – zum einen als natürlicher Bestandteil, zum anderen angereichert durch Aktivitäten des Menschen. Im Wechselspiel aller physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren entstehen entsprechend den jeweiligen lokalen Gegebenheiten unterschiedliche Bodenarten. Der Gehalt an Spurenelementen im Boden ist sehr stark vom Standort, d.h. vom Ausgangsmaterial (Verwitterung) abhängig.**

Die Ergebnisse der Bodenanalyse aus Bernau sind in Abbildung 61 grafisch dargestellt. Auffällig ist der hohe Anteil von Aluminium mit 508 ppm und Eisen mit 417 ppm, sowie Calcium mit 456 ppm. Die für die Analyse der bodengelagerten Knochen relevanten Spurenelemente Sr, Ba und Zn sind jedoch nur in sehr geringen Mengen nachgewiesen worden: 1 ppm Zn, 1 ppm Sr und 2 ppm Ba. Auch Arsen mit 0,09 ppm, und Kobalt mit 0,8 ppm zeigen nur Spuren im Boden. Cadmium wurde sogar gar nichts gefunden.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 62:** Im Boden von *Tasdorf* enthaltene Spurenelemente. Ein gewisser Anteil von Schwermetallen kommt in nahezu jedem Boden vor – zum einen als natürlicher Bestandteil, zum anderen angereichert durch Aktivitäten des Menschen. Im Wechselspiel aller physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren entstehen entsprechend den jeweiligen lokalen Gegebenheiten unterschiedliche Bodenarten. Der Gehalt an Spurenelementen im Boden ist sehr stark vom Standort, d.h. vom Ausgangsmaterial (Verwitterung) abhängig.

In Abbildung 62 sind die Spurenelementergebnisse des Bodens aus Tasdorf dargestellt. Aluminium mit 3512 ppm, Eisen mit 2484 ppm und Calcium mit 2141 ppm weisen die höchsten Werte aus; damit ist der Tasdorfer Wert für Aluminium mehr als sieben mal so hoch wie der aus Bernau, der Calcium-Wert mehr als fünfmal so hoch wie der aus Bernau und der Eisenwert etwa sechsmal so hoch wie der Bernauer Wert. Dagegen sind Sr und Zn, sowie Kobalt überhaupt nicht nachgewiesen worden. Ba wurde mit 11 ppm gemessen. Arsen war nur mit 0,4 ppm und Cadmium mit 0,1 ppm vertreten. Der Kupferwert ist mehr als achtmal so hoch wie in der Bernauer Bodenprobe. Auch Blei weist mit immerhin 11 ppm recht hohe Werte für eine Bodenprobe auf.

## ERGEBNISSE

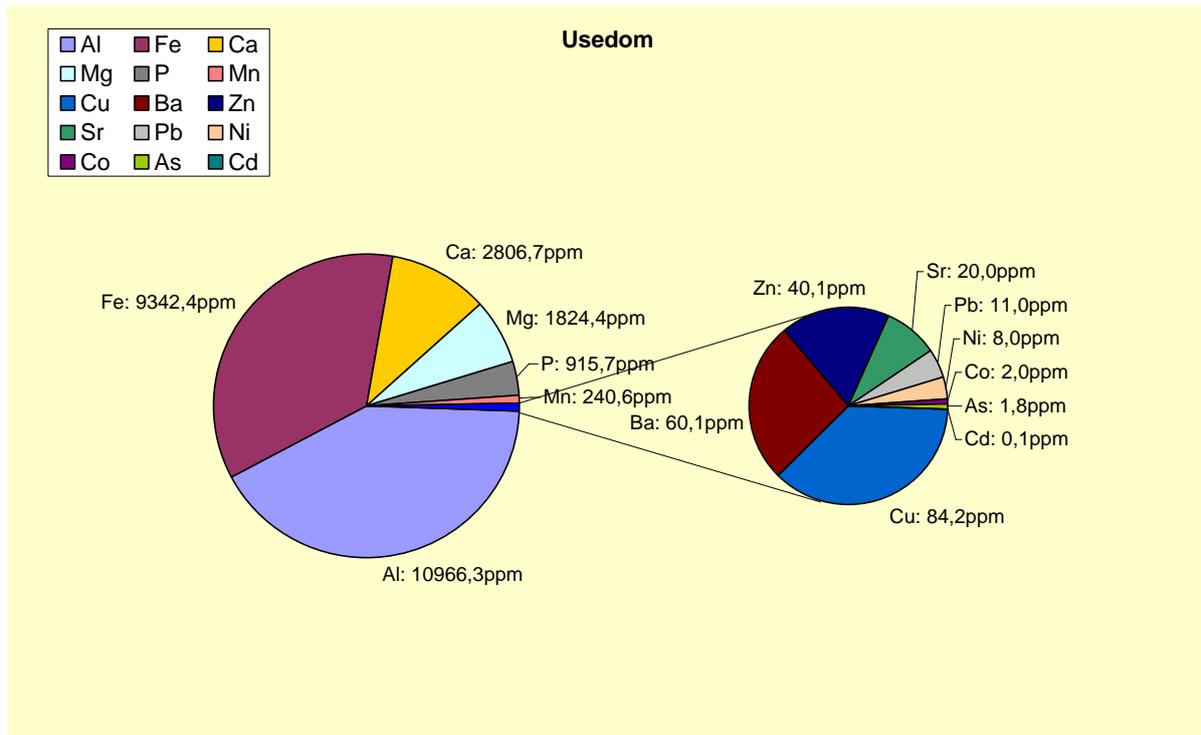


Abbildung 63: Im Boden von *Usedom* enthaltene Spurenelemente. Ein gewisser Anteil von Schwermetallen kommt in nahezu jedem Boden vor – zum einen als natürlicher Bestandteil, zum anderen angereichert durch Aktivitäten des Menschen. Im Wechselspiel aller physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren entstehen entsprechend den jeweiligen lokalen Gegebenheiten unterschiedliche Bodenarten. Der Gehalt an Spurenelementen im Boden ist sehr stark vom Standort, d.h. vom Ausgangsmaterial (Verwitterung) abhängig.

Die Analyse der Spurenelemente aus dem Usedomer Boden, dargestellt in Abbildung 63, ergab ebenfalls sehr hohe Werte für Aluminium mit 10966 ppm, für Eisen mit 9342 ppm und für Calcium mit 2807 ppm. Ebenfalls sehr hoch vertreten war Magnesium mit 1824 ppm. Die Werte für Sr liegen bei 20 ppm und Ba bei 60 ppm, was die höchsten Werte dieser beiden Elemente in den drei Bodenproben darstellt. Auch Kupfer weist im Usedomer Boden den höchsten Wert der drei unterschiedlichen Bodenproben mit 84 ppm auf.

Die größten Anteile haben in allen drei Böden die Elemente Al und Fe.

### 4.5.2 Spurenelementgehalte in den einzelnen Proben

In den folgenden Grafiken werden die gemessenen Spurenelemente unterteilt in die jeweiligen Bodenproben und die Mediane der untersuchten humanen sowie tierischen Proben dargestellt. Keine Balken in einigen Kategorien erklären sich dadurch, dass z.B. in Usedom keine Individuen der Altersklasse Infans II untersucht wurden und dass nicht in jeder Grablage die gleichen Tierarten gefunden wurden. So wurden z.B. eine Ente, eine Katze und ein Schaf nur in Tasdorf gefunden, während die eine Ziege nur in Bernau gefunden wurde, in Usedom dagegen ein Pferd und ein Fuchs ausgewählt

werden konnten. Schweine und Rinder konnten aus allen drei Fundorten analysiert werden. Weiterhin entstanden natürlich auch keine Balken, wenn das entsprechende Spurenelement nicht nachgewiesen wurde.

Auf Balkendiagramme für die Elemente Phosphor, Eisen, Calcium und Aluminium wurde im Ergebnisteil verzichtet, da sie im Boden in hohen Mengen vorkamen und somit deren diagenetischer Einfluss auf die analysierten Spurenelemente in den Knochenproben nicht ausgeschlossen werden konnte. Die Diagramme zu diesen Elementen befinden sich im Anhang unter Balkendiagramme.

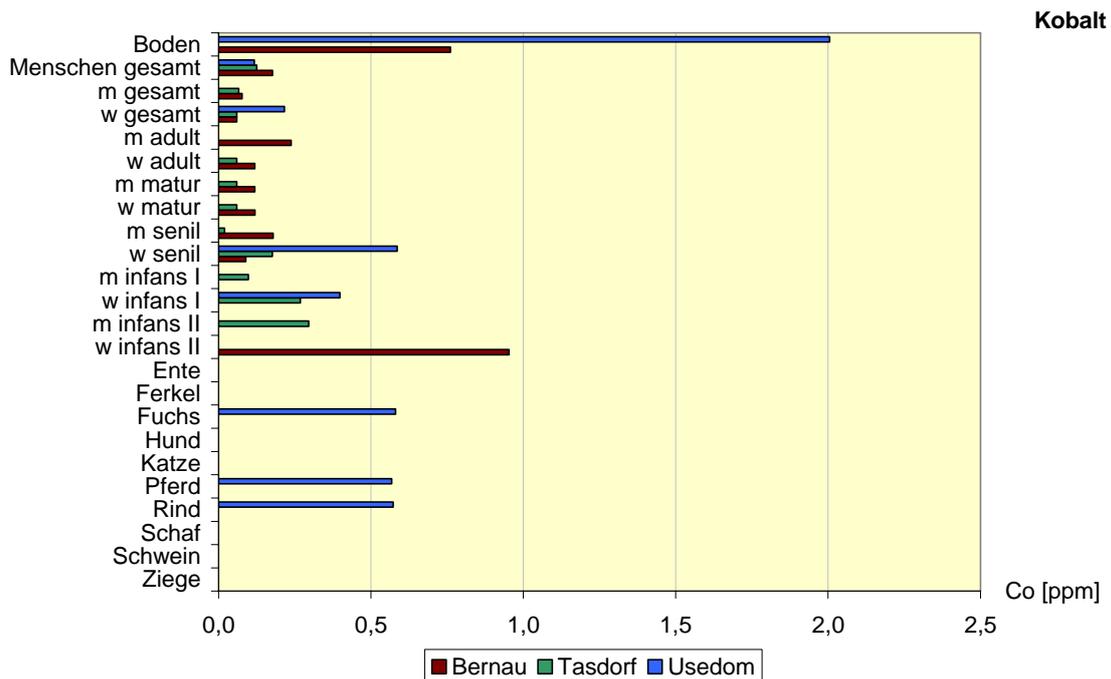
Differentielle Ernährungsgewohnheiten unterscheiden nicht nur ganze Bevölkerungen, sondern gegebenenfalls auch einzelne Subgruppen einer Population. Gruppen von Individuen, deren Bestattungssituation eine soziale Stratifizierung der Bevölkerung erkennen lässt, weisen oft auch unterschiedliche Spurenelementgehalte auf. In der Regel weisen die differentiellen Verteilungsmuster auf einen verbesserten Zugriff der privilegierten Schicht auf qualitativ hochwertigere Kost hin, was z.B. für die städtische Bernauer Bevölkerung im Vergleich zu dem Dorf Tasdorf anzunehmen ist.

Kobalt ist Bestandteil des Vitamin B 12 und in allen Ernährungsformen anzutreffen.

Die Bodenprobe aus Bernau ergab 0,8 ppm Co; in der Tasdorfer Bodenprobe konnte kein Co ermittelt werden; der Boden aus Usedom weist 2,0 ppm Co auf, wie in Abbildung 64 dargestellt wird. Alle menschlichen Proben aus Bernau weisen im Median 0,2 ppm Co auf, die menschlichen Proben aus Tasdorf zeigten 0,1 ppm Co und waren somit signifikant unterschiedlich ( $p \leq 0,05$ ) zu denjenigen aus Usedom mit 0,1 ppm Co im Median ( $p \leq 0,01$ ). Die Bernauer Bevölkerung ist in ihren Co-Werten sogar höchst signifikant unterschiedlich zu der Bevölkerung aus Tasdorf.

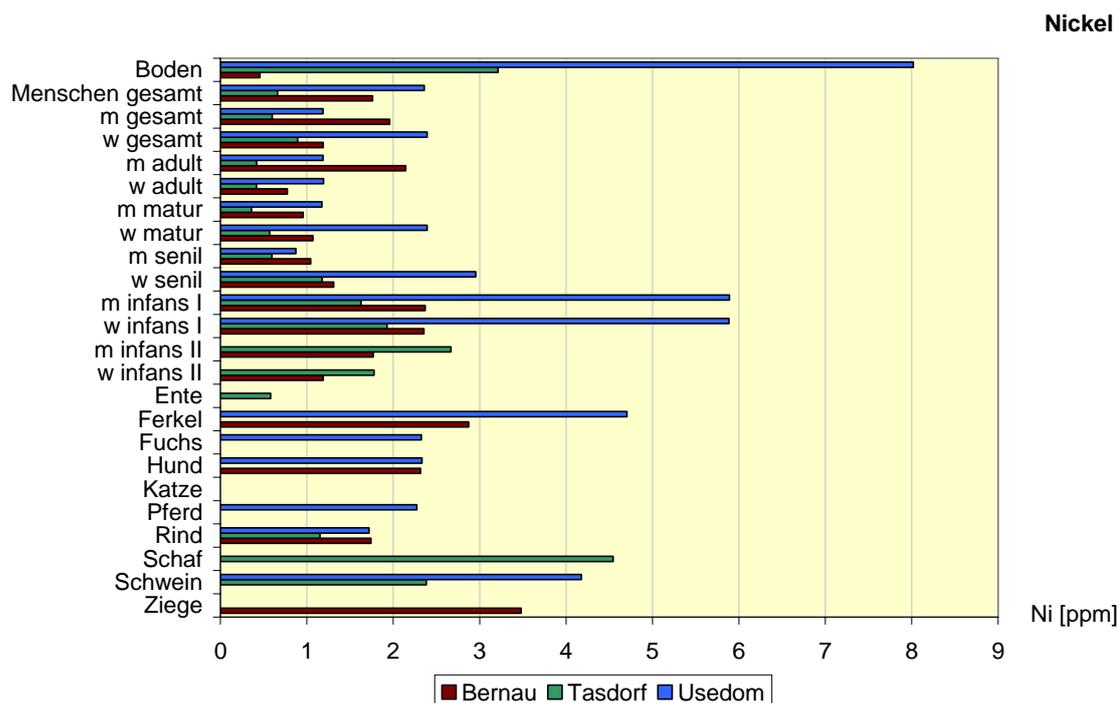
Die adulten Frauen aus Bernau und die adulten Frauen aus Usedom zeigen eine Signifikanz in den Co-Unterschieden ( $p \leq 0,05$ ). Es gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den Bernauer und den Tasdorfer Frauen ( $p \leq 0,05$ ). 0,2 ppm Co wurden bei den senilen Männern aus Bernau gemessen. Bei der Tasdorfer Bevölkerung gibt es nur einen senilen Mann mit Co-Werten: T<sub>MA</sub>105 mit 0,06 ppm, was einen signifikanten Unterschied zu den senilen Männern aus Bernau darstellt ( $p \leq 0,05$ ). Bei den Infans II aus Bernau wurde nur für ein Mädchen (B 152) Co ermittelt: 0,95 ppm, was einen signifikanten Unterschied zu den Senilen und auch zu den Maturen, sowie zu den Adulten aus Bernau darstellt ( $p \leq 0,05$ ).

## ERGEBNISSE



**Abbildung 64:** Ermitteltes Kobalt in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Kobalt ist für die menschliche Ernährung ein essentielles Spurenelement als Bestandteil von Vitamin B 12 (Cobalamin), welches beim gesunden Menschen von den Darmbakterien direkt aus Kobalt-Ionen gebildet werden kann. Keine Balken in einigen Kategorien erklären sich zum einen dadurch, dass z.B. in Usedom keine Individuen der Altersklasse Infans II untersucht wurden und dass nicht in jeder Grablage gleiche Tierarten gefunden wurden. ( $N_{\text{Bernau gesamt}} = 41$ ,  $N_{\text{Bernau gesamt } \text{♂♂}} = 22$ ,  $N_{\text{Bernau gesamt } \text{♀♀}} = 17$ ,  $N_{\text{Bernau Infans I } \text{♂♂}} = 10$ ,  $N_{\text{Bernau Infans I } \text{♀♀}} = 6$ ,  $N_{\text{Bernau Infans II } \text{♂♂}} = 2$ ,  $N_{\text{Bernau Infans II } \text{♀♀}} = 1$ ,  $N_{\text{Bernau adult } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Bernau adult } \text{♀♀}} = 3$ ,  $N_{\text{Bernau matur } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Bernau matur } \text{♀♀}} = 3$ ,  $N_{\text{Bernau senil } \text{♂♂}} = 4$ ,  $N_{\text{Bernau senil } \text{♀♀}} = 4$ ;  $N_{\text{Tasdorf gesamt}} = 38$ ,  $N_{\text{Tasdorf gesamt } \text{♂♂}} = 17$ ,  $N_{\text{Tasdorf gesamt } \text{♀♀}} = 21$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans I } \text{♂♂}} = 6$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans I } \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans II } \text{♂♂}} = 1$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans II } \text{♀♀}} = 1$ ,  $N_{\text{Tasdorf adult } \text{♂♂}} = 4$ ,  $N_{\text{Tasdorf adult } \text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{Tasdorf matur } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Tasdorf matur } \text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{Tasdorf senil } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Tasdorf senil } \text{♀♀}} = 2$ ;  $N_{\text{Usedom gesamt}} = 38$ ,  $N_{\text{Usedom gesamt } \text{♂♂}} = 17$ ,  $N_{\text{Usedom gesamt } \text{♀♀}} = 21$ ,  $N_{\text{Usedom Infans I } \text{♂♂}} = 6$ ,  $N_{\text{Usedom Infans I } \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{\text{Usedom Infans II } \text{♂♂}} = 1$ ,  $N_{\text{Usedom Infans II } \text{♀♀}} = 1$ ,  $N_{\text{Usedom adult } \text{♂♂}} = 4$ ,  $N_{\text{Usedom adult } \text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{Usedom matur } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Usedom matur } \text{♀♀}} = 4$ ,  $N_{\text{Usedom senil } \text{♂♂}} = 3$ ,  $N_{\text{Usedom senil } \text{♀♀}} = 2$ ). Eine Ziege wurde nur in Bernau ausgegraben; Ente, Katze und Schaf wurden nur in Tasdorf gefunden; aus Usedom stammen Pferd und Fuchs.

## ERGEBNISSE



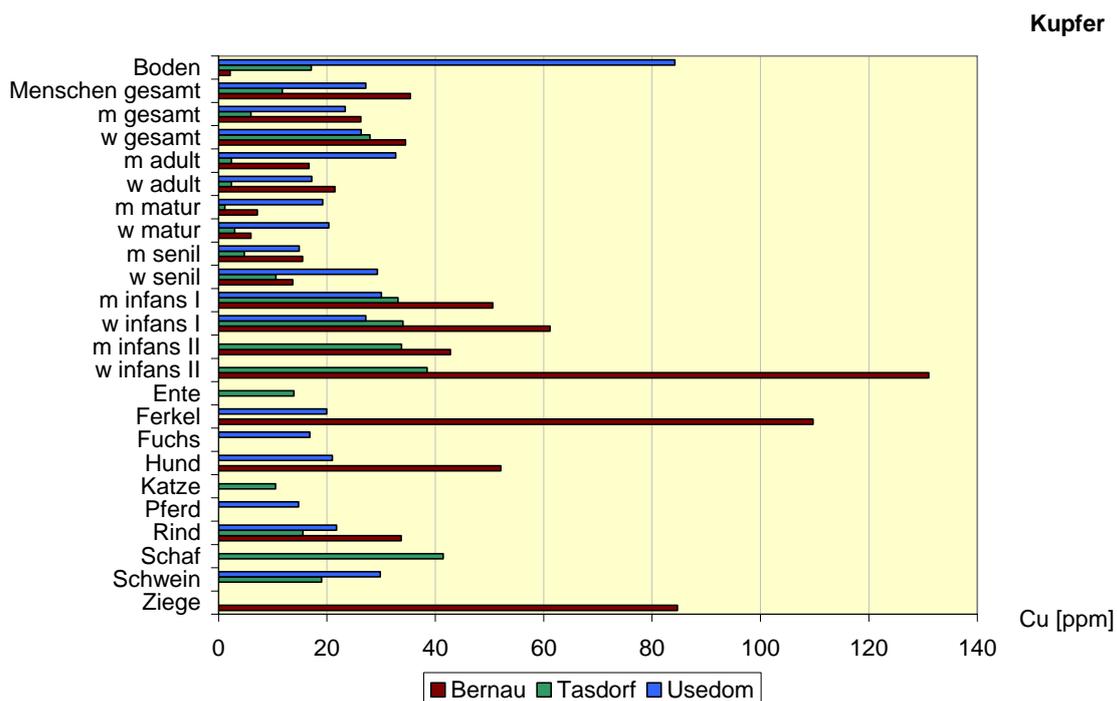
**Abbildung 65:** Ermitteltes Nickel in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Viele, wenn nicht alle Hydrogenasen enthalten zusätzlich zu Eisen-Schwefel-Clustern auch Nickel. Nickel-Zentren sind ein charakteristisches Element in Hydrogenasen, deren Funktion es ist zu oxidieren anstatt Wasserstoff zu erzeugen. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Nickel ist nachweisbar in Amaranth, Ambrosia, Bier, Haferflocken, Hirse, Hülsenfrüchten, Kaffee, Kakao, Kleie, Kreuzkraut, Linsen, Mais, Müsli, Nüssen, sauren Obstsaften, Roggen, Soja, Schokolade, Tee (grün und schwarz) und Wein.

Abbildung 65 stellt die Verteilung der gemessenen Nickel-Werte dar. Alle humanen Proben aus Bernau wiesen im Median 1,8 ppm Ni auf, die humanen Proben aus Tasdorf zeigten 0,7 ppm Ni und diejenigen aus Usedom 2,4 ppm Ni im Median. Dies ergab einen hoch signifikanten Unterschied von den Menschen aus Bernau zu den Menschen aus Tasdorf ( $p \leq 0,01$ ), der Unterschied in den Ni-Werten zwischen Tasdorf und Usedom war sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ), während der Unterschied zwischen Bernau und Usedom lediglich signifikant war ( $p \leq 0,05$ ). Zwischen Männern und Frauen aus Usedom bestand ein signifikanter Unterschied in den Ni-Werten ( $p \leq 0,05$ ). Die adulten Männer aus Bernau wiesen 2,1 ppm Ni auf, die aus Tasdorf 0,4 ppm Ni und waren somit signifikant unterschiedlich voneinander ( $p \leq 0,05$ ). Auch die adulten Frauen aus Tasdorf unterschieden sich signifikant von den adulten Frauen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Die Bernauer maturaen Frauen wiesen 1,1 ppm Ni auf, die maturaen Frauen aus Tasdorf 0,57 ppm Ni, was einen signifikanten Unterschied darstellt ( $p \leq 0,05$ ). Die maturaen Frauen aus Usedom wiesen 2,4 ppm Ni auf, was ebenfalls einen signifikanten Unterschied zu denen aus Bernau darstellt ( $p \leq 0,05$ ). Auch die maturaen Frauen aus

## ERGEBNISSE

Tasdorf und aus Usedom unterschieden sich signifikant voneinander ( $p \leq 0,05$ ). Die männlichen Infans I aus Bernau zeigten 2,4 ppm Ni, diejenigen aus Tasdorf 1,6 ppm Ni und die männlichen Infans I aus Usedom 5,9 ppm Ni. Dies ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Jungen aus Tasdorf und den Jungen aus Usedom, sowie auch zwischen den Jungen aus Bernau und Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Für die weiblichen Infans I aus Bernau ergaben sich 2,4 ppm Ni, aus Tasdorf 1,9 ppm Ni und aus Usedom 5,9 ppm Ni, was ein signifikanter Unterschied zwischen den Mädchen aus Tasdorf und denen aus Usedom darstellte ( $p \leq 0,05$ ). Die Infans I aus Tasdorf wiesen signifikant andere Ni-Werte auf als die Adulten und auch die Maturen aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ) auf, genauso wie die Infans I aus Usedom signifikant unterschiedlich zu den Adulten aus Usedom waren. Die Ni-Werte der Usedomer Infans I waren hoch signifikant unterschiedlich zu denen der Maturen aus Usedom ( $p \leq 0,01$ ). Die männlichen Bernauer Infans II wiesen 1,8 ppm auf, die weiblichen 1,2 ppm Ni, die männlichen Infans II aus Tasdorf zeigten 2,7 ppm Ni, die weiblichen 1,8 ppm Ni und waren somit signifikant unterschiedlich von den Maturen aus Tasdorf und auch zu den Adulten ( $p \leq 0,05$ ).



**Abbildung 66:** Ermitteltes Kupfer in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Kupfer ist in größeren Konzentrationen in tierischer Nahrung zu finden. Anzahl der Aggregationen, siehe **Abbildung 64**.

Kupfer ist in größeren Konzentrationen in tierischer Nahrung zu finden und dient somit bei den Spurenelementanalysen auch als Anzeiger für tierische Nahrungsquellen. Die Kupfer-Werte werden in **Abbildung 66** grafisch dargestellt. Alle menschlichen Proben aus Bernau wiesen im Median 35,4 ppm Cu auf, die menschlichen Proben aus

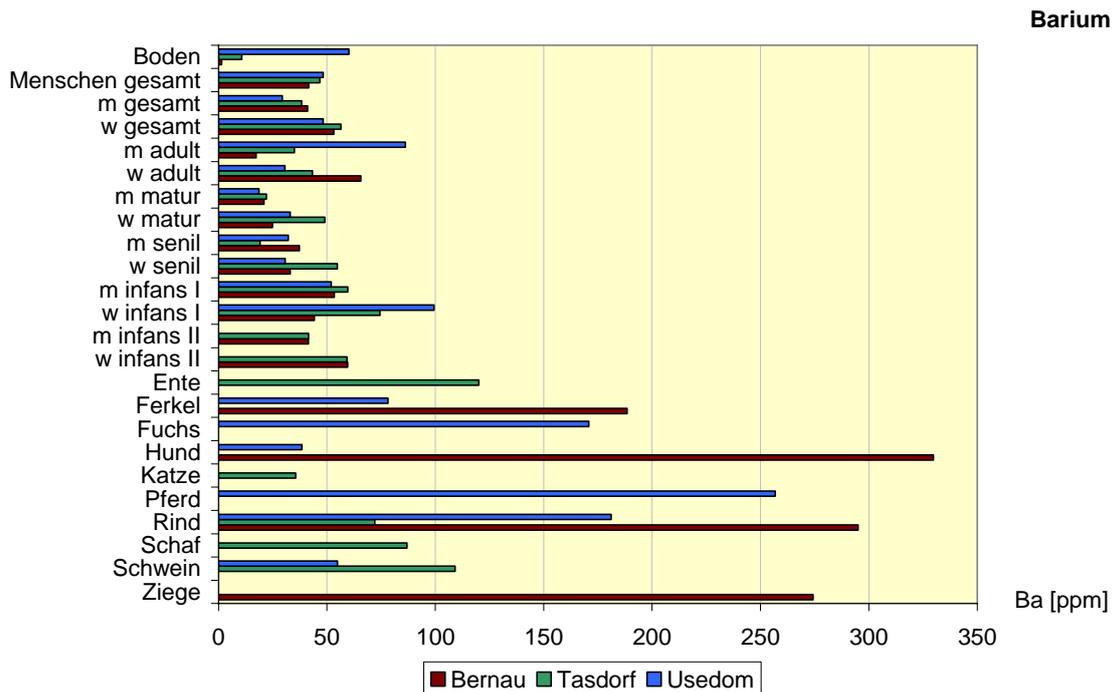
## ERGEBNISSE

Tasdorf zeigten 11,8 ppm Cu und diejenigen aus Usedom 27,2 ppm Cu im Median. Die Werte der Bernauer Bevölkerung sind höchst signifikant unterschiedlich zu denen der Tasdorfer Bevölkerung ( $p \leq 0,001$ ). Bei den Bernauer Männern ergaben sich mit 26,2 ppm Cu signifikante Unterschiede zu den Tasdorfer Männern mit 5,9 ppm Cu ( $p \leq 0,05$ ). Die adulten Männer aus Bernau wiesen 16,7 ppm Cu auf, die aus Tasdorf 2,4 ppm Cu. Die Männer aus Usedom ergaben 32,7 ppm Cu, was einem signifikanten Unterschied zu denen aus Tasdorf entspricht ( $p \leq 0,05$ ). Auch der Unterschied zwischen den adulten Männern aus Bernau und denen aus Tasdorf war signifikant ( $p \leq 0,05$ ), genauso wie der Unterschied zwischen den Bernauer und den Usedomer adulten Männern. Auch die adulten Frauen aus Tasdorf zeigten signifikante Unterschiede zu denen aus Usedom, genauso wie die adulten Frauen aus Bernau signifikante Unterschiede zu denen aus Tasdorf aufwiesen ( $p \leq 0,05$ ). Die maturen Männer aus Tasdorf 1,2 ppm Cu waren signifikant unterschiedlich zu den maturen Männern aus Usedom 19,3 ppm Cu ( $p \leq 0,05$ ), ebenso wie die maturen Männer aus Bernau und die aus Usedom signifikante Unterschiede aufwiesen. Die maturen Frauen aus Tasdorf hatten signifikant unterschiedliche Werte als die Frauen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ), genauso wie die maturen Frauen aus Bernau und Usedom signifikante Unterschiede aufwiesen. Die Adulten und die Maturen aus Bernau waren hoch signifikant unterschiedlich voneinander ( $p \leq 0,01$ ).

15,5 ppm Cu wurden bei den senilen Männern aus Bernau gemessen, 4,8 ppm Cu, die somit hoch signifikant andere Werte als die maturen Männer aus Bernau hatten ( $p \leq 0,01$ ) und sich auch signifikant von den senilen Männern aus Tasdorf unterschieden ( $p \leq 0,05$ ). Die Adulten und die Senilen aus Tasdorf zeigten signifikante Unterschiede in ihren Ni-Werten ( $p \leq 0,05$ ). Die männlichen Infans I aus Bernau zeigten 50,6 ppm Cu, diejenigen aus Tasdorf 33,1 ppm Cu und die männlichen Infans I aus Usedom 30,04 ppm Cu. Dies ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Jungen aus Bernau und denen aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). Für die weiblichen Infans I aus Bernau ergaben sich 61,2 ppm Cu, aus Tasdorf 34,04 ppm Cu und aus Usedom 27,2 ppm Cu.

Somit waren die Mädchen aus Bernau signifikant unterschiedlich in ihren Ni-Werten zu denen aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ) und zu denen aus Usedom sogar hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Die Kinder der Altersklasse Infans I aus Bernau wiesen hoch signifikante Unterschiede zu den Adulten aus Bernau auf ( $p \leq 0,01$ ), die Unterschiede zu den Senilen und zu den Maturen waren sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Die Infans I aus Tasdorf waren ebenfalls höchst signifikant unterschiedlich zu allen Altersklassen der Erwachsene aus Tasdorf ( $p \leq 0,001$ ). Die Infans II aus Bernau hatten signifikant höhere Cu-Werte ( $p \leq 0,05$ ) als alle erwachsenen Altersklassen aus Bernau. Die Infans II aus Tasdorf unterschieden sich signifikant zu den Maturen und auch zu den Adulten aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ).

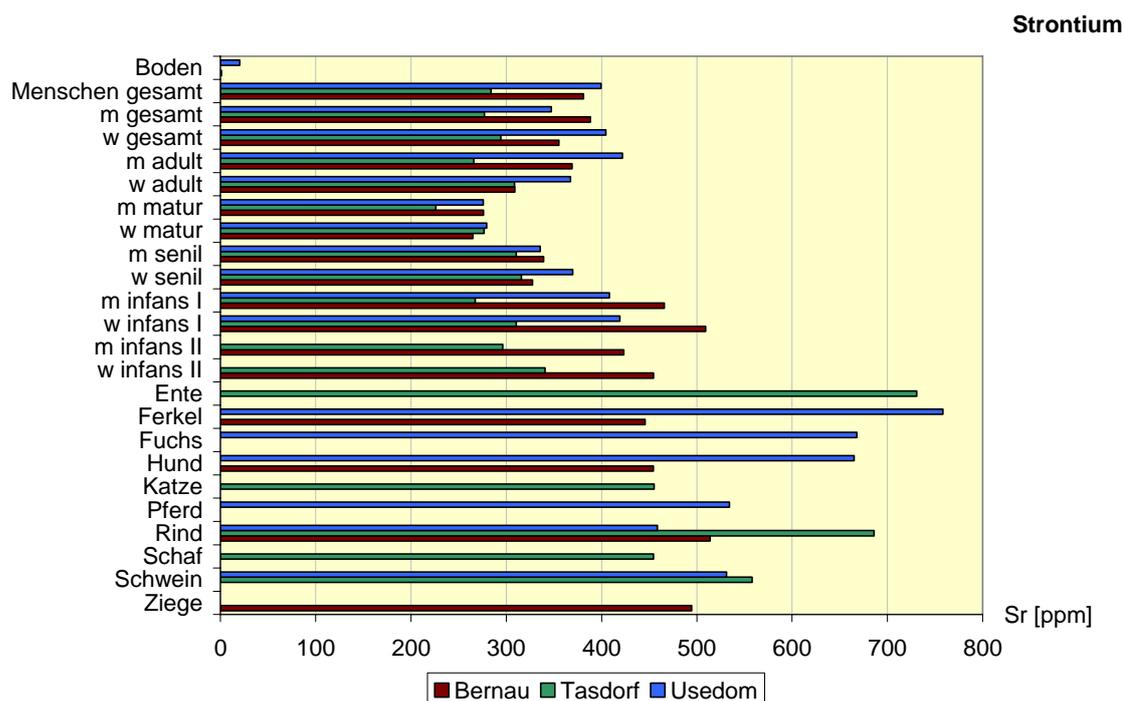
## ERGEBNISSE



**Abbildung 67:** Ermitteltes Barium in ppm in den Bodenproben von *Bernau, Tasdorf und Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Barium kommt wegen seiner hohen Reaktivität in der Natur nicht elementar, sondern nur in Verbindungen vor. Es ist in Pflanzen angereichert und somit ein Anzeiger für vegetabile Ernährung. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Barium ist in Pflanzen angereichert und somit ein Anzeiger für vegetabile Ernährung. Abbildung 67 zeigt die Verteilung von Barium in den Proben. Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den männlichen und weiblichen Individuen aus Tasdorf festgestellt ( $p \leq 0,05$ ). Die Ba-Werte der Infans I und waren signifikant unterschiedlich zu den Adulten aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). Außerdem war ein signifikanter Unterschied zwischen den Infans I und den Adulten aus Usedom festzustellen, sowie ein signifikanter Unterschied zwischen den Infans I und den Senilen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ). Der Unterschied zwischen den Usedomer Infans I und den Senilen, sowie zwischen den Infans I und den Maturen aus Usedom war sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ), ebenso wie der Unterschied zwischen den Infans I und den Maturen aus Bernau. Es gab signifikante Unterschiede in den Ba-Werten zwischen den Infans aus Bernau und aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Es gab signifikante Unterschiede zwischen den Infans II und den Maturen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ).

## ERGEBNISSE



**Abbildung 68:** Ermitteltes Strontium in ppm in den Bodenproben von *Bernau, Tasdorf und Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Der Menschliche Körper unterscheidet kaum zwischen Calcium und Strontium. Die geringen Mengen natürlich vorkommenden Strontiums schaden dem Organismus nicht. Es ist in Pflanzen angereichert und somit ein Anzeiger für vegetabile Ernährung. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Strontium liefert, wie bereits erwähnt, ein relativ sicheres Maß für vegetabile Kost. Aus der Bodenprobe aus Bernau wurden 1,1 ppm Sr ermittelt, im Boden aus Tasdorf wurde kein Sr gefunden; der Boden aus Usedom ergab 20,1 ppm Sr, wie Abbildung 68 zeigt. Alle menschlichen Proben aus Bernau wiesen im Median 381,03 ppm Sr auf, die menschlichen Proben aus Tasdorf zeigten 284 ppm Sr und diejenigen aus Usedom 399,5 ppm Sr im Median. Dies ergab einen höchst signifikanten Unterschied zwischen Bernau und Tasdorf und auch zwischen Tasdorf und Usedom ( $p \leq 0,001$ ).

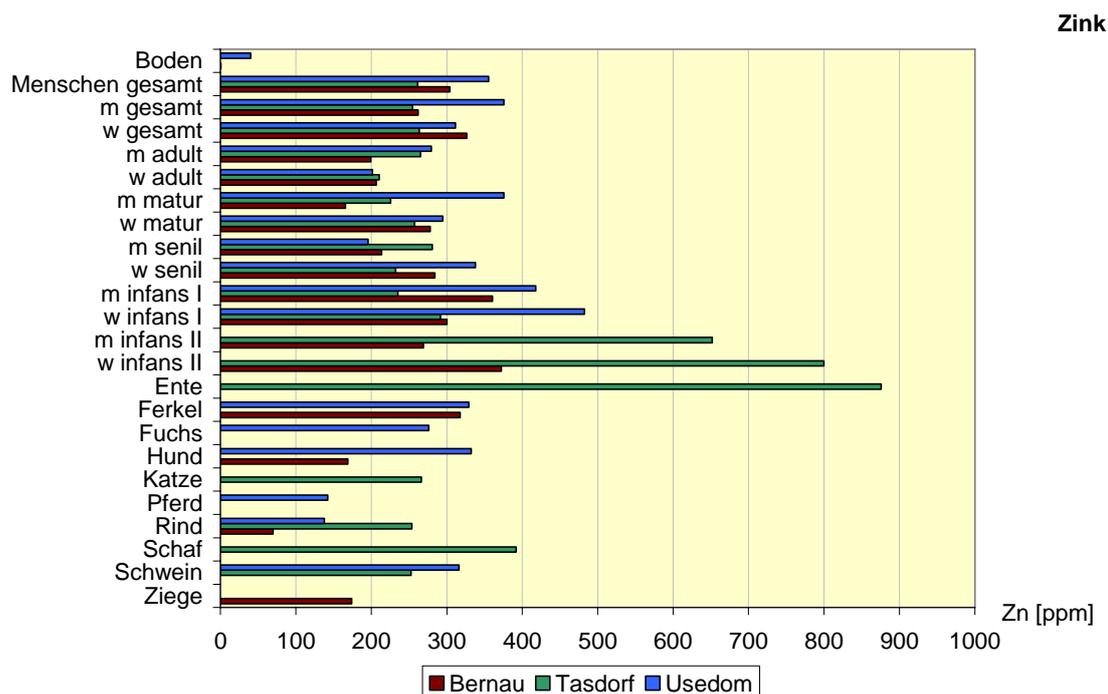
Die adulten Männer aus Bernau wiesen 369,1 ppm Sr auf, die aus Tasdorf 266 ppm Sr und die aus Usedom 422 ppm Sr, was einen signifikanten Unterschied zu denen aus Tasdorf darstellt ( $p \leq 0,05$ ). Auch für Bernau und Usedom existiert ein signifikanter Unterschied in den Sr-Werten bei den adulten Männern ( $p \leq 0,05$ ). Die maturaen Männer aus Bernau zeigten 276 ppm Sr, die maturaen Männer aus Tasdorf 226,2 ppm Sr und die maturaen Männer aus Usedom 275,9 ppm Sr, was auch hier einen signifikanten Unterschied zu denen aus Tasdorf darstellt ( $p \leq 0,05$ ). Auch zwischen Bernau und Tasdorf besteht bei den maturaen Männern ein signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ).

Es wird deutlich, dass es keinen geschlechtsspezifischen Trend bei der Zusammensetzung der Nahrung der drei Skelettserien gibt. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den adulten Erwachsenen und den maturen Erwachsenen aus Bernau hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Aufgrund der Diskriminierungsmechanismen kommt es während der Schwangerschaft und Laktation zu einer Akkumulation von Sr im weiblichen Organismus. Calcium wird besonders im letzten Drittel der Schwangerschaft für das Knochenwachstum des Fötus entzogen und aus dem Apatit mobilisiert. Im Überschuss vorliegendes Sr besetzt freigewordene Gitterplätze in der mineralischen Matrix. Gleichsinnige Vorgänge laufen bei der Laktation ab, während der es zu einer Verarmung des Knochens an Ca kommt. Die Sr-Gehalte reproduzierender Frauen sollten daher gegenüber denjenigen nicht reproduzierender Frauen erhöht sein. Gleichzeitig besteht für reproduzierende Frauen ein erhöhter Bedarf an Zn. Dieser Bedarf kann durch Zn-Mobilisierung aus dem Skelett gedeckt werden. Frauen sollten also während der aktiven reproduktiven Phase einen im Mittel verringerten Zn-Status aufweisen. Ein signifikanter Unterschied besteht in Usedom in den Sr-Werten zwischen den adulten Frauen den maturen Frauen ( $p \leq 0,05$ ), was auf eine reproduktive Phase der adulten Frauen hindeuten könnte. Dies zeigt sich auch in den signifikant niedrigeren Zn-Werten der adulten Frauen (siehe Abbildung 69).

Zwischen Bernau und Tasdorf gibt es signifikante Unterschiede der Sr-Werte der Infans I ( $p \leq 0,05$ ). Für die weiblichen Infans I aus Bernau ergeben sich 509,3 ppm Sr, aus Tasdorf 310,6 ppm Sr und aus Usedom 419,3 ppm Sr. Diese Werte zeigen höchst signifikante Unterschiede zwischen den Infans I und allen Erwachsenen aus Bernau ( $p \leq 0,001$ ). Auch in Usedom gibt es höchst signifikante Unterschiede in den Sr-Werten zwischen den Infans I und den Maturen ( $p \leq 0,001$ ). Es wurden signifikante Unterschiede in Bernau zwischen den Infans II und allen Altersgruppen der Erwachsenen festgestellt ( $p \leq 0,05$ ).

## ERGEBNISSE



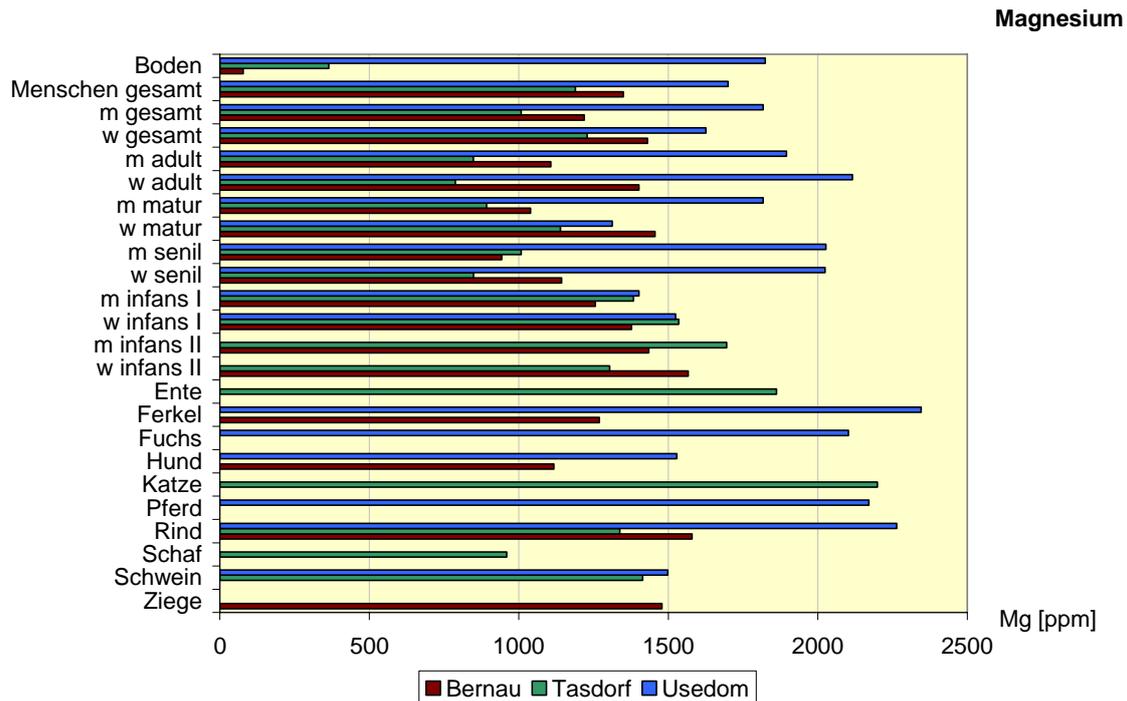
**Abbildung 69:** Ermitteltes Zink in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Zink zählt zu den essentiellen Spurenelementen für den Stoffwechsel von Lebewesen. Es ist Bestandteil mehrerer Enzyme, beispielsweise der RNA-Polymerase und der Glutathionperoxidase. Zink ist vor allem in tierischen Produkten zu finden und dient damit als Anzeiger für fleischliche Ernährung. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Zink ist vor allem in tierischen Produkten, zu denen auch Milch und Blut gehören, enthalten. Neben Eisen<sup>25</sup> ist es das wichtigste Spurenelement und ist am häufigsten im menschlichen Körper vertreten (2 – 4 g). Es beschleunigt das Wachstum und sorgt für die Stabilität der Zellmembran. Zusammen mit Eisen und Folsäure ist Zn besonders wichtig in der Schwangerschaft.

Die Zn-Verhältnisse stellt Abbildung 69 dar: Im Boden aus Bernau befanden sich 0,61 ppm Zn, im Boden aus Tasdorf wurde kein Zn gemessen und im Boden aus Usedom befanden sich 40,1 ppm Zn. In Bernau sind die Zn-Werte der Infans I signifikant unterschiedlich zu den Adulten ( $p \leq 0,05$ ). Für die Infans I und die adulten Erwachsenen aus Usedom sind sogar hoch signifikante Unterschiede festzustellen ( $p \leq 0,001$ ). Die Unterschiede dieser zu den Senilen aus Usedom sind signifikant ( $p \leq 0,05$ ). In den Zn-Werten gibt es signifikante Unterschiede bei den Tasdorfer Infans II und den matura und adulten Erwachsenen ( $p \leq 0,05$ ). Die Unterschiede des Zn-Wertes bei den Infans I und den Infans II in Tasdorf sind signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>25</sup> Die Ergebnisse des stark kontaminierenden Eisens finden sich im Anhang, da die jeweiligen Bodenproben zuviel an diesem Element enthielten und so keine sichere Aussage über die Proben getroffen werden konnte.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 70:** Ermitteltes Magnesium in ppm in den Bodenproben von *Bernau, Tasdorf und Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Magnesium ist für Mensch, Tier und Pflanze essentiell. Im Chlorophyll ist es etwa zu zwei Prozent enthalten. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

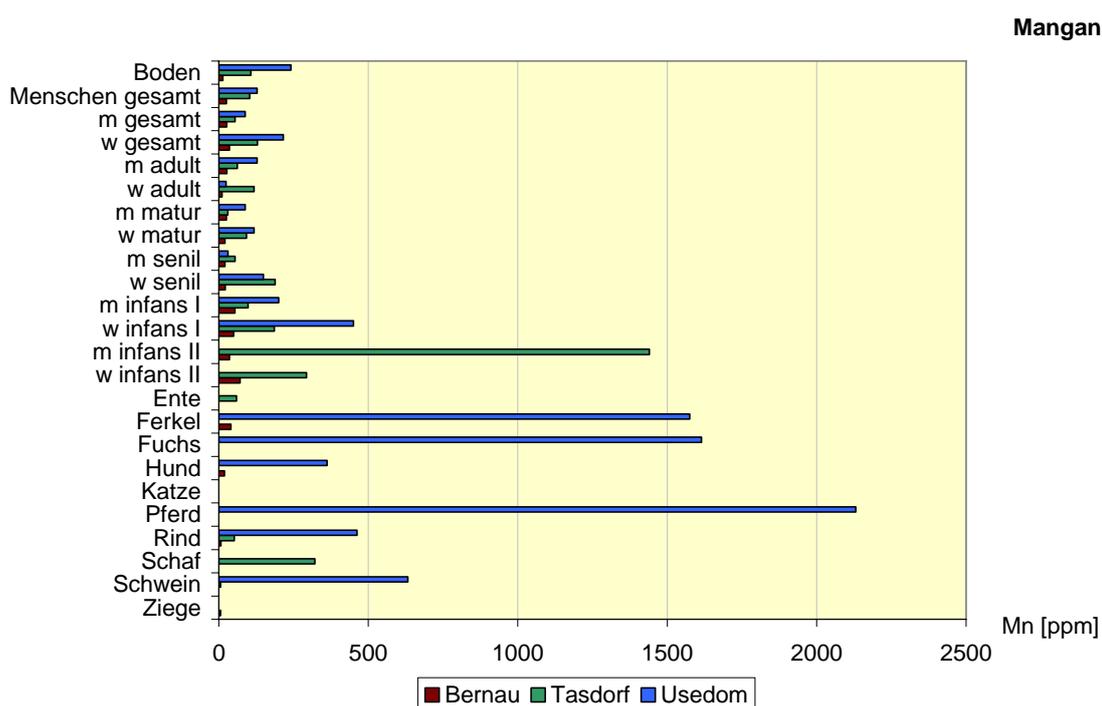
Der Magnesium-Anteil eines 70 Kilogramm schweren Menschen beträgt etwa 21 Gramm. Magnesium ist für die Unterstützung verschiedener Reaktionen in Zellen verantwortlich. Ohne Magnesium würden verschiedene Teilschritte v. a. im Stoffwechsel der Kohlenhydrate viel langsamer vonstatten gehen. Die Magnesium-Aufnahme erfolgt hauptsächlich durch Gemüse.

Das gemessene Magnesium wird in Abbildung 70 gezeigt: Alle menschlichen Proben aus Bernau weisen im Median 1349 ppm Mg auf, die menschlichen Proben aus Tasdorf zeigen 1188,84 ppm Mg und diejenigen aus Usedom 1699 ppm Mg im Median. Dies ist ein höchst signifikanter Unterschied zwischen Tasdorf und Usedom und auch zwischen Bernau und Usedom ( $p \leq 0,001$ ). Die adulten Männer aus Bernau weisen 1107 ppm Mg auf, die aus Tasdorf 848 ppm Mg und die aus Usedom 1895 ppm Mg, was einen signifikanten Unterschied der adulten Männer aus Bernau und Usedom zeigt ( $p \leq 0,05$ ).

Die adulten Frauen aus Bernau haben Mg-Werte von 1402 ppm, die adulten Frauen aus Tasdorf 787 ppm und die adulten Frauen aus Usedom 2116 ppm Mg, was einem signifikanten Unterschied der adulten Frauen aus Tasdorf und Usedom entspricht ( $p \leq 0,05$ ). Auch zwischen Bernau und Tasdorf ist der Unterschied in den Mg-Werten der adulten Frauen signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Die maturen Männer aus Usedom sind in ihren Mg-Werten signifikant unterschiedlich zu denen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ).

## ERGEBNISSE

Zwischen Tasdorf und Usedom ergibt sich somit ein signifikanter Unterschied in den Mg-Werten der maturen Männer. Die senilen Usedomer Frauen sind mit 2024 ppm Mg signifikant unterschiedlich zu denen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ). Die maturen und die senilen Erwachsenen aus Usedom unterscheiden sich signifikant in ihren Mg-Werten ( $p \leq 0,05$ ). In Tasdorf weisen die Infans I und die adulten Erwachsenen hoch signifikante Unterschiede auf ( $p \leq 0,01$ ). Die Unterschiede zu den Senilen und zu den Maturen in Tasdorf sind signifikant ( $p \leq 0,05$ ). In Bernau gibt es signifikante Unterschiede zwischen Infans I und den Senilen ( $p \leq 0,05$ ).



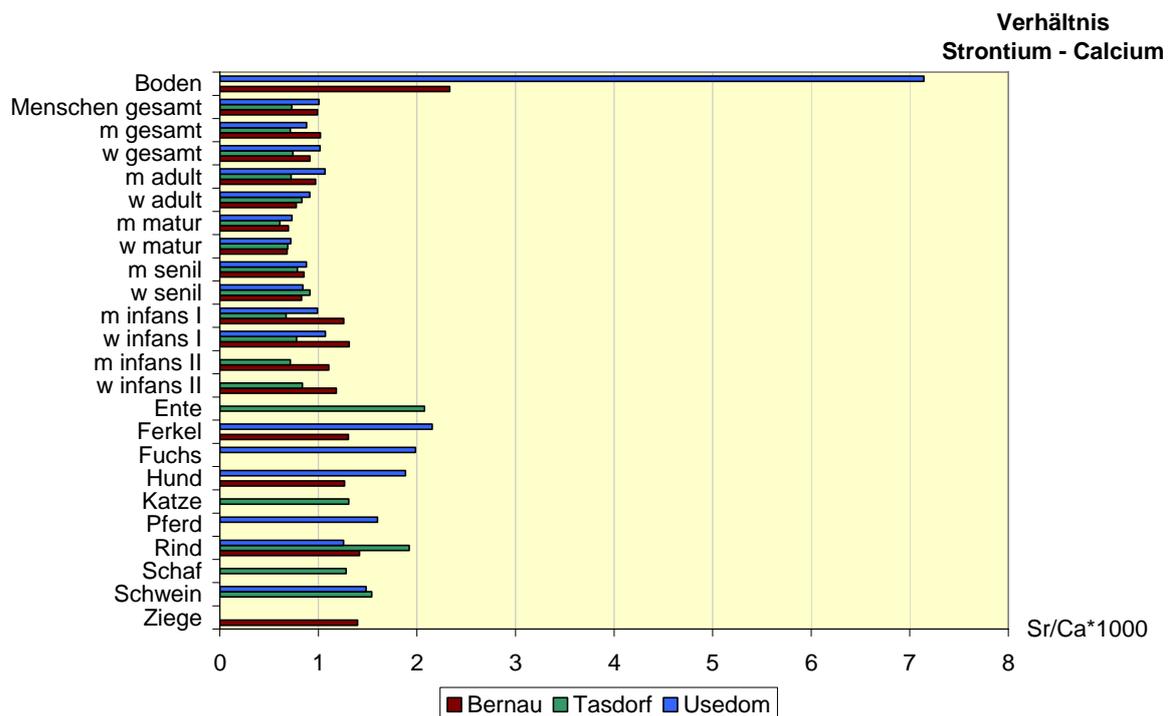
**Abbildung 71:** Ermitteltes Mangan in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Gebundenes Mangan ist ein essentielles Spurenelement für alle Lebensformen. Der menschliche Körper enthält etwa 300 ppm Mangan und sollte ungefähr 4 mg/Tag aufnehmen. Manganreich sind Nüsse, Vollkornprodukte, Keimlinge und Kakao. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Mangan ist ein Indikator für pflanzliche Nahrung, aber auch von Schalentieren. Es gehört aber auch zu den Schadstoffen und wird über die Atemwege aufgenommen.

Die Mangan-Werte zeigt Abbildung 71: Alle menschlichen Proben aus Bernau weisen im Median 25,6 ppm Mn auf, die menschlichen Proben aus Tasdorf zeigen 102,8 ppm Mn und diejenigen aus Usedom 127,8 ppm Mn im Median. Zwischen der Bevölkerung aus Bernau und der Bevölkerung aus Tasdorf, sowie zwischen der Usedomer und der Bernauer Bevölkerung sind höchst signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) in den Mn-Gehalten festzustellen. Zwischen den Männern und den Frauen aus Tasdorf bestehen signifikante Unterschiede in den Mn-Gehalten ( $p \leq 0,05$ ). Die maturen Männer aus Tasdorf sind in ihren Mn-Werten signifikant verschieden von den maturen Männern

## ERGEBNISSE

aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den senilen Männern aus Bernau und aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). In Usedom weisen die Infans I hoch signifikante Unterschiede zu den adulten Erwachsenen auf ( $p \leq 0,01$ ), der Unterschied zu den maturen Erwachsenen ist dagegen nur signifikant ( $p \leq 0,05$ ). In Bernau sind die Mn-Werte der Infans I signifikant unterschiedlich zu den Senilen ( $p \leq 0,05$ ). In Tasdorf zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Infans I und den maturen Erwachsenen ( $p \leq 0,05$ ). Die Kinder der Altersklasse Infans II aus Tasdorf weisen signifikant andere Mn-Werte aus als die maturen und die adulten Erwachsenen aus diesem Dorf ( $p \leq 0,05$ ).



**Abbildung 72: Strontium-Calcium-Verhältnis in den Bodenproben von Bernau, Tasdorf und Usedom, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Aus dem gemessenen Sr/Ca-Verhältnis des Skelettes kann auf den Sr/Ca-Gehalt der Nahrung und somit auf den pflanzlichen Anteil geschlossen werden. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.**

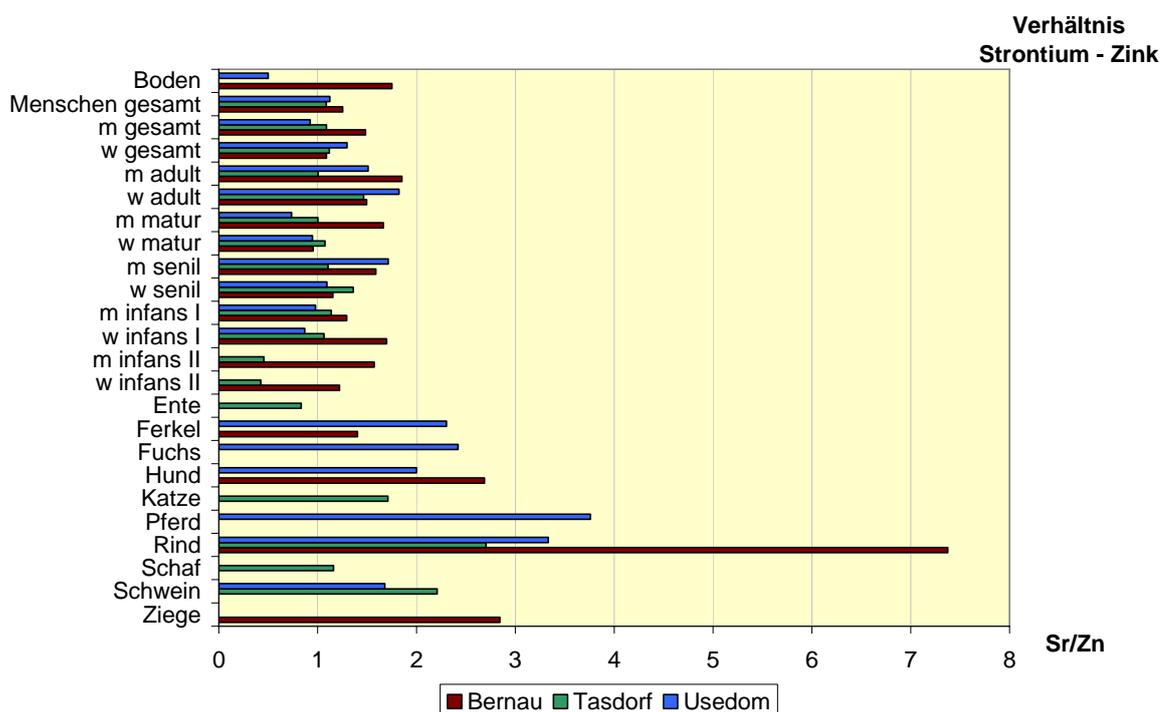
Die Aufnahmemenge der Spurenelemente durch die Nahrung hängt primär von deren Vorkommen im Boden ab. Hinzu kommt die unterschiedliche Diskriminierung in der Nahrungskette. Durch das Sr/Ca-Verhältnis wird die „Individualität“ der einzelnen Proben berücksichtigt, da Sr auf das Matrixelement (Ca) des Hydroxylapatits bezogen wird.

Das Strontium-Calcium-Verhältnis für alle Proben wird in Abbildung 72 gezeigt. Die Boedenproben sind als Vergleich mit dargestellt, obwohl es sich beim Boden natürlich nicht um Hydroxylapatit handelt und somit auch kein Einbau von Sr anstatt Ca stattfinden kann. Die Bodenprobe aus Bernau ergibt ein Sr/Ca\*1000-Verhältnis von

## ERGEBNISSE

2,33, da im Boden aus Tasdorf kein Sr gemessen wurde, konnte auch kein Sr/Ca\*1000 berechnet werden. Der Boden aus Usedom hat einen Sr/Ca\*1000 von 7,14.

Zwischen den Bernauer Männern und den Tasdorfer Männern besteht ein höchst signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,001$ ). Auch zwischen den Tasdorfer und den Usedomer Männern besteht ein signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ). Die maturaen Männer aus Bernau unterscheiden sich signifikant von den maturaen Männern aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ) und auch die maturaen Usedom zeigen signifikant andere Werte als die aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). Die Bernauer Jungen weisen einen signifikant anderen Quotienten als die Tasdorfer Jungen auf ( $p \leq 0,05$ ).



**Abbildung 73: Strontium-Zink-Verhältnis in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Die Sr-Gehalte symbolisieren den pflanzlichen Anteil der Nahrung. Die Zn-Werte lassen Rückschlüsse auf die fleischliche Nahrung zu. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.**

Durch den Quotienten Sr/Zn kann das relative Verhältnis vegetabiler gegenüber tierischer Bestandteile in der Ernährung sichtbar gemacht werden.

Interessanterweise scheint sich hiernach die Bernauer Bevölkerung recht vegetabil ernährt zu haben. Jedenfalls wird der hohe Anteil an tierischem Protein, der in den Isotopenwerten sehr ausgeprägt war, nicht deutlich. Die Ergebnisse der drei Bevölkerungen liegen so nah beieinander, dass kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte.

Auch das Sr/Zn-Verhältnis ist in die verschiedenen Untergruppen unterteilt in Abbildung 73 dargestellt: Der Sr/Zn-Quotient der adulten Männer und Frauen aus Usedom ist signifikant unterschiedlich voneinander ( $\leq 0,05$ ). Die adulten Frauen unter-

scheiden sich signifikant von den maturaen Frauen und auch von den senilen Frauen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Die weiblichen Infans I aus Usedom unterscheiden sich signifikant von den adulten Frauen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.5.3 Schadstoffbelastung

Wegen der z.T. erheblichen Speicherkapazität des Skelettsystems für Schwermetalle wie Pb, Cd oder As erfüllen Skelettfunde eine Monitorfunktion für Schadstoffbelastung in historischer Zeit. Inkorporiertes Blei wird zu mehr als 95 % im Skelett erwachsener Individuen gespeichert, bei Kindern bis zu etwa 70 %. Demgegenüber sind die Mengen an Cd oder As gering, da sie überwiegend in Weichgeweben (Cd) oder keratinisierten Hartgeweben (As) gespeichert werden. Der relativ hohe Masseanteil des Skelettes an der Gesamtkörpermasse erlaubt jedoch auch für diese Elemente eine Abschätzung der Größenordnung der Belastung.

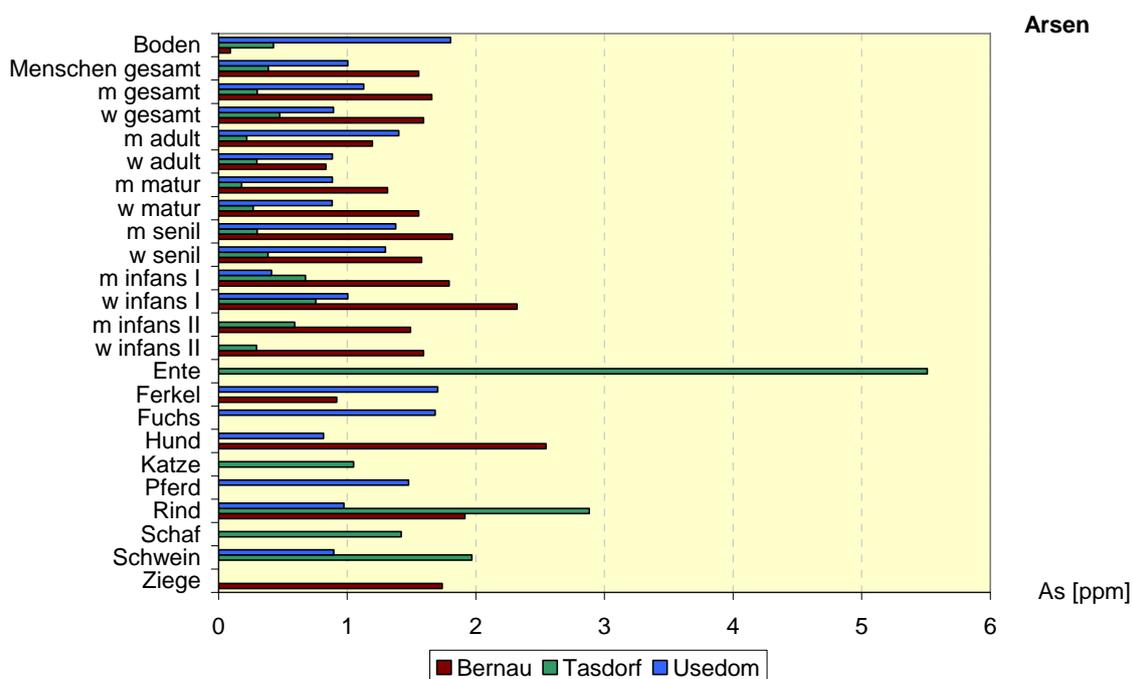


Abbildung 74: Ermitteltes Arsen in ppm in den Bodenproben von *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Arsen wurde z.B. während des Mittelalters gegen Hauterkrankungen und Syphilis eingesetzt. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Die Verwendung arsenhaltiger Mineralien als Heilmittel ist bereits durch die Autoren der Antike, Hippocrates und Plinius, bezeugt. Sie wurden als Fiebermittel, als Stärkungsmittel und zur Therapie von Migräne, Rheumatismus, Malaria, Tuberkulose und Diabetes eingesetzt. Im 18. Jahrhundert wurde eine Mischung aus Kaliumarsenit und Lavendelwasser als Fowlersche Lösung bekannt, die lange als medizinisches

## ERGEBNISSE

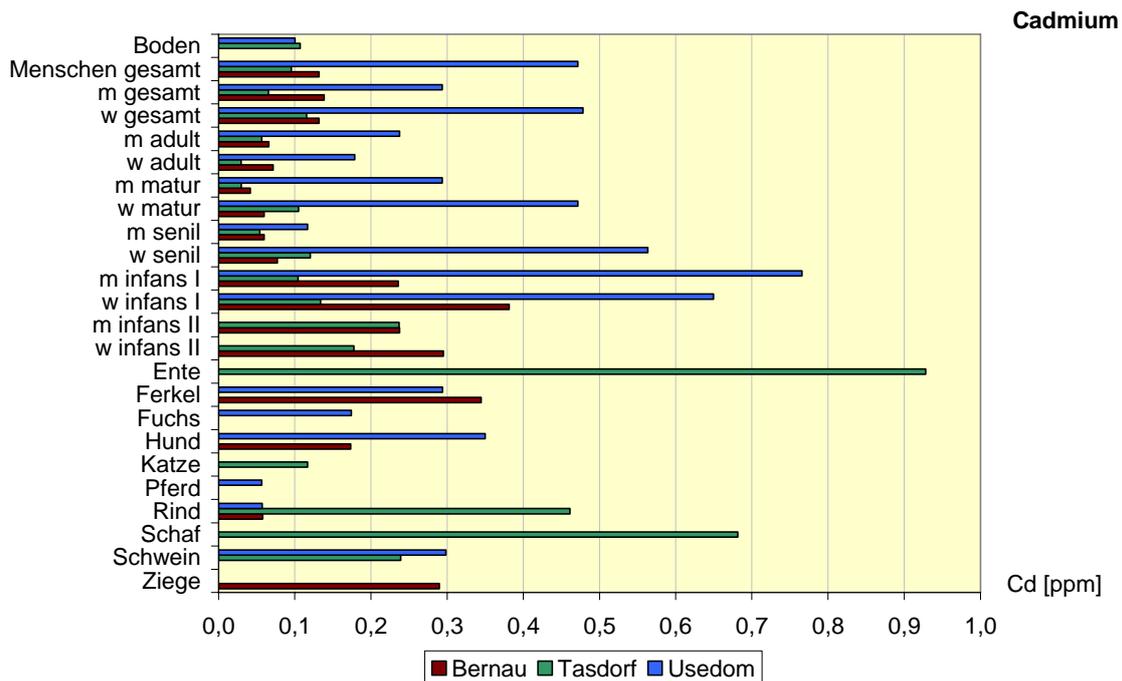
Wundermittel galt und als Fiebersenker, Heilwasser und sogar als Aphrodisiakum Anwendung fand.

Abbildung 74 stellt die Arsen-Verhältnisse in den Proben dar. Zwischen den Menschen aus Bernau und Usedom besteht ein hoher signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,01$ ). Der Unterschied zwischen Bernau und Tasdorf, sowie zwischen Tasdorf und Usedom ist hier sogar höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Die adulten Männer aus Bernau wiesen 1,2 ppm As auf, die aus Tasdorf 0,2 ppm As und die aus Usedom 1,4 ppm As. Somit besteht ein signifikanter Unterschied in den As-Werten zwischen den Tasdorfer adulten Männern und den Usedomer adulten Männern ( $p \leq 0,05$ ).

Die adulten Frauen aus Bernau hatten As-Werte von 0,8 ppm, die adulten Frauen aus Tasdorf 0,3 ppm und die adulten Frauen aus Usedom 0,9 ppm As. Auch die adulten Frauen aus Tasdorf und die aus Usedom zeigten signifikante Unterschiede in ihren As-Werten ( $p \leq 0,05$ ), genauso wie die adulten Frauen aus Bernau und aus Tasdorf. Die maturen Männer aus Bernau zeigten 1,31 ppm As, die maturen Männer aus Tasdorf 0,2 ppm und die maturen Männer aus Usedom 0,9 ppm. Der Unterschied zwischen den maturen Männern aus Tasdorf und Usedom ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Der Unterschied zwischen den männlichen Infans I aus Bernau und den männlichen Infans I aus Usedom, sowie den männlichen Infans I aus Tasdorf ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ), genauso wie der Unterschied zwischen den weiblichen Infans I aus Bernau und den weiblichen Infans I aus Usedom, sowie den weiblichen Infans I aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). Auch die weiblichen Infans I aus Bernau und Tasdorf wiesen einen signifikanten Unterschied auf ( $p \leq 0,05$ ). Zwischen den adulten Individuen und den Infans I aus Bernau besteht sogar ein höchst signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,01$ ). Auch der Unterschied zwischen den Infans I und den Senilen ( $p \leq 0,05$ ) und auch den Maturen ( $p \leq 0,01$ ) aus Tasdorf ist signifikant bzw. sogar höchst signifikant.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 75:** Ermitteltes Cadmium in ppm in den Bodenproben von *Bernau, Tasdorf und Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Cadmium ist z.B. ein Indikator für das Rauchen. Anzahl der Aggregationen, s. Abbildung 64.

In Abbildung 75 wird die Cadmium-Belastung der menschlichen Individuen, der Tiere und der jeweiligen Böden dargestellt. Die Bodenprobe aus Bernau ergab keine Cd-Belastung, der Boden aus Tasdorf eine Cd-Belastung von 0,1 ppm und der Boden aus Usedom wies eine Belastung von 0,1 ppm Cd auf. Alle humanen Proben aus Bernau weisen im Median 0,1 ppm Cd auf, die humanen Proben aus Tasdorf zeigen 0,1 ppm Cd in der Analyse und diejenigen aus Usedom 0,5 ppm Cd-Belastung im Median.

Somit ist der Unterschied in der Cd-Belastung zwischen Tasdorf und Usedom, sowie auch zwischen Bernau und Usedom höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Der Unterschied zwischen Bernau und Tasdorf ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Auch der Unterschied zwischen den maturaen Männern aus Tasdorf und Usedom ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Außerdem besteht ein signifikanter Unterschied in der Cd-Belastung zwischen den Tasdorfer adulten Männern und den Usedomer adulten Männern, sowie zwischen den adulten Männern aus Bernau und denen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Auch die adulten Frauen aus Tasdorf und die aus Usedom zeigen signifikante Unterschiede in ihrer Cd-Belastung, genauso wie die adulten Frauen aus Bernau und aus Tasdorf sowie wie die aus Bernau und Usedom ( $p \leq 0,05$ ). Der Unterschied in den Cd-Werten zwischen den maturaen Männern aus Bernau und Usedom ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Die Bernauer maturaen Frauen hatten eine Belastung von 0,1 ppm Cd, die maturaen Frauen aus Tasdorf 0,1 ppm Cd und die maturaen Frauen aus Usedom 0,5 ppm Cd. Somit gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Bernauer und den

## ERGEBNISSE

Usedomer Frauen ( $p \leq 0,05$ ). Die senilen Frauen aus Bernau hatten eine Belastung von 0,1 ppm Cd, während die senilen Frauen aus Tasdorf 0,1 ppm Cd und die senilen Usedomer Frauen 0,8 ppm Cd aufwiesen. Dies stellte einen signifikanten Unterschied zwischen den senilen Frauen aus Bernau und denen aus Usedom dar ( $p \leq 0,05$ ).

Der Unterschied in der Cd-Belastung der männlichen Infans I aus Tasdorf und Usedom ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Der Unterschied der männlichen Infans I aus Bernau und Usedom ist sogar hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Für die weiblichen Infans I aus Bernau ergaben sich 0,38 ppm Cd, aus Tasdorf 0,1 ppm Cd und aus Usedom 0,7 ppm Cd.

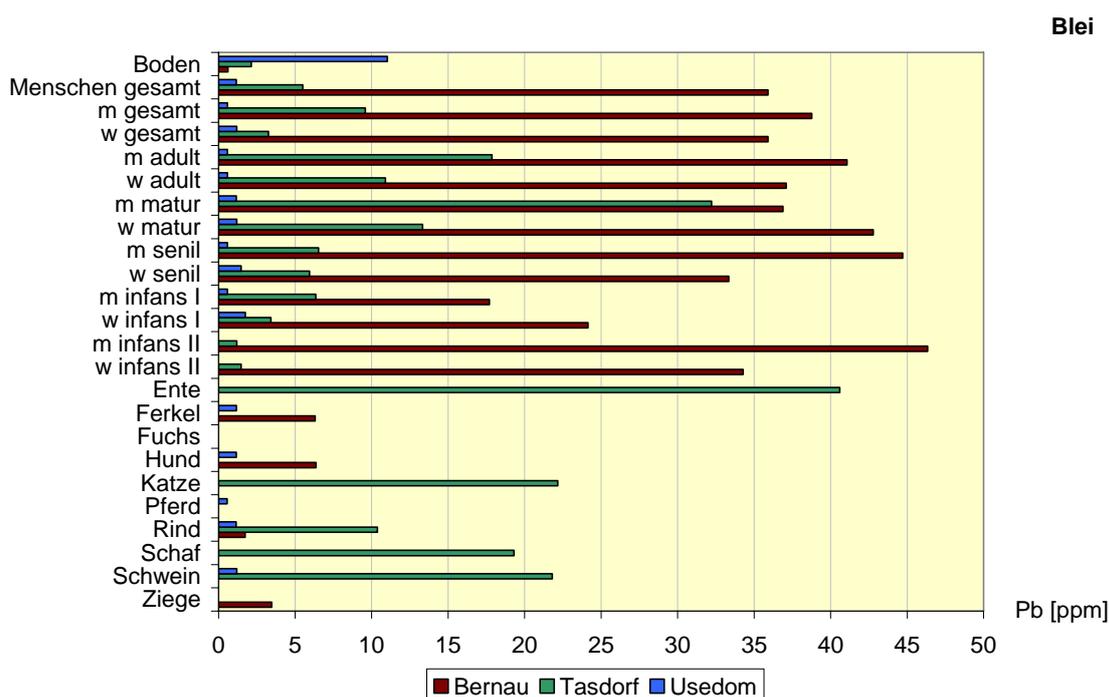
Somit ist der Unterschied der weiblichen Infans I aus Tasdorf und Usedom signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Zwischen den adulten Individuen und den Infans I aus Bernau besteht sogar ein höchst signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,01$ ), sowie auch zwischen den Infans I und den Senilen und auch den Maturen aus Bernau ein höchst signifikanter Unterschied zu messen war ( $p \leq 0,01$ ). Der Unterschied in der Cd-Belastung der Infans I und der adulten und auch den maturen Individuen aus Usedom ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Genauso wie der zwischen den Maturen und den Infans I aus Tasdorf. Zwischen den männlichen Infans I aus Bernau und Tasdorf war ein höchst signifikanter Unterschied feststellbar ( $p \leq 0,001$ ). Der Unterscheid zwischen den senilen Individuen und den Infans II aus Bernau ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ), genauso wie der Unterschied in der Cd-Belastung zwischen den maturen Individuen und den Infans II aus Bernau. Die adulten Individuen und die Infans II aus Bernau weisen einen signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) in der Cd-Belastung auf, genauso wie die adulten Individuen und die Infans II aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ).

Blei lagert sich als Schadstoff in Knochen und Zähnen ab. Blei und seine Verbindungen gehören zu den starken Umweltgiften. Im Mittelalter fand Blei bei der Verglasung von Kirchen u. Domen sowie als Abdeckung von Gebäuden Verwendung. Nach der Erfindung des Schießpulvers um 1320 diente Blei sehr bald zur Herstellung von Munition.

Als um 1450 die Buchdruckerkunst Bleilettern einzusetzen begann, ergab sich wiederum ein neues Anwendungsgebiet für den Werkstoff Blei. Bei einmaliger Aufnahme von Blei oder Bleisalzen ist kaum eine Giftwirkung zu bemerken. Jedoch selbst Mengen von einem Milligramm pro Tag, über einen längeren Zeitraum eingenommen, werden im Körper gespeichert und erzeugen eine chronische Vergiftung, die sich in Kopfschmerzen, Müdigkeit, Abmagerung und Defekten der Blutbildung, des Nervensystems und der Muskulatur zeigt.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 76:** Ermitteltes Blei in ppm in den Bodenproben von *Bernau, Tasdorf und Usedom*, sowie in den Skelettfunden. Bei den Altersunterteilungen wurden die jeweiligen Mediane der Individuen dargestellt. Blei wurde z.B. lange Zeit als Hauptmaterial für Fensterfassungen eingesetzt, wie man es an ittelalterlichen Kirchenfenstern oft noch erkennen kann. Anzahl der Aggregationen, siehe Abbildung 64.

Die Bleibelastung der Proben zeigt Abbildung 76: Alle humanen Proben aus Bernau wiesen im Median 35,9 ppm Pb auf, die humanen Proben aus Tasdorf zeigten 5,5 ppm Pb in der Analyse und diejenigen aus Usedom 1,2 ppm Pb-Belastung im Median. Dies stellte einen höchst signifikanten Unterschied in der Bleibelastung von allen drei Orten untereinander dar ( $p \leq 0,001$ ). Die Schwermetallbelastung in Usedom war sehr gering, von einer buchstäblichen Belastung kann eigentlich nicht die Rede sein.

Die Männer und Frauen aus Tasdorf hatten eine signifikant unterschiedliche Pb-Belastung ( $p \leq 0,05$ ). Auch der Unterschied in der Pb-Belastung der Usedomer Männer und Frauen war signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Es wird die deutlich, dass die Bleiwerte der Frauen in Tasdorf niedriger sind als die Konzentrationen bei den Männern. Dieser Trend wird auch in Bernau deutlich, ist aber nicht signifikant. Dies könnte auf eine geschlechtsspezifische Tätigkeit im Bereich der Metallverarbeitung und auf ihren Kontakt mit Waffen zurückzuführen sein. Die Pb-Belastung der adulten Männer aus Tasdorf war signifikant unterschiedlich zu der aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ).

Die adulten Frauen aus Bernau und aus Usedom unterschieden sich signifikant in ihrer Pb-Belastung ( $p \leq 0,05$ ). Die maturen Männer aus Bernau zeigten 36,9 ppm Pb, die maturen Männer aus Tasdorf 32,2 ppm Pb und die maturen Männer aus Usedom 1,17 ppm Pb. Somit waren die Pb-Werte der maturen Männer aus Tasdorf und aus

## ERGEBNISSE

Usedom signifikant unterschiedlich, sowie die der maturaen Männer aus Bernau und die der maturaen Männer aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ).

Die Bernauer maturaen Frauen hatten eine Belastung von 42,8 ppm Pb, die maturaen Frauen aus Tasdorf 13,3 ppm Pb und die maturaen Frauen aus Usedom 1,2 ppm Pb. Dies ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Bernauer maturaen Frauen und den Tasdorfer maturaen Frauen ( $p \leq 0,05$ ), sowie einen signifikanten Unterschied zwischen den maturaen Frauen aus Bernau und aus Usedom. Die senilen Männer aus Bernau unterschieden sich in ihrer Pb-Belastung signifikant von denen aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ) und auch die senilen Frauen aus Bernau und aus Usedom wiesen signifikant andere Pb-Werte auf.

Die Bleibelastung der Jungen aus Tasdorf unterschied sich signifikant von der Pb-Belastung der Jungen aus Usedom ( $p \leq 0,05$ ) und unterschied sich ebenso signifikant von den Jungen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ). Es war also sowohl ein signifikanter Unterschied zwischen den Infans I aus Bernau und den Infans II aus Bernau feststellbar als auch zwischen den Infans I und II aus Tasdorf ( $p \leq 0,05$ ). Die Mädchen aus Bernau wiesen hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ) andere Pb-Werte aus als die aus Tasdorf und höchst signifikant andere Werte als die der Mädchen aus Usedom ( $p \leq 0,01$ ). Die Infans II aus Bernau wiesen signifikant andere Pb-Werte auf als die Adulten, die Maturaen, und die Senilen aus Bernau ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.5.4 Das Abstillen der Kinder

Das Spurenelementspektrum der Knochen lässt eine Abschätzung der durchschnittlichen Stilldauer zu. Die Kinder werden hierzu nach aufsteigendem Individualalter geordnet und an diesem „Längsschnitt“ diejenige Altersstufe ermittelt, auf der eine signifikante Konzentrationserhöhung jener Spurenelemente eintritt, welche überwiegend aus Vegetabilien aufgenommen werden. Auf diese Weise wird dasjenige Alter bestimmt, in dem die Kinder erstmals regelmäßig feste Nahrung, d.h. auch als Brei zubereitet, konsumierten. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

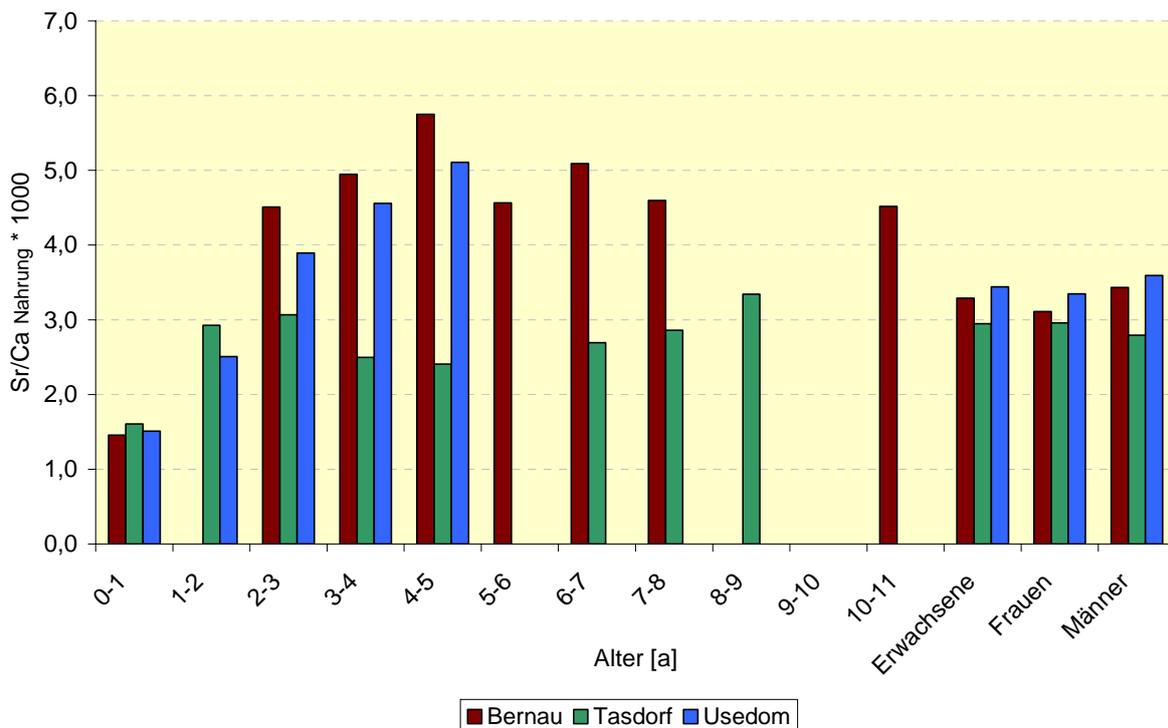


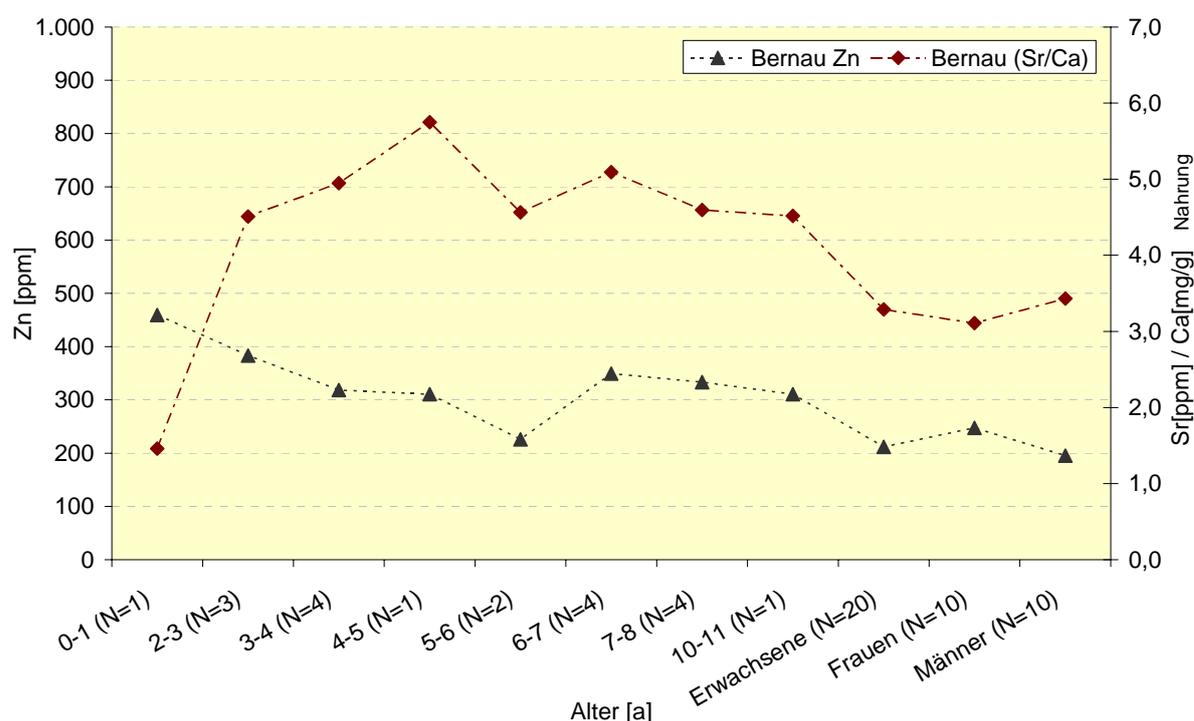
Abbildung 77: Veränderung der Sr/Ca-Verhältnisse in der Grundnahrung der Individuen aus *Bernau*, *Tasdorf* und *Usedom* mit dem Individualalter. Die Kinder werden nach aufsteigendem Individualalter geordnet und an diesem „Längsschnitt“ diejenige Altersstufe ermittelt, auf der eine signifikante Konzentrationserhöhung jener Spurenelemente eintritt, welche überwiegend aus Vegetabilien aufgenommen werden. ( $N_{\text{Bernau gesamt}} = 10$ ,  $N_{\text{Bernau Infans I}} = 18$ ,  $N_{\text{Bernau Infans II}} = 3$ ;  $N_{\text{Tasdorf gesamt}} = 10$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans I}} = 16$ ,  $N_{\text{Tasdorf Infans II}} = 2$ ;  $N_{\text{Usedom gesamt}} = 10$ ,  $N_{\text{Usedom Infans I}} = 15$ ,  $N_{\text{Usedom Infans II}} = 0$ ).

Abbildung 77 dient der Bestimmung des Entwöhnungsalters anhand von Spurenelementspektrern in den Kleinkinderskeletten von Bernau, Tasdorf und Usedom. Dies lässt sich durch eine Umrechnung des Sr/Ca-Verhältnisses im Skelett in das Sr/Ca-Verhältnis der Nahrung erreichen, wobei allerdings die Altersvariabilität des Diskriminierungsfaktors berücksichtigt werden muss.

## ERGEBNISSE

Ein Vergleich der altersspezifischen Nahrungsqualität für die Bevölkerungen von Bernau, Tasdorf und Usedom zeigt, dass die Grundnahrung der Erwachsenen, hier charakterisiert durch Sr/Ca, recht bald erreicht wird. Der regelmäßige Konsum von Vegetabilien in Tasdorf und Usedom ist bereits bei den Ein- bis Zweijährigen nachweisbar. Leider fehlen Kinder der entsprechenden Altersklasse aus Bernau.

Signifikante Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern in Bezug auf Sr/Ca bestehen in Tasdorf vom 2. Lebensjahr an nicht mehr. In Usedom und Bernau scheint erst mit zwei bis drei Jahren abgestellt worden zu sein. Die Stilldauer unterscheidet sich demnach zu der in Tasdorf um etwa ein Jahr.

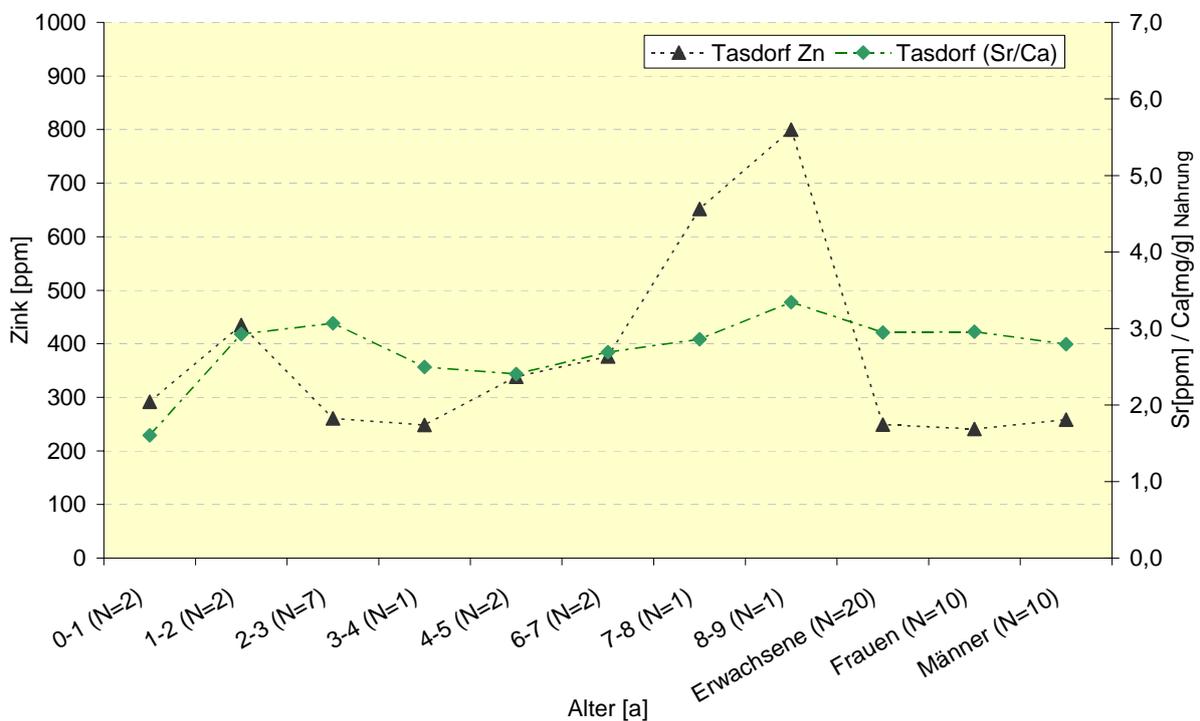


**Abbildung 78:** Veränderung von Zink und der Sr/Ca-Verhältnisse in der Grundnahrung der Individuen aus Bernau, mit dem Individualalter. Die Ernährungsumstellung während des Abstillens zeigt sich in einem charakteristischen Anstieg der Konzentrationen solcher Elemente, die in Pflanzennahrung angereichert sind, wie Sr und in einem Konzentrationsabfall solcher Elemente, die in Milch bzw. generell in tierischen Nährstoffen sind, wie Zn. ( $N_{\text{Bernau gesamt}} = 10$ ,  $N_{\text{Bernau Infans I}} = 18$ ,  $N_{\text{Bernau Infans II}} = 3$ ). Die Verbindungslinien sind lediglich zur Orientierung gedacht.

Abbildung 78 verdeutlicht noch einmal das Abstillen der Kinder in Bernau. Während der Sr/Ca im Alter von zwei bis drei Jahren signifikant ansteigt, fällt der Zink-Gehalt in diesem Alter ab. Der Entwöhnungszeitpunkt der Säuglinge, der ja letztlich auch nur zwei Altersgruppen voneinander trennt, wird hier deutlich. Säuglinge, die zunächst überwiegend, wenn nicht ausschließlich mit Muttermilch gefüttert werden, erhalten

anschließend eine Kleinkindnahrung<sup>26</sup>, die üblicherweise eine beträchtliche Menge pflanzlicher Bestandteile enthält.

Obleich den speziellen metabolischen Besonderheiten von sehr kleinen Kindern Rechnung getragen werden muss, äußert sich diese drastische Ernährungsumstellung in einem charakteristischen Anstieg der Konzentrationen solcher Elemente, die in Pflanzennahrung angereichert sind, wie Sr, und in einem Konzentrationsabfall solcher Elemente, die in Milch bzw. generell in tierischen Nährstoffen sind, wie Zn. Die Ergebnisse der stabilen Isotope bestätigen das Stillen des unter einem Jahr alten Kindes B 148/3 (vgl. Abbildung 25, Seite 59). Auch das Abstillen des zwei bis drei Jahre alten Kindes B 29/2 konnte mit den Ergebnissen verifiziert werden.



**Abbildung 79:** Veränderung von Zink und der Sr/Ca-Verhältnisse in der Grundnahrung der Individuen aus *Tasdorf*, mit dem Individualalter. Die Ernährungsumstellung während des Abstillens zeigt sich in einem charakteristischen Anstieg der Konzentrationen solcher Elemente, die in Pflanzennahrung angereichert sind, wie Sr und in einem Konzentrationsabfall solcher Elemente, die in Milch bzw. generell in tierischen Nährstoffen sind, wie Zn. ( $N_{Tasdorf\ gesamt\ \text{♀♀}} = 10$ ,  $N_{Tasdorf\ Infans\ I} = 16$ ,  $N_{Tasdorf\ Infans\ II} = 2$ ). Die Verbindungslinien sind lediglich zur Orientierung gedacht. Die Verbindungslinien sind lediglich zur Orientierung gedacht.

Interessanterweise steigen sowohl die Zn-Werte als auch der Sr/Ca in Tasdorf im Alter von ein bis zwei Jahren an, dargestellt in Abbildung 79. Wie bereits bei Abbildung 77 erwähnt, fehlen leider entsprechende Vergleichsindividuen in dieser Altersklasse in Bernau. In Tasdorf fällt der Zn-Wert ebenso wie in Bernau im Alter von zwei bis drei Jahren ab, während der Sr/Ca zeitgleich noch weiter ansteigt. Dass der Sr/Ca bereits im

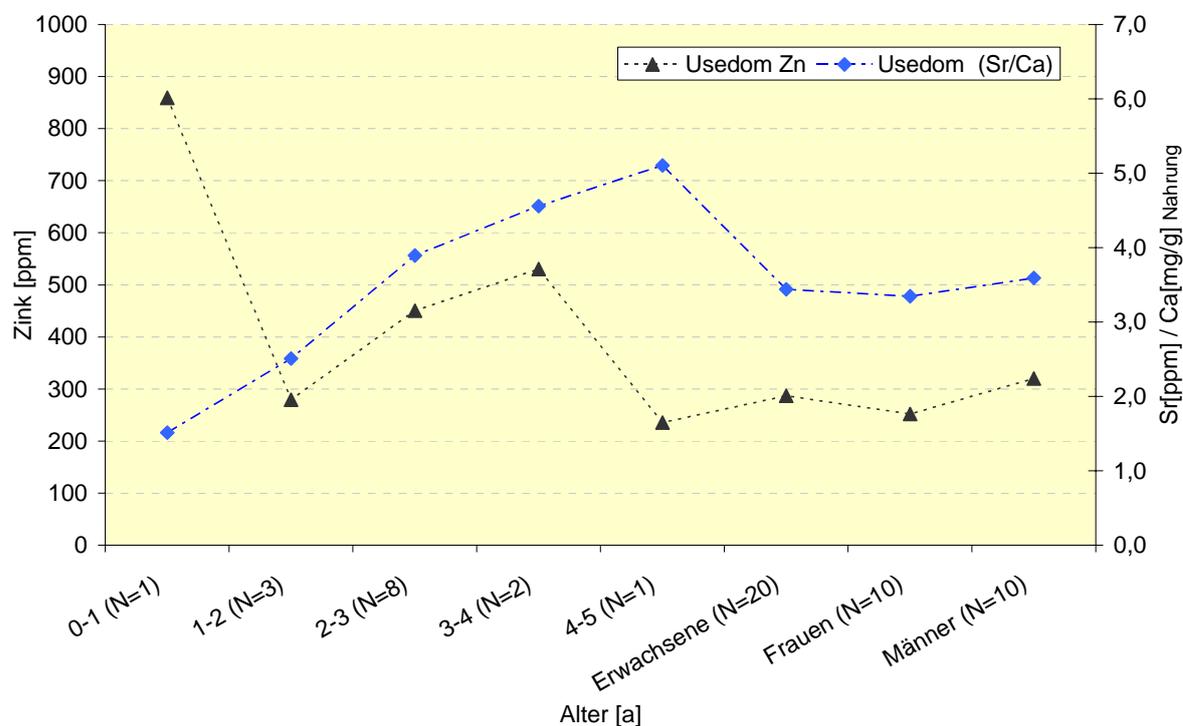
<sup>26</sup> vgl. hierzu den Diskussionpunkt 5.7 Kindheit im Mittelalter, Seite 162.

## ERGEBNISSE

Alter von ein bis zwei Jahren ansteigt, lässt auf eine Zufütterung mit Vegetabilien, z.B. Brei, in diesem Alter schließen.

Allerdings handelt es sich sowohl bei den unter Einjährigen als auch bei den Ein- bis Zweijährigen um jeweils nur zwei Individuen, dagegen bei den Zwei- bis Dreijährigen um sieben Kinder, so dass keine wirklich fundierte Aussage getroffen werden kann. Interessant ist noch einmal der signifikante Anstieg des Zinks bei den Acht- bis Neunjährigen, wobei es sich hier lediglich um ein Individuum, ein Mädchen, handelte. Der hohe Zn-Wert könnte somit auch ein Messfehler sein. Möglich wäre hier jedoch auch ein Kind, welches sich sehr fleischlich (viel Herbivorenmilch) ernährt hat.

Sowohl die Individuen die hier in die Altersklasse unter einem Jahr gezählt wurden, T<sub>MA</sub>194 und T<sub>MA</sub>240, als auch die Individuen zwischen ein und zwei Jahren, T<sub>MA</sub>125 und T<sub>MA</sub>223, deuten mit den Ergebnissen der stabilen Stickstoffisotope darauf hin, dass in diesem Alter sehr wohl noch gestillt wurde (vgl. Abbildung 27, Seite 61), während die Kinder zwischen zwei und drei Jahren sowohl mit den Ergebnissen der stabilen Isotope als auch mit den Ergebnissen der Spurenelementanalyse das Abstillen in dieser Zeit bestätigen. Anscheinend wurde bereits mit ein bis zwei Jahren zugefüttert, das Entwöhnen der Kinder von der Muttermilch war offenbar mit drei Jahren abgeschlossen.



**Abbildung 80:** Veränderung von Zink und der Sr/Ca-Verhältnisse in der Grundnahrung der Individuen aus *Usedom*, mit dem Individualalter. Die Ernährungsumstellung während des Abstillens zeigt sich in einem charakteristischen Anstieg der Konzentrationen solcher Elemente, die in Pflanzennahrung angereichert sind, wie Sr und in einem Konzentrationsabfall solcher Elemente, die in Milch bzw. generell in tierischen Nährstoffen sind, wie Zn. ( $N_{\text{Usedom gesamt}} = 10$ ,  $N_{\text{Usedom Infans I}} = 15$ ,  $N_{\text{Usedom Infans II}} = 0$ ). Die Verbindungslinien sind lediglich zur Orientierung gedacht.

Für die Usedomer Kinder zeigt sich in Abbildung 80 sehr deutlich das Abstillen im Alter von ein bis zwei Jahren. Es handelt sich bei dieser Altersgruppe um Kinder, die alle etwa anderthalb Jahre alt sind. Zn zeigte noch einmal einen Anstieg im Alter von drei bis vier Jahren. Da es sich hierbei um lediglich zwei Individuen handelt, sind Messfehler durchaus möglich. Der Anstieg beginnt bereits beim Alter von zwei bis drei Jahren (acht Individuen). Wurde hier vielleicht nochmals mit Milch, z.B. Tiermilch, zugefüttert?

Vergleicht man allerdings diese Werte mit denen der stabilen N-Isotope aus Kapitel 4.2.1 Das Abstillalter der Kinder, Seite 72, und hier insbesondere mit der Grafik in Abbildung 36 auf Seite 70, so kann dieser Verdacht nicht ganz bestätigt werden. Die Individuen U 117, U 176 und U 190 zeigen in den stabilen Stickstoff-Isotopen noch ein deutliches Stillsignal, während bei den Spurenelementen der Zn-Gehalt abfällt und der Sr/Ca ansteigt und somit eine Zufütterung von Vegetabilien anzeigt. Bis auf U 89, ein ca. dreijähriges Mädchen, weisen auch alle Individuen der Altersklasse zwischen zwei und drei Jahren auf Stillsignale in den stabilen Isotopen hin. Dies würde den mittelalterlichen Empfehlungen zur Säuglingsernährung entsprechen.