

---

title: Naturwissenschaftliche Studien und Methoden an archäologischen Muschelhaufen

---

*Niklas Hausmann*

Römisch Germanisches Zentralmuseum (RGZM) Leibniz Forschungsinstitut für Archäologie

#### Zusammenfassung:

Muschelhaufen sind ein global weit verbreiteter Typ archäologischer Fundstellen, der sowohl in prähistorischen als auch historischen Perioden aufzufinden ist. Im Gebiet Deutschlands sind allerdings nur wenige solcher Fundstellen bekannt, weshalb ihre Untersuchung bisher wenig Tradition hatte. In diesem Artikel lege ich den eigentlichen Wert dieser Fundstellen dar und fasse im Detail zusammen, wie und warum sie im Laufe der letzten Jahrzehnte in anderen Ländern dem Fach Archäologie große Dienste erwiesen haben. Die Methoden und theoretischen Modelle, die hierbei benutzt wurden, werden erklärt und letztlich gehe ich näher auf die deutschen Exemplare ein und rege eine neue Aufarbeitung dieses Fundstellentyps in Deutschland an.

## Einleitung

Von jedem Gewässer, das Muscheln und Schnecken beherbergte und das Menschen besucht haben, kann man ausgehen, dass diese dort auch gesammelt und verzehrt wurden. Es überrascht daher nicht, dass Muschelhaufen als Fundorte an fast allen gegenwärtigen und vergangenen Küsten der Welt in irgendeiner Form vorkommen. Für viele Regionen sind Muschelhaufen wichtige oder mitunter die einzigen erhaltenen Fundstellen, da sie gute Erhaltungsbedingungen für archäologische Artefakte, Tier- und Menschenknochen und andere organische Überreste bieten. Ihre auffällige Erscheinung in der Landschaft begünstigt zudem ihre gezielte Untersuchung. Die Schalen von Muscheln und Schnecken selbst bergen ebenfalls vielfältige Informationen, die im Vergleich zu anderen Fundtypen oft vernachlässigt werden. Obwohl die Forschung zu ihren Überresten in vielen Ländern eine lange Tradition hat, wurden standardisierte Verfahren und neue Methoden international entwickelt und diskutiert. Die letzte deutschsprachige Zusammenfassung zu Muschelhaufen datiert bereits 20 Jahre zurück (Noll, 2002) und konnte viele dieser Entwicklungen nicht berücksichtigen. Daher erscheint eine aktualisierte Übersicht angebracht, um Archäologen, die sich neu mit diesem Themenfeld befassen, eine solide Wissensgrundlage zu bieten und die Vorbereitung neuer Projekte zu erleichtern. Viele Analysemethoden für Muschel- und Schneckenschalen entstammen anderen Disziplinen oder wurden von diesen inspiriert, gehören jedoch mittlerweile fest zum archäologischen Instrumentarium von Muschelhaufenforschern. Die Grenzen zwischen Archäologie, Biologie, Ökologie, Geochemie und biomolekularer Chemie verschwimmen

zunehmend, wodurch viele Experten in mindestens einem dieser Fachbereiche versiert sind. Dies sollte Neulinge nicht abschrecken. Vielmehr unterstreicht es die fluiden Fachgrenzen in diesem Archäologiebereich. Im besten Fall fördert dies interdisziplinäre Kooperationen, ein vertieftes Verständnis der Zielsetzungen anderer Disziplinen und eine umfassendere Kenntnis des eigentlichen Forschungsgegenstands: des Menschen.

## Definition

Eine allgemeine Definition für Muschelhaufen als "absichtliche anthropogene Ansammlungen von Muschel- und/oder Schneckenschalen" wurde von Balbo et al. (2011, p. 147) vorgelegt und dient als sinnvolle Abgrenzung dieses variablen Fundtyps, dessen Hauptbestandteile meist marine Mollusken sind (Waselkov, 1987). Zu beachten ist, dass Muschelhaufen "nicht unbedingt eine homogene und eindeutige Art von Ablagerung oder Fundort repräsentieren, sondern eher ein Element in einer Kette von Ablagerungen sind" (G. Bailey & Hardy, 2021, p. 4). Hierbei sollten Sand, Erde und Muscheln sowie andere anthropogene Materialien und Strukturen wie Feuerstellen, Körpergräber, Gruben, Pfostenlöcher und Grubenwohnungen miteinbezogen werden (Dupont & Marchand, 2021; Gaspar, DeBlasis, Fish, & Fish, 2008).

Der Grund, warum im Deutschen der Begriff "Schneckenschale" nicht explizit im Namen auftaucht (also nicht "Muschel- und Schneckenhaufen"), liegt darin, dass im marinen Kontext der Fundstellen zwischen Muschel- (Bivalvia) und Schneckenschalen (Gastropoda) umgangssprachlich nicht unterschieden wird. Beide Arten von Weichtierschalen (Mollusca) werden unter dem Begriff "Muschelhaufen" subsumiert. Dies gilt ebenso für einfache Fundschichten mit hohen Konzentrationen beider Schalentypen. Im Englischen fällt beides unter den Begriff "shell", und in der Regel wird der Terminus "shell midden" (wörtlich: "Schalenabfallhaufen") verwendet. Unter "shell midden" existieren weitere Untergruppen wie "shell mound" und "shell scatter", die sich an Größe und Beschaffenheit der Fundstelle orientieren. Diese Kategorisierung kann subjektiv sein und schließt nicht aus, dass ein "shell mound" oder "shell scatter" aus mehreren Fundstellen bestehen kann. Üblicherweise wird "shell midden" als Oberbegriff für die meisten Muschelhaufen verwendet, "shell mound" für monumentale Anhäufungen reserviert (Marquardt, 2010) und "shell scatter" für flache, freiliegende Schichten oder Linsen. Zugleich existieren Fundstellen, die zwar hauptsächlich aus Muschel- und Schneckenschalen bestehen, jedoch zusätzliche Funktionen als Denkmäler haben oder für spezielle Zwecke angelegt wurden. Diese unterscheiden sich von Fundstellen, deren Entstehung eher ein Nebenprodukt einer anderen Tätigkeit war, wie beispielsweise dem Kochen und Verzehr der Weichtiere. Um diese Fundstellen nicht mit dem Begriff "Abfall" zu assoziieren, wird häufig der Terminus "shell-matrix-sites" verwendet. Ihr Hauptmerkmal ist, dass sie zu mindestens 50% aus Schalen bestehen ([Villagran 2019](#)). Diese 50%-Regelung kann problematisch sein, wenn absichtliche Schalenanhäufungen ebenfalls zu mehr als 50% aus Sedimenten oder anderem Fundmaterial bestehen. In solchen Fällen erweist sich die 50%-Grenze als zu unflexibel. Die Definition von Balbo et al., die den Fokus auf den gezielten, anthropogenen Charakter legt,

bietet hier eine inklusivere Lösung<sup>1</sup>. Eine grafische Übersicht, die zeigt, wie sich die verschiedenen Definitionen voneinander abgrenzen, ist in Abbildung 1 dargestellt.

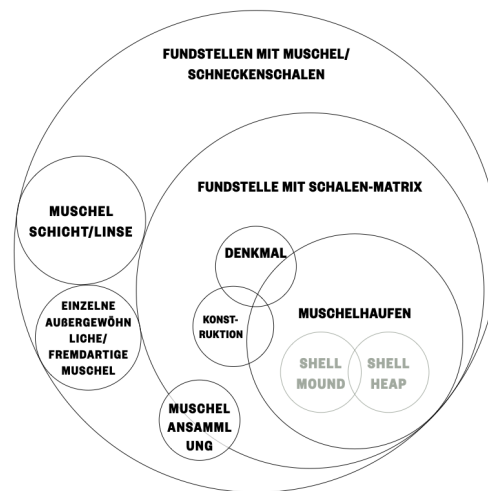


Abb. 1, Grafische Darstellung verschiedener Begriffe von Fundstellen mit Schalenfunden.

Da Menschen weltweit seit Jahrtausenden Muschelhaufen anlegen, existieren zahlreiche Bezeichnungen für solche Ablagerungen (N. Milner, 2002). Diese unterschiedlichen Namen resultieren aus diversen Faktoren wie Inhalt, Form, Funktion, Lage, Herkunft und Größe. So weisen beispielsweise die Muschelhaufen aus dem mittleren 7. bis späten 6. Jahrtausend v. Chr. in den Tälern von Muge und Sado im Südwesten Portugals häufig Körperbestattungen auf, die mit Fragmenten mariner Mollusken durchsetzt sind (Gutiérrez-Zugasti et al., 2011). Im Gegensatz dazu sind Körperbestattungen in den dänischen "Køkkenmøddinger" selten, da diese in einem eher ökonomischen Kontext entstanden sind und oft eine längliche oder ovale Form aufweisen, die sich bis zu 750 m entlang prähistorischer Küstenlinien erstrecken kann (Andersen, 2000). In den USA und in der japanischen Kanto-Region haben Muschelhaufen oft eine ring- oder hufeisenförmige Struktur und sind üblicherweise mit Grubenwohnungen sowie menschlichen und Hundebestattungen assoziiert (Habu, Matsui, Yamamoto, & Kanno, 2011; Thompson & Andrus, 2011), während die "Sambaquis" (brasilianisch für "Muschelhaufen", abgeleitet aus der Tupi-Sprache) im Süden Brasiliens sowohl für häusliche Besiedlung als auch für Bestattungszwecke genutzt wurden (Gaspar et al., 2008). Auf den Farasan-Inseln in Saudi-Arabien sind Muschelhaufen dagegen weitgehend frei von anthropogenen Materialien und Merkmalen (Geoff N. Bailey, Meredith-Williams, Alsharekh, & Hausmann, 2019).

Trotz der häufigen Nähe zu Küsten werden Muschelhaufen zunehmend auch in Seenähe und an Flussufern entdeckt. Beispiele sind der Muschelhaufen von Rinnukalns in Nordlettland, der vorwiegend aus der angeschwollenen Flussmuschel (*Unio tumidus*) besteht (Brinker et al., 2020), die Muschelhaufen des Green Rivers in Nordamerika (G. R. Milner & Jefferies, 1998) oder jene in der Guangxi Province in China (He, Yang, & Ning, 2009; Li, 2004). Alle diese Muschelhaufen bestehen überwiegend aus Kalziumcarbonatschalen, deren Zerbrechlichkeit je nach Spezies variiert (Allely, Holdaway,

<sup>1</sup> Leider gruppiert sie aber auch wichtige Denkmäler unter dem Begriff 'midden', was eine negative Konnotation mit sich bringt.

Fanning, & Bailey, 2021; Faulkner, 2011; Holdaway et al., 2017). Allerdings sind Konzentrationen von selbst leicht zerbrechlichen Schalen (z.B. Miesmuscheln) vergleichsweise gut erhalten, da sie als Ganzes Schutz vor äußeren Einwirkungen bieten und sich vergleichsweise schnell ansammeln, sodass sich dieser Schutz schnell aufbaut. Daher sind selbst in Gebieten mit hoher Bioturbation, wechselndem Grundwasserspiegel oder Wettereinflüssen Muschelschalen sehr gut erhalten (Cheryl Claassen, 1998; Hammond, 2014). Ähnliches gilt für andere Fundobjekte, v.a. Knochen, die von Schalen bedeckt und geschützt werden, und durch die chemische Pufferwirkung des Muschelkarbonats gute Erhaltungskonditionen erlangen (Corrêa et al., 2011). Durch die schnelle Deponierung und gute Funderhaltung ist die Ansammlung ganzer Haufen nicht selten. Internationale Beispiele erreichen Höhen von über 20 m und Volumen von über 10.000 m<sup>3</sup> (Figuti, 2008; Wagner, Hilbert, Bandeira, Tenório, & Okumura, 2011). Selbst stark erodierte Fundstellen, wie der Muschelhaufen im dänischen Visborg haben noch immer einen großen Fußabdruck, der auf die ehemalige Größe von 18.000 m<sup>2</sup> hinweist (Andersen, 1995). Diese Fähigkeit wurde in der Vergangenheit oft genutzt um mit ihnen bestimmte Konstruktionen zu planen und zu bauen (Thompson, Pluckhahn, Das, & Andrus, 2015), um als Teil eines Rituals Denkmäler zu schaffen (Cheryl Claassen, 2010) oder um durch bestimmte Formen des Muschelhaufens funktionale Zwecke zu erfüllen (Pluckhahn, Thompson, & Cherkinsky, 2015).

## Geschichte der Muschelhaufenforschung

### Anfänge

In Deutschland ist die Forschung zu Muschelhaufen stark von der dänischen Urgeschichte und den Ausgrabungen des 19. Jahrhunderts geprägt, die den Begriff "Køkkenmødding" (dänisch für "Muschelhaufen", wortwörtlich "Küchenabfallhaufen") international bekannt machten (Morlot, 1861; Steenstrup, Forchhammer, & Worsaae, 1851). Damit wurde einem Phänomen, das bereits weit verbreitet war, ein gemeinsamer Name gegeben, der im Deutschen, Englischen, Spanischen und anderen Sprachen Wiedererkennungswert hatte (Du Chatellier, 1881; Morlot, 1861). Aus diesem Grund gehe ich auf die Erforschung der dänischen Funde zuerst ein, obwohl, wie sich im Verlauf herausstellen wird, es mehrere Forschungsursprünge gab.

Obwohl die Entdeckung und Interpretation von Muschelhaufen als archäologische Fundstellen oft Jens Jacob Worsaae (dänischer Archäologe, 1821–1885) zugeschrieben wird (Álvarez, Briz Godino, Balbo, & Madella, 2011; Bibby, 1956; Gräslund, 1987), aufgrund seines Tagebucheintrags von September 1950<sup>2</sup> und aufgrund der darauffolgenden Chronologie der Jungsteinzeit (Worsaae, 1859), die zur gleichen Zeit internationale Bedeutung erlangte, ist dies wahrscheinlich nicht der eigentliche oder einzige Ursprung der dänischen Forschung an Muschelhaufen. Worsaae wurde bewusst, dass die Muschelschalen selbst von Menschen gesammelt wurden, allerdings war schon vorher klar, dass sie Teil oder sogar das Gerüst einer archäologischen Fundstelle waren. Zum Einen wurden schon 1832

---

<sup>2</sup> "these enormous piles of oyster shells must represent the remains of meals eaten by stone age people" - in (Gräslund, 1987)

archäologische Funde im Muschelhaufen von Krabbesholm gemacht, der allerdings erst später als solcher erkannt und erst 1888 von Madsen gezielt ausgegraben wurde (Brinch Petersen, 2015)<sup>3</sup>. Zum anderen, wird die Rolle von Japetus Steenstrup (1813–1897) oft unterschätzt, einem Biologen, der anfangs zwar die Deponierung der Muschelschalen durch Menschen angezweifelt hat, aber dem der archäologische Wert der Fundstelle sehr wohl bekannt war und den Namen “Køkkenmøddings” prägte (Brinch Petersen, 2015). Steenstrup ist heutigen Archäologen vor allem durch den späteren Diskurs mit Worsaae über die Gliederung des Neolithikums (Fischer & Kristiansen, 2002) bekannt, allerdings war er — im Gegensatz zu Worsaae, der erst später dazu stieß — ein Initiator der ersten Untersuchungskommission zu Muschelhaufen (Brinch Petersen, 2015). Steenstrup hatte vorher mit postglazialen Resten von Bäumen in Mooren gearbeitet und hier durch Artefakte Hinweise darauf gefunden, dass diese Gebiete zu einer Zeit von Menschen bewohnt waren, in der auch Baumarten vorkamen, die in seiner Zeit in Dänemark nicht verbreitet waren (Rowley-Conwy, 2007). Als Archäologieinteressierter, war ihm bewusst, dass dies nicht mit den zur dieser Zeit geltenden Chronologien Thomsens oder Nilssons übereinstimmte und diese Funde sehr wahrscheinlich älter waren. Zugleich sah er sich als Biologe nicht als erfahren oder bedeutend genug, um dieses Ergebnis in eine eigene archäologische Chronologie umzuwandeln (Rowley-Conwy, 2007). Zur gleichen Zeit war Steenstrup das Problem der erhöhten Muschelbänke (d.h. Muschelansammlungen unbekannter Herkunft, die oberhalb des Meeresspiegels lagen) seit mindestens 1837 bekannt, und dass es dort Hinweise auf menschliche Aktivität in der Form von Artefakten gab (Ørsted, Forchhammer, Eschricht, Steenstrup, & Scharling, 1848). Die Frage war allerdings, ob dies für alle bekannten Muschelbänke galt und warum sie oberhalb des derzeitigen Meeresspiegels lagen und nicht direkt am Ufer, wie normale, natürliche Muschelbänke. Zu diesem Zweck und als Folge von Steenstrups Vortrag zu Muschelhaufen an der königlichen Dänischen Akademie, wurde die erste Untersuchungskommission zu Muschelhaufen<sup>4</sup> gegründet. Obwohl Steenstrup, Worsaae und Forchhammer die drei genannten Wissenschaftler diese Kommission waren, kann man davon ausgehen, dass Steenstrup aufgrund seiner Erfahrung der führende Wissenschaftler dahinter war und dass die anderen Wissenschaftler vor allem ihre jeweiligen Fachrichtungen (Worsaae in der Archäologie, Forchhammer in der Geologie) repräsentierten. Ein Hinweis darauf ist, dass Steenstrup die Resultate der Kommission im Januar 1951 alleine vorstellte (Fischer & Kristiansen, 2002). Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Worsaae damals noch kein Mitglied der Akademie war und wahrscheinlich nicht sprechen durfte (Gron & Rowley-Conwy, 2018). Interessant ist in diesem Kontext, dass Steenstrup ein Jahr später an Charles Darwin (Evolutionbiologe, 1809–1882) schrieb, um über die Gemeinsamkeiten der dänischen Muschelhaufen mit denen, die Darwin in Südamerika auffand, zu betonen (‘Darwin Correspondence Project’, n.d.- Brief 1478A).

*“For the last years I have been much engaged with the observations, I have made in company with Professor Forchhammer and Mr Worsaae, inspector antiquitatum danicarum, of the remarkable*

---

<sup>3</sup> Siehe auch (Andersen, 2007) für eine andere Interpretation.

<sup>4</sup> Diese wurde erst nachträglich so genannt, nachdem weitere folgten, die speziell auf dem archäologischen Wert der Fundstellen basiert waren.

*mounds of shells, which are found on our coasts, and which were formerly regarded as raised beaches, but which we now with certainty can prove to be leavings from the meals of the eldest inhabitants. Likewise as in the mound of shells, derivating from the wild Indian tribes savages in America, we found these intermixed with haches, knives and other instruments of flint and bone, fragments of pottery, and many bones of quadrapeds, birds and fishes, which had been eaten."*

und danach

*"I pointed out at the meeting of the scandinavian naturalists held at Stockholm last Summer, [...] the result, that might be got, if similar researches of the remaining Indian heapes in America or in New Holland, cet. might be undertaken. I have already examined more than 30 of these ancient monuments, derivating from the eldest inhabitants and more than 3000 years back. More than 4000 bones and fragments of bones of quadrapeds I have already examined, and more than 300 of birds, many thousand of fishes.— Trough these and other researches it is proved, that the border of Dennemarck to that time consisted of many small Islands, which now are connected with the more continental parts of the Land, and therefore we now find shellheaps at a distance of 4–6 english miles from the coast."*

Zwei Besonderheiten sind diesem Brief zu entziehen. Erstens, betont Steenstrup seine eigene Arbeit an Muschelhaufen und den darin befindlichen Knochen und Artefakten, nicht die Arbeit zusammen mit Forchhammer und Worsaae, die zur endgültigen Charakterisierung der Muschelhaufen als Fundstellen führte. Daher wird von einigen Steenstrups Arbeit an den Knochenfunden der Muschelhaufen auch als Beginn der Umweltarchäologie dargestellt (Gron & Rowley-Conwy, 2018). Es ist ein Hinweis darauf, dass, zumindest aus der Sicht Steenstrups, die Rolle der Muschelhaufen als Fundstelle nicht ausschließlich durch Worsaaes Interpretation der Muscheln selbst als menschlicher Abfall Bedeutung fand, sondern vielmehr durch die Analyse der anderen Fundmaterialien die schon vorher gefunden wurden.

Zweitens, sind Steenstrup die Muschelhaufen anderer Kontinente (Amerika, Australien) bereits bekannt. Es stellt sich daher die Fragen, ob die Interpretation der dänischen Muschelhaufen als archäologische Fundstellen auf den Beobachtungen basiert, die Seefahrer von Menschen machten, die die Muschelhaufen aktiv genutzt haben. Darwin schrieb bereits 1839 über die südamerikanischen Muschelhaufen (Darwin, 1839), und die örtlichen Fischer, die diese benutzten. In einer späteren Publikation (Darwin, 1846) geht er auf die Funde anderer in Australien (George Frankland, Captain Grey) und Neuseeland (nicht namentlich genannte Kolonier) ein, die die Muschelhaufen der örtlichen Population zuschreiben. Ebenso schreibt Steenstrup an Peter Wilhelm Lund in Südamerika, der 1852 antwortet und zustimmt, dass die Resultate seinen Erfahrungen mit Muschelhaufen entsprechen (Brinch Petersen, 2015).

In einem ähnlichen Kontext beschreibt Christenson (Christenson, 1985) für das östliche Nordamerika wie der Zusammenhang zwischen Muschelhaufen und Ureinwohnern der "neuen Welt" schon seit dem 17. Jahrhundert bekannt war und dass die dortigen archäologischen Forschungen schon fast 100 Jahre vorher stattfanden.

Die "Entdeckung", der dänischen Muschelhaufen ist daher vielmehr eine Beschreibung eines Phänomens, das bereits bekannt war, durch eine international anerkannte Institution, der königlichen dänischen Akademie. Diese hatte im Vergleich zu Bewohnern der damaligen Kolonien eine höhere Stellung inne, und waren eher in der Lage eine neue Art von Fundstelle zu begründen, die von plötzlicher Bedeutung war, da sie nun auch in der Heimat vorkam.

Dementsprechend, ist es sinnvoll, den dänischen Ausdruck "Køkkenmøddinger" explizit den dänischen Fundstellen zuzuschreiben und ihn nicht für Muschelhaufen anderer Regionen zu verwenden.

Die Zusammenfassung der dänischen Kommission durch Adolph von Morlot (1827–1860) (Morlot, 1861) war hierbei besonders für englischsprachige Wissenschaftler von Bedeutung (Christenson, 1985).

## Muschelhaufen in Deutschland

Deutsche Exemplare steinzeitlicher Muschelhaufen sind seltener zu finden, als in Dänemark. Einer der Hauptgründe hierfür ist die Zerstörung bzw. Überflutung der prähistorischen Küsten im Folge des isostatischen Meeresspiegelanstiegs seit der letzten Eiszeit<sup>5</sup>. Diese Überflutung fand in geringerem Maße oder unter anderen Bedingungen in weiten Teilen Südskandinaviens statt, wo dementsprechend weniger Fundstellen zerstört oder unzugänglich gemacht wurden (G. Bailey, Jöns, Galanidou, Peeters, & Mennenga, 2020). Dennoch sind einige Muschelhaufen bekannt, viele davon aus späteren Zeiten als Worsaaes Mittelsteinzeit oder Jungsteinzeit, obwohl es mit Quern-Neukirchen LA 28 (Tegelbarg) zumindest einen fest datierten Muschelhaufen aus der Jungsteinzeit gibt (V. Arnold, Hartz, Heinrich, Mischka, & Müller, 2011; Volker Arnold, 1974; Fernandes et al., 2012; Höfgen, 2018) und einige mittelsteinzeitliche Fundstellen entlang der Ostsee weisen Schalenreste essbarer Muschelspezies in den artefaktreichen Fundschichten auf<sup>6</sup>. Der Fundplatz Quern-Neukirchen LA 28 Tegelbarg ist in seiner Komposition den dänischen Muschelhaufen nicht unähnlich. Neben den marinen Überresten fanden sich ebenso Knochen terrestrischer Wildtiere, sowie domestizierte Rinder, Schaf/Ziegen, Schweine und Hunde (Reichstein, 1975), was auf eine nahegelegene Siedlung hindeutet und die anfängliche Interpretation als einfachen Fangplatz erweitert (Volker Arnold, 1974). Muschel- und Schneckenschalen

---

<sup>5</sup> Dieser Anstieg ist eine Folge der Erdkrustenverformung, nachdem die damaligen Eismassen abschmelzten und die resultierende lokale Vertiefung bzw. die Anhebung der umrandenden Erdkruste sich zurückbildete. Dieser Vorgang findet noch immer statt.

<sup>6</sup> Fundschichten mit Schalen essbarer mariner Muscheln und/oder Schnecken: Wangels LA 505, Neustadt LA 156, Grube-Rosenfelde LA 83 (Hartz et al., 2014) und Grube-Rosenhof LA58 (Hartz, Kalis, Klassen, & Meurers-Balke, 2011), wobei nicht ausgeschlossen ist, dass diese aus natürlichen Ablagerungen stammen können.



wurde in der Form von Linsen oder Brocken geborgen und nicht in den sonst üblichen Schichten oder Haufen. Auch die Menge der Schalenreste liegt bei weitem unterhalb derer, die in ungestörten Muschelhaufen vorkommen. Dies und die Lage der Fundstelle unterhalb des Meeresspiegels bzw. des örtlichen Grundwasserspiegels, deutet darauf hin, dass der Muschelhaufen durch marine Erosion im Zusammenhang des steigenden Meeresspiegel im mittleren Holozän gestört und über weite Gebiete verstreut wurde, sodass nur vereinzelte Konzentrationen von Schalen aufgefunden werden konnten.

Die jüngeren Muschelhaufen Norddeutschlands, die ab der Bronzezeit und vor allem in der Eisenzeit auftauchen, sind weiter verbreitet und finden sich entlang der Ostseeküste sowie auf einigen Nordseeinseln (Harck, 1973).

In Flensburg sind Muschelhaufen seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt (Harck, 1973; Philippsen, 1924). Diese wurden aufgrund der Funde und Lage sowohl in die meso- und neolithische Steinzeit, als auch in die Eisenzeit datiert. Die steinzeitlichen Fundstellen wurden ausschließlich durch Baggerarbeiten entdeckt, die für die Arbeiten am Hafen benutzt wurden und die Unterwasserfundstellen angruben. Hierdurch kamen steinzeitliche Artefakte und Überreste von Wirbeltierknochen zu Tage, sowie Austernschalen in Kielseng. Harck (1973) geht davon aus, dass die anderen Unterwasserfundstellen ebenfalls Muschelschalen erbracht haben, diese aber nicht von Interesse für die Ausgräber waren und daher nicht aufgenommen wurden.

Alle Muschelhaufen, die sich oberhalb der Wasseroberfläche befinden, fallen aufgrund ihrer Lage aber auch ihrer Zusammensetzung in die Eisenzeit. Vor allem die Keramikfunde deuten auf diese Datierung hin. Aber auch die gefundenen Muschel- und Schneckenspezies deuten auf eine andere Ökologie der marinen Umgebung hin, die eher mit der unseren anstatt der steinzeitlichen verglichen werden kann (Anger, 1973). Die Schalen der Muschelhaufen am Flensburger Ostseebad wurden ebenfalls auf ihre Saisonalität untersucht, um zu verstehen, wie die Sammlung von Muscheln und Schnecken in die allgemeine Subsistenz der eisenzeitlichen Bauern passt. Die Methodik hierzu war nur grob und basiert auf der Häufigkeitsverteilung der Gesamtlängen der Exemplare nach Spezies. Diese Methode hat viele Nachteile und wird daher heute nicht mehr benutzt (siehe unten [Saisonalität/Sklerochronologie](#)), allerdings ist die Studie von Anger eine der ersten in Deutschland, die in diesem Sinne im archäologischen Kontext angewandt wurde. Seine Interpretation war, dass zumindest an einer der Fundstellen Muscheln und Schnecken im Spätsommer/Herbst gesammelt wurden.

Mehrere Dutzend Muschelhaufen befinden sich entlang der Eckernförder Bucht und dem damit verbundenen Windebyer Noor (Offermann, 2018; Rothmann, 1912; Voss, 1968). Diese wurden vor Kurzem durch Offermann aufgearbeitet (Offermann, 2018) und neue Kohlenstoffdatierungen am Muschelhaufen Eckernförde (Stadt) LA 56 setzen diesen in das 7. bis 12. Jahrhundert und daher jünger als gedacht. Ob dies auf die restlichen Muschelhaufen übertragbar ist, wird sich durch weitere Forschung zeigen. Der Fundplatz LA 56 leidet unter einem allgemeinen Fundarmut, eine Charakteristik, die auch auf andere frühgeschichtliche Muschelhaufen zutrifft. In anderen Kontexten werden fundarme Muschelhaufen mit dem Handel von Muschel- und Schneckenfleisch in Zusammenhang gebracht (Hardy et al., 2016) und dem spezialisierten Kochen und Entfernen der Schale, das im großen Maßstab und direkt am Wasser stattfindet, um das Transportgewicht zu verringern (Niklas Hausmann, Meredith-Williams, Douka, Inglis, & Bailey, 2019; Meehan, 1975). Ob dies auch in Eckernförde zutrifft könnte sich in Zukunft durch weitere



Ausgrabungen zeigen und durch eine bessere Eingliederung der Fundstellen in die umgebenden Siedlungen der Eisenzeit und des Früh- bis Hochmittelalters.

Weitere Muschelhaufen, die in die vorrömische Eisenzeit und römische Kaiserzeit datieren, sind auf den nordfriesischen Inseln aufzufinden. Darunter fallen die Fundstellen Dunsum, Goting und Utersum auf Föhr, Nebel und Norddorf auf Amrum und Kampen und Keitum auf Sylt (Harck, 1973). Die Fundkontexte dieser Fundstellen sind vergleichsweise reich an Artefakten und Befunden. Sie ähneln weniger einer Sammlungsweise von Muscheln und Schnecken, die aus wirtschaftlichen Gründen stattfindet, sondern eher einer, die durch Eigenverzehr begründet ist. Dies lässt sich daraus schließen, dass das Kochen der Muscheln weniger spezialisiert stattfand und vom verarbeiten anderer Tiere begleitet wurde (U. Schmölcke & Breede, 2005). Ebenso finden sich Mahlsteine im selben Kontext, was auf den Nutzen des Muschelhaufens eher als allgemeinen statt speziellen Abfallhaufen hindeutet (Kersten & La Baume, 1958).

Dieser Unterschied zu den Muschelhaufen der Ostsee lässt sich auch in der relativen Lage der Fundstellen zu Siedlungen finden. Muschelhaufen an der Nordsee sind in der Nähe von Bauernsiedlungen zu finden, während die an der Ostsee keinen Siedlungen zuzuordnen sind (Harck, 1973). Der Grund hierfür könnte ebenfalls der unterschiedliche Nutzen des Nahrungsmittels sein. Für die Bauernsiedlungen der Nordsee ist die Muscheln- und Schneckennutzung daher eher ein Teil ihrer eigenen Subsistenz, während die Nutzung an der Ostsee eher eine wirtschaftliche darstellen könnte, die das an den Fundstellen extrahierte Fleisch — eventuell zusammen mit Fisch — weiter an im Inland liegende Siedlungen verteilt. Es ist anzunehmen, dass dieser Transport auf den Inseln der Nordsee weniger notwendig ist, da die Ressource gleichmäßiger zwischen den Siedlungen verteilt ist.

Neben den oben beschriebenen Fundstellen die eindeutige anthropogene Schalendeponierungen aufweisen, gibt es ebenso weniger eindeutige Funde essbarer Muscheln und Schnecken in mesolithischen und neolithischen Küstenfundstellen. Dies ist besonders der Fall in Unterwasserfundstellen der Ostsee. Eine der best untersuchtesten, steinzeitlichen Buchten Deutschlands, die Wismarbucht, zeigt zum Beispiel eine fundplatzreiche, versunkene Küstenlandschaft auf mit vielen Hinweisen auf marine Subsistenz (Hauke Jöns et al., 2020), die den dänischen Fundstellen der gleichen Zeit ähnelt. Allerdings wurden keine Muschelhaufen, Schichten, Linsen oder Brocken wie zum Beispiel in Quern-Neukirchen LA 28 Tegelbarg gefunden, was darauf hinweist, dass hier keine Muscheln und Schnecken verzehrt wurden. Dennoch weisen einige Fundschichten (z.B. in Timmendorf-Nordmole I-III) substanzielle Anteile an essbaren Muscheln auf (H. Jöns, Lübke, Lüth, & Terberger, 2007; Kloß, Lübke, & Mahlstedt, 2009; Lübke & Schmölcke, 2010)<sup>7</sup>. Diese Schalen kommen leider auch natürlich in den umgebenden Sediment vor und es ist schwierig festzustellen, ob ein erodierter Muschelhaufen der Grund für diese Schalen ist. Neue Ergebnisse an den untergegangenen Muschelhaufen in Hjarnø Sund (Astrup et al., 2020; Hale et al., 2021; Skriver, Borup, & Astrup, 2017) zeigen, dass Muschelhaufen unter Wasser in verschiedensten Zuständen erhalten sein können. Um festzustellen, ob die

---

<sup>7</sup> Ebenso Wangels LA 505, Neustadt LA 156, Grube-Rosenfelde LA 83 (Hartz et al., 2014) und Grube-Rosenhof LA58 (Hartz et al., 2011).

Schalen der essbaren Muscheln aus einem ehemaligen oder teilweise erodierten Muschelhaufen stammen, bedarf es weiterer interdisziplinärer Forschung. Unter anderem müssten die Schalen gezielt aufgenommen und quantifiziert werden. Gerade in Anbetracht der großen Auswahl an Arten von Muschelhaufen, -schichten und -linsen (siehe [Definition](#)), ist nicht auszuschließen, dass zumindest kleinere Mengen an Schalen essbarer Muscheln und Schnecken zusammen mit anderen tierischen Resten und Artefakten deponiert wurden. Es sind gerade die Unterwasserfundstellen, die auf die Möglichkeit gestörter Muschelhaufenschichten genauer untersucht werden sollten, da sie für die Steinzeit die wenigen Exemplare entlang von Küsten bieten, die für Archäologen verfügbar sind.

## Methoden in Muschelhaufen und an Muscheln

Aufgrund ihrer hohen Dichte an organischem Material (Schalen, sowie Knochen anderer Tiere), eignen sich Muschelhaufen und muscheldichte Schichten besonders gut für naturwissenschaftliche Analysen der Archäozoologie und den Umweltwissenschaften. Hierbei liegt traditionell der Fokus auf der Zusammensetzung der menschlichen Ernährung sowie der örtlichen ökologischen Habitate, auf deren Nahrungsressourcen zugegriffen wurde. Beide Fragestellungen werden durch taxonomische ("welche Tiere?") und quantitative ("wie viele davon?") Daten beantwortet und nehmen einen großen Teil der Forschung an Muschelhaufen ein (Ceci, 1984; Cheryl Claassen, 1998; Fernández-López de Pablo & Gabriel, 2016; Habu et al., 2011; Niklas Hausmann, Meredith-Williams, & Laurie, 2021; Miszaniec, Darwent, & Darwent, 2019; M. E. Prendergast & Lane, 2010; H. Robson, Andersen, Craig, Ritchie, & Others, 2013; Ulrich Schmölcke et al., 2016; J. C. Shackleton & Van Andel, 1986). Die Methoden, mit denen Muschelhaufen heute untersucht werden, sind allerdings vielfältiger geworden und Muschelschalen haben zusätzlichen Wert in der Datierung von Fundschichten bekommen, sowie in der geochemischen Analyse von Palaeotemperaturen, zur Rekonstruktion vergangener ökologischer Bedingungen und jahreszeitlichen Veränderungen in der Subsistenzwirtschaft.

> Nutzen für moderne Fragen: Klima, Shifting Baseline, Generational Amnesia

## Archäozoologisch (Campbell)

Archäozoologische Informationen<sup>8</sup> über die Zusammensetzung des Muschelhaufens geben in der Regel einen ersten Eindruck über den Nutzen der Fundstelle und gehören zu den ersten analytischen Schritten ihrer Interpretation. Mit dem Sammeln von Muscheln und Schnecken findet immer ein Entscheidungsprozess statt, der die bestimmten Eigenschaften der Spezies mit den derzeitigen Anforderungen der Sammler abwägt. Menschen haben Muscheln und Schnecken aus verschiedenen Gründen gesammelt und obwohl Nahrung oft

---

<sup>8</sup> Oder in Falle von Mollusken "malakologische" Informationen vom griechischen μαλακός (malakos = weich)

der Hauptgrund ist, sind andere Verwendung (z.B. als Fischköder, zur Farbstoffproduktion, als Werkzeugmaterial oder Baustoff) (Chilardi, Guzzardi, Iovino, & Rivoli, 2005; Minniti, 2005; Reese, 1980; Ruscillo, 2005; Serrand, Vigne, & Guilaine, 2005) nicht auszuschließen oder sogar wahrscheinlich. Ebenso gibt es verschiedene Methoden mit denen das Fleisch der Schale entnommen wird. Einigen Spezies ist es leichter zu entnehmen (N. Milner & Barrett, 2012) als anderen, die sich erst durch Hitze von der Schale lösen (Oertle, 2019). Wenige Spezies können im rohen Zustand transportiert werden (z.B. Austern (Winder, 2017)) und meist werden sie direkt am Strand in Massen gekocht oder geröstet, entweder für den Verzehr vor Ort oder in nahegelegenen Wohnplätzen oder auch zum Handel (Hardy et al., 2016).

- Species diversity, how to tackle, how to look up, recent changes in species name.
- What to do with indeterminate fragments (p165 in Zooarch.)

Obwohl der Tierstamm der Mollusken weit über 40.000 Spezies zählt (Rosenberg, 2014) ist die Menge der Spezies, die in Muschelhaufen vorkommt weit geringer. Da sie gezielt von Menschen gesammelt wurden, finden wir vor allem die Spezies vor, die im Flachwasserbereich vorkommen und mindestens einen Nutzen haben. Daher sind oft Spezies anzufinden, die wir auch heute noch benutzen: Austern (z.B. *Ostrea* sp., *Crassostrea* sp.), Herzmuscheln (z.B. *Cerastoderma* sp.), Miesmuscheln (z.B. *Mytilus* sp.), aber auch Napfschnecken (z.B. *Patella* sp., *Cellana* sp., *Nacella* sp.) und Strandschnecken (z.B. *Littorina* sp.). Diese fallen in zwei Klassen, die Bivalven und Gastropoden, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Anatomien unterschiedlich in ihrer Erforschung behandelt werden müssen.

## Bivalven (Muscheln)

Ihrem Namen entsprechend bestehen die Schalen von Bivalven aus zwei Teilen (links und rechts), die durch ein Schloss verbunden sind. Das Schloss befindet sich am Umbo (Wirbel), dem ältesten Teil der Schale. Oft kann man an der Form des Schlosses die genaue Spezies erkennen, sollte der Rest der Schale nicht erhalten oder nicht eindeutig genug sein. Die Ernährung von Muscheln ist unterschiedlich, wobei der Hauptteil sich durch das Filtern von im Wasser befindlichen Plankton ernährt. Andere Spezies, wie z.B. die Riesenmuschel (*Tridacna* sp.) erhalten Nährstoffe von Algen, die durch Photosynthese im Bereich ihrer Lippen wachsen. Dadurch können letztere zur indirekten Messung der Sonneneinstrahlung genutzt werden (Warter & Müller, 2017). Austern und Miesmuscheln verbringen die meiste Zeit ihres Lebens an einem Ort und binden sich früh an festem Untergrund (weshalb Miesmuscheln auch Pfahlmuscheln genannt werden). Dieser Untergrund kann auch eine andere Muschel sein und führt unter den richtigen Bedingungen zum Aufbau mehrschichtiger Muschelbänke (Rodriguez et al., 2014).

Zur archäologischen Untersuchung werden Muschelschalen auf ihre Größe gemessen, was für jede Spezies unterschiedlich ist. In der Regel wird die Länge der gesamten Schale vom Schloss beginnend gemessen, sowie die maximale Breite im rechten Winkel zur Länge. Um die Menge an Proben zu vergrößern kann auch die Länge des Schlosses gemessen werden, das aufgrund seiner hohen Dichte besser erhalten ist und zahlreicher vorkommt. Da jede Seite des Schlosses unterschiedlich geformt ist, kann man sie auch zur Bestimmung der

kleinsten Anzahl von Individuen ( kurz MIZ für Mindestindividuenzahl oder englisch MNI, Minimum Number of Individuals) benutzt werden (siehe unten [MIZ](#)).

## Gastropoden (Schnecken)

Schnecken sind ausnahmslos mobil und haben eine sehr vielfältige Ernährung, die vom Filtrieren und Grasen zum Jagen und Fleisch fressen reicht. Sehr viele Schneckenschalen sind spiralförmig und ihre Schale besteht aus nur einem Teil (im Vergleich zu den zwei Schalenteilen der Bivalven). Eine Ausnahme bieten die Napfschnecken, die ihre Schale erst spiralförmig und dann radial oder kreisförmig in einen Kegel wachsen lassen. Schnecken sind in sehr vielen marinen Lebensräumen anzufinden. Die Napfschnecken haben ihren Lebensraum vor allem an Felsküsten, wo sie zusammen mit Kreiselschnecken (*Trochidae*) anzutreffen sind. Ein weiteres Merkmal vieler Schnecken ist ihr Operculum (Deckel), mit dem sie den Eingang ihrer Schale schließen können. Einige Spezies (z.B. *Strombus* sp.) benutzen ihre gespitzztes Operculum auch zur Fortbewegung, indem sie es in den Boden stecken und sich daran nach vorne ziehen oder springen. Beide Teile, Schale und Operculum, können in Fundstellen angefundnen werden, wobei erstere aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung besser oft erhalten sind.

Schneckenschalen werden Spezies-spezifisch vermessen, wobei die Länge in der Regel von der Spitze entlang der Hauptachse der Spirale gemessen wird. Es können auch bestimmte anatomische Merkmale (z.B. das Operculum oder die Schalenöffnung) stellvertretend für die Gesamtgröße der Schale eintreten. Bei Napfschnecken wird die Länge der Schale an der unteren Öffnung von vorne nach hinten gemessen. Die Form des Kegels ist oft asymmetrisch mit einer steileren Seite am vorderen Ende. Dieser Unterschied zwischen vorder- (anterior) und Hinterseite (posterior) entwickelt sich verstärkt im Alter und kann auch durch den Lebensraum bedingt sein. Die Breite der Schale wird im rechten Winkel zur Länge gemessen, die Höhe von der Spitze zur Öffnung, ebenfalls im rechten Winkel.

## Probenentnahme (Claassen chapter 4, campbell in allen 277, rollins 1990)

Welche genauen Fragestellungen untersucht werden, sollte vor der Ausgrabung der Muscheln festgelegt werden, um eine problemlose Beprobung zu erlauben und die Sammlung unnötiger Mengen von Muscheln zu verhindern. Diese Entscheidung dient dazu, dass ein möglichst großer Teil der Fundstelle erhalten bleibt und dass nicht zu viel Material archiviert werden muss. Das spart Zeit und Kosten bei der Lagerung.

Muschel- und Schneckenschalen kommen oft in großen Mengen vor, viel größere Mengen als andere Fundarten. Selbst kleine Mahlzeiten oder Snacks hinterlassen oft genug Schalen, um statistischen Tests zu unterlaufen. Dazu kommt, dass viele Schalen zerbrechlich sein können und dadurch leicht in viele weitere Teile fragmentieren. Das Resultat sind sehr viele

Schalen und Schalenfragmente, die gesammelt und analysiert werden müssen, ohne einen offensichtlichen Wert für Archäologen zu haben, die mit der Analyse von Schalen keine Erfahrung haben. Im Weiteren werde ich daher einige Methoden zur Probenentnahme darstellen und erklären, warum in manchen Fundkontexten oder für manche Analysen sehr viel mehr Schalen benötigt werden als für andere.

Als grobe Gruppierung der Fundkontexte verwende ich die Größe der Fundstelle und ihre Schalendichte. Hierbei unterscheide ich die Kategorien: Geringe Dichte (d.h. einzelne Schale, Ansammlung in sedimentreicher Schicht) und hohe Dichte (Ansammlung in schalenreicher Schicht, Linse, Muschelhaufen, Denkmal/Konstruktion).

In Fundstellen mit geringer Dichte können Schalen mehr oder weniger konzentriert vorkommen. An einem Ende des Spektrums sind einzelne Schalen oder kleinere Linsen und Schichten. Diese sollten in ihrer Gänze entnommen werden. Schichten mit wenigen Schalen, in denen normales Bodensediment den Hauptteil stellt, sollten taphonomisch untersucht werden, um zu überprüfen, ob die Schalen intrusiv sind und von anderen Schalenreicheren Schichten kommen. In diesem Fall müssen die Schalen nicht entnommen werden. Sollten sie allerdings die einzigen Schalen innerhalb der Fundstelle sein, ist die komplette Entnahme sinnvoll.

Schalenansammlungen können durch vertikale Serien von Sedimentproben beprobt werden, die in gleichmäßigen Abständen (z.B. 5 oder 10 cm) oder entlang von Schichtgrenzen entnommen werden. Hierbei sind die Angaben von Volumen und Gesamtgewicht der getrockneten Probe (einschließlich Sediment und anderem Material) nicht zu vergessen. Die Länge und Breite der Proben ist nebensächlich, solange sie angegeben werden und durchweg identisch sind. Es hilft, wenn sie der Größe der jeweiligen Schaufel entsprechen.

In Fundstellen mit so hoher Dichte, dass Schalen die Matrix der Fundschichten stellen, sollten an mehreren Stellen vertikale Serien von Sedimentproben entnommen werden. Zumindest eine dieser Stellen sollte die gesamte Chronologie der Fundstelle abdecken. Dies ist bei Muschelhaufen oft die dickste Stelle in der Mitte. Wo dies nicht der Fall ist, sollten überlappende Serien eine chronologische Untersuchung vom Anfang bis zum Ende der Stratigraphie ermöglichen. Auch die vertikalen Proben von schalenreichen Schichten müssen gewogen werden, obwohl deren Sedimentmengen geringer sind.

Vertikale Probenserien werden mit unterschiedlichen Maschenweiten gesiebt, die je nach Spezies und Fragmentierung gewählt werden. Hierzu gibt es keine klaren Regeln, jedoch sollte man versuchen, alle Schalen oder Knochenreste zu erhalten. Dies ist leicht, wenn man beide Fraktionen einlagert und gegebenenfalls weitere Male mit kleineren Maschenweiten siebt. Allerdings ist beim Sieben im Feld Vorsicht geboten, da aus Gründen der Effizienz oft nur einmal grob gesiebt wird und die kleinere Fraktion zusammen mit wichtigen Funden<sup>9</sup> im Abraum landet.

Um die Anteile der verschiedenen Spezies gewissenhaft zu bestimmen, hat sich über die Jahre hinweg die Methode des Nasssiebens etabliert, die im Vergleich zur Bestimmung von *in situ* Schichten, der Beprobung per Hand oder dem Trockensieben am Besten in der Lage ist, alle Funden zu erlangen, die in der Fundschicht vorhanden sind (Campbell, 2017; Dibble, Raczek, & McPherron, 2005; Graesch, 2009; Gron & Robson, 2016). Für die meisten Schalen der dominanten Spezies wird es kein Problem sein wahrgenommen zu werden,

---

<sup>9</sup> z.B. Fischknochen, kleine Muschel- und Schneckenarten oder verzierte Schalen.

allerdings ist dies für kleine Funde wie z.B. Fischknochen oder Schalen kleinerer Muscheln und Schnecken nicht der Fall. Obwohl die Letzteren sehr wahrscheinlich nicht gezielt für den Verzehr gesammelt, sondern zufällig mitgenommen wurden, können sie dennoch einen Hinweis auf die örtliche Ökologie geben, oder sind selbst hilfreiche Indikatoren auf jahreszeitliche Veränderungen in der Sammelweise (Sanger, Quitmyer, Colaninno, Cannarozzi, & Ruhl, 2020).

## Preparation

- Preparation (ZA 381)
- Environmental data (ZA 320 and following)

## Muscheln als Werkzeug oder material

### Relative Häufigkeit verschiedener Spezies

Die relative Häufigkeit der verschiedenen Muschel- und Schneckenarten gibt eine ungefähre Angabe darüber ab, welche Arten besonders oft oder in besonderem Umfang gesammelt oder gefischt wurden. Diese Messungen ermöglichen die diachrone und räumliche Erforschung von Umweltschwankungen und kulturellen Unterschieden. Relative Häufigkeiten von Tierarten werden zur Identifizierung spezialisierter Standorte oder zur Subsistenz und zum Vergleich der Tiernutzung durch bestimmte soziale Gruppen über Zeit und Raum hinweg verwendet. Sie werden auch verwendet, um die relative Bedeutung von Tieren in der Ernährung zu bewerten. Hierfür gibt es mehrere Methoden mit jeweils besonderen Eigenheiten, die oft statistische Methoden verwenden und robustere Resultate liefern, je einheitlicher und umfangreicher sie ausgegraben wurden. Drei Methoden sind hierbei besonders wichtig: Die Anzahl der identifizierten Exemplare (Number of identified specimens, NISP), die Mindestindividuenzahl (MIZ) und das Gewicht.

### NISP (ZA 202 + rest of chapter)

Die Anzahl der identifizierten Exemplare (NISP) ist die Anzahl der Knochen oder Schalenfragmente, die einer bestimmten Spezies zuzuordnen sind. In einigen Fällen, kann diese Anzahl direkt als Spiegelbild für die relative Häufigkeit bestimmter Spezies benutzt werden, allerdings setzt dies unter anderem voraus,

- dass die identifizierten Spezies eine identische Anzahl an Knochen oder Schalen pro Individuum aufweist (z.B. haben Schnecken meist eine Schale, Muscheln i.d.R. zwei; Fische sind daher schwerer mit beiden zu vergleichen),
- dass die identifizierten Spezies ähnliche Fragmentierungsvoraussetzungen haben (z.B. brechen Austern leichter und an mehr Stellen, als Venusmuscheln),
- dass die Fragmente der identifizierten Spezies mit ähnlichem Erfolg identifiziert werden können (z.B. sind Fragmente zweier Spezies von Napfschnecken schwerer zu unterscheiden, als die Fragmente von Napfschnecken und Miesmuscheln),
- dass die Überreste der identifizierbaren Spezies in gleichem Maße an der Fundstelle abgelagert wurde (z.B. eignen sich manche Spezies besser für den Transport, weil sie ein gutes Fleisch zu Schale Gewichtsverhältnis haben oder bleiben genießbar, obwohl sie weit ins Inland getragen wurden).

Insbesondere der letzte Aspekt ist für die Interpretation von Muschelhaufen wichtig, da viele dadurch entstanden sind, dass das Fleisch der Tiere direkt am Strand nach dem Sammeln von der Schale getrennt wurde und der eigentliche Verzehr, sowie der Verzehr aller anderen Nahrungsmittel woanders stattfand. Deshalb werden die quantitativen Daten von Muscheln und Schnecken oft nur mit einander und nicht direkt mit anderen Tierarten verglichen.

## MIZ

Die Mindestindividuenzahl ist die kleinste Anzahl von Tierresten, die man braucht um die Menge der gefundenen Überreste zu erklären. In der Regel liegen in Muschelhaufen Tausende bis Millionen individuelle Tiere vor. Allerdings können MIZ-Werte je nach Spezies und Fragmentierungsgrad sehr hilfreich sein, um Schlüsse über einzelne Kontexte zu ziehen. Die Probleme der unterschiedlichen Fragmente oder Einzelteile der Muschel und Schneckenschalen, werden bei der Messung der Mindestanzahl der Individuen fast komplett umgangen, indem spezifische anatomische Merkmale, die in jedem Tier nur einmal vorkommen gezählt werden. Eine Auster hat immer nur eine linke oder rechte Schale und die höchste Gesamtzahl der linken oder der rechten Austernschalen ist daher die Mindestanzahl der Individuen, egal wie stark diese fragmentiert wurden. In der Regel wird als anatomisches Merkmal ein relativ kleines und robustes Merkmal benutzt, dass nicht leicht zerbricht (z.B. der Verschluss von Muscheln oder die Spitze einer Schneckenschale). Von der Anzahl der Merkmale abgesehen, kann man auch andere Merkmale in die MIZ-Bestimmung mit einfließen lassen (Gutiérrez Zugasti, 2011; Thomas & Mannino, 2017). Das Alter, die Größe oder Farbmuster auf der Schale selbst können auch benutzt werden, um weitere Individuen zu finden, deren anatomisches Merkmal nicht gefunden wurde oder erhalten ist. Ebenso wie bei NISP, müssen speziesspezifische Unterschiede in der Identifizierung und Deponierung beachtet werden. So gibt es Arten, deren anatomische Merkmale sehr ähnlich sind und je nach Erhaltungsgrad nicht immer unterschieden werden können. Die Qualität und Vielfalt der Vergleichssammlung ist daher von besonderer Bedeutung bei MIZ-Bestimmung, damit die Existenz anderer, ähnlicher Spezies bekannt ist, sowie die anatomische Vielfalt innerhalb einer Spezies.

## Gewicht

Das Gewicht der Überreste pro Spezies wird nicht sehr oft benutzt und generelle Größen- und Gewichtsunterschiede zwischen Spezies müssen bei Vergleichen beachtet werden. Allerdings, kann das Gewicht dabei helfen den Fragmentierungsgrad des Materials zu quantifizieren und die Menge an Fleisch, das sich in den Schalen befand, zu rekonstruieren (García-Escárzaga & Gutiérrez-Zugasti, 2021; Thomas & Mannino, 2017). Hierzu werden moderne Referenzen eingewogen, um das Verhältnis zwischen Schalengewicht und Fleischgewicht zu bestimmen und dann auf die archäologischen Funde anzuwenden. Ähnliche Verhältnisse können auch mit Hilfe morphometrischer Messungen (z.B. Länge oder Breite) stattfinden, sind oft jedoch weniger genau. Diese Referenzen können auch dazu dienen, Schwankungen aufzuzeigen, die zwischen Geschlechtern auftreten oder zu verschiedenen Jahreszeiten (García-Escárzaga et al., 2019). Das Verhältnis zwischen



Schalengewicht (oder Länge) und Fleischgewicht ist nicht strikt linear, stattdessen nimmt das zusätzliche Gewicht der Schale mit zunehmendem Gewicht des Fleisches ab. Dies ist verstärkt der Fall für das Verhältnis von morphometrischen Messungen und Fleischgewicht. Diese Faktoren, die das Verhältnis zwischen den Gewichten für jedes individuelle Tier unterschiedlich beeinflussen, machen es problematisch, stark fragmentiertes Schalenmaterial für die Rekonstruktion des Fleischgewichts zu benutzen, da die Zugehörigkeit einzelner Fragmente nicht immer klar ist. Eine Studie der modernen Referenzen kann diese individuellen Unterschiede quantifizieren, um eine Fehlerspanne für diese Fälle zu berechnen.

Darüber hinaus sollte das resultierende Fleischgewicht nicht alleine als absoluter Wert für Interpretationen behandelt werden, sondern für den relativen Vergleich zwischen verschiedenen Tierarten und deren Nutzen als Nahrungsquelle dienen.

### Gruppen verschiedener Größen- und Altersstruktur

Durch morphometrische Messungen der Größe von Individuen, aber auch ihrer Länge, Breite oder dem Ausmaß bestimmter anatomischer Merkmale, die im engen Zusammenhang mit der Gesamtgröße des Tieres stehen (e.g. Giovas, Fitzpatrick, Clark, & Abed, 2010), lassen sich die Überreste von Schnecken und Muscheln weiter differenzieren, um Veränderungen im Wachstum oder der Demographie zu erkennen (Campbell, 2008). Diese Veränderungen können auf einen nachhaltigen Einfluss des Menschen oder der Umwelt auf die Population der Muscheln und Schnecken hindeuten (Rigaud & Gutiérrez-Zugasti, 2016). Die größten und ältesten Exemplare werden in der Regel bevorzugt verzehrt, wodurch sich die statistischen Parameter der hinterbliebenen Population verändern. Dies kann auf nachhaltige Weise geschehen, wenn zwischen dem Sammeln von Muscheln und Schnecken genug Zeit vergeht, sodass die entnommenen Exemplare durch Nachwuchs oder Migration ersetzt wurden, oder nicht nachhaltig, wenn zu viele der Exemplare, die für den Nachwuchs hauptverantwortlich sind, der Population entnommen und nicht rechtzeitig ersetzt werden können. Die nachfolgenden Sammlungen durch Menschen finden dann eine abgereicherte Form der Originalpopulation vor. Viele dieser Aspekte sind für Archäologen nicht direkt quantifizierbar, da nur der Teil der Population in Fundstellen erhalten bleibt, der entnommen und als Muschelhaufen deponiert wurde. Es wird aber davon ausgegangen, dass Populationen von oben nach unten gefischt werden und dass starke Veränderungen in der Altersstruktur der erhaltenen Exemplare, die Veränderungen im oberen Teil der Gesamtpopulation widerspiegeln (Mannino & Thomas, 2002).

Für eine Quantifizierung dieser Veränderung wird oft die durchschnittliche Größe bestimmt (Niklas Hausmann et al., 2021; Rick et al., 2016)<sup>10</sup>, obwohl diese nur ein Resultat des Wachstums und des Alters ist. So kann die durchschnittliche Größe abnehmen, weil Umweltbedingungen zu schlechteren Wachstumsverhältnissen führen, ohne jedweden menschlichen Einfluss. Der Weg aus diesem Dilemma ist die Bestimmung der Demographie, die sich durch schlechtere Umweltbedingungen nicht so ausgiebig

---

<sup>10</sup> Hierbei ist zu beachten, dass Durchschnittswerte mitunter kritisch zu betrachten sind, da diese nur eine simplistische Perspektive darauf bieten, wie sich die Populationsstruktur verändert hat (Campbell, 2008).

verändert, wie sie es unter menschlichem Einfluss tut. Ebenso lassen sich durch beide Messungen Veränderungen in der Wachstumsrate bestimmen (Toniello, Lepofsky, Lertzman-Lepofsky, Salomon, & Rowell, 2019), die direkt auf Veränderungen der Umwelt und der Wachstumskonditionen hinweisen.

## Interpretation

Wie kann man diese quantitativen Werte gezielt einsetzen, um archäologische Fragen zu beantworten oder Trends zu belegen? In einigen Fällen sind die Muster innerhalb der Sammlung oder die Unterschiede zwischen Fundstellen/Zeitstellungen so eindeutig, dass sie keiner statistischen Prüfung bedürfen und alleine durch Visualisierung kommuniziert und interpretiert werden können.

Hierzu können einfache Balken-, Säulen- oder Streudiagramme benutzt werden, aber auch Histogramme, Box-, Jitter-, Violin- oder Densityplots werden immer öfter benutzt und sind durch statistische Software (z.B. R oder PAST<sup>11</sup>) frei verfügbar (Hammer, Harper, Ryan, & Others, 2001; R Core Team, 2020).

Weniger offensichtliche Unterschiede oder Muster sollten im Detail betrachtet und statistisch evaluiert werden. Hierzu dienen eine Reihe statistischer Test, die in der Regel die Wahrscheinlichkeit quantifizieren, dass zwischen Datensätzen verschiedener Schichten, Befunde oder Fundstellen signifikante Unterschiede oder Beziehungen bestehen (Castelló & Others, 2014; Faulkner, 2009; Giovas et al., 2010; Niklas Hausmann et al., 2021). Bei diesen Tests werden Hypothesen geprüft, die ab einer beliebigen Wahrscheinlichkeit (meist weniger als 5% oder 1:20), abgewiesen werden. Durch die Tests wird diese Entscheidung statistisch signifikant<sup>12</sup>. Die Wahl des jeweiligen Tests basiert auf dem Kontext und der Art der Daten. Daher gibt es keinen one-size-fits-all Test, sondern bestimmte Tests für bestimmte Situationen oder Fragestellungen. Obwohl es eine große Anzahl an Tests gibt, werde ich hier nur auf einige eingehen, die häufig in der Archäologie und Paläoökologie eingesetzt werden<sup>13</sup>. Diese Tests richten sich zuerst nach der Art von Daten, wobei zwischen "kategorischen" oder auch "gruppierten" (d.h. Altersgruppen statt Alter in Jahren, Zeitperioden statt Zeit in Jahren, ebenso Fundstellen, Ausgrabungsschnitten, Spezies, Geschlecht, etc.<sup>14</sup>) und "numerischen" oder auch "kontinuierlichen" Daten (z.B. Größe in cm, Gewicht in g, Alter in Jahren) unterschieden wird. Je nachdem, welche Datensätze verglichen werden (kategorisch mit kategorisch, kategorisch mit numerisch oder numerisch mit numerisch), werden verschiedene Tests angewandt. Bei einem rein kategorischen Vergleich wird in der Regel ein Chi-Quadrat-Test oder ein exakter Test nach Fisher angewandt. Bei einem Vergleich von kategorischen mit numerischen oder rein numerischen Daten gibt es weitere Aufteilungen, die auch von der Menge und der Verteilung der

---

<sup>11</sup> R und PAST sind nur einige von vielen Software-Programmen, die allerdings dadurch, dass sie gratis sind, auch weit verbreitet sind. Besonders R hat den Vorteil einer großen Community, die für viele Arten von Forschungsbereichen spezielle Pakete und Ratgeber kostenfrei zur Verfügung stellt.

<sup>12</sup> Bei 1% spricht man von "sehr signifikant" und ab 0.1% von "hochsignifikant".

<sup>13</sup> Eine detaillierte Beschreibung welche Tests wann einzusetzen sind, befindet sich z.B. auch in Nayak und Hazra (2011) sowie in McDonald (2014).

<sup>14</sup> Diese werden weiter in ordinale, nominale und binäre Daten gruppiert. So liegen bei ordinalen Daten eine bestimmte Reihenfolge vor (z.B. Kinder, Jugendliche, Erwachsene), während nominale Daten frei anzuordnen sind (z.B. Kuh, Schaf, Elefant). Binäre Daten haben nur zwei Mögliche Antworten ohne eine festgelegte Reihenfolge (z.B. ja oder nein, vorhanden oder nicht vorhanden).

Datensätze abhängig sind (Tabelle 1). Bei der Verteilung wird in parametrisch und nicht-parametrisch unterschieden, was nur bedeutet, dass es von vornherein eine Annahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Daten gibt (z.B. dass die Daten normalverteilt sind<sup>15</sup>).

Untersuchte Datensätze	Parametrisch	Nicht-parametrisch
1 Datensatz <sup>16</sup>	Einfacher t-Test	Einfacher Wilcoxon-Test
2 Datensätze (ungepaart)	Doppelter t-Test	Wilcoxon-Rangsummentest
2 Datensätze (gepaart) <sup>17</sup>	Differenzen-t-Test	Mann-Whitney-U-Test
2 Datensätze (Korrelation) <sup>18</sup>	Pearson-Korrelation	Rangkorrelationskoeffizient
3 oder mehr Datensätze	Univariate Varianzanalyse	Kruskal-Wallis-Test

Tabelle 1, Übersicht verschiedener statistischer Tests für den Vergleich von numerischen Datensätzen mit Sollwerten oder anderen numerischen oder kategorischen Datensätzen.

## Datierungsmethoden

### <sup>14</sup>C-Datierung

Wie viele andere organische Funde lassen sich Muschel- und Schneckenschalen für <sup>14</sup>C-Datierungen nutzen. Das bestimmte Alter ist allerdings nicht die Todeszeit des Tieres selbst, sondern der Zeitpunkt an dem die Schale (oder der beprobte Teil der Schale) gebildet wurde. Marine Muscheln und Schnecken beziehen den Kohlenstoff (C) für ihre Schalen (CaCO<sub>3</sub>) zum großen Teil aus dem im Meerwasser gelösten, anorganischen Kohlenstoff (engl. dissolved inorganic carbon, DIC) und nicht direkt aus der Atmosphäre. Meerwasser kann Kohlenstoff über Jahrhunderte hinweg speichern, weshalb <sup>14</sup>C-Daten aus Muschel- und Schneckenschalen oft sehr viel älter sind, als die von nicht-marinen Tieren oder Bäumen, die zur gleichen Zeit lebten. Dieser Altersunterschied (Reservoir-Effekt oder ΔR) kann durch gepaarte Proben (d.h. Schale und Kohle oder Tierknochen aus dem gleichen Kontext) festgestellt und auf andere Schalenproben angewandt werden. Die großen Fundmengen in Muschelhaufen bieten in der Regel ausreichend Material, um Datierungen vorzunehmen und Schalen werden daher immer öfter in Studien benutzt (Douka, Bergman, Hedges, Wesselingh, & Higham, 2013; Niklas Hausmann et al., 2019; Jew, Rick, Glassow, & Arnold, 2015; Magnani et al., 2007; Sanchez et al., 2018; Stein, Deo, & Phillips, 2003). Dennoch gibt es einige Bedingungen, die erfüllt werden müssen, um robuste <sup>14</sup>C-Datierungen von Schalen zu erhalten. Darunter fallen: gute Funderhaltung,

<sup>15</sup> Dies kann mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft werden.

<sup>16</sup> Zum Vergleich eines Datensatzes mit einem bestimmten Sollwert.

<sup>17</sup> Wenn z.B. das gleiche Exemplar zweimal gemessen wird (Gewicht mit und ohne Fleisch), sind die jeweiligen Messwerte gepaart, da sich beide auf das gleiche Exemplar beziehen.

<sup>18</sup> Wenn nicht der Unterschied getestet werden soll, sondern das Verhältnis zwischen zwei Werten (z.B. Länge des Schlosses vs. Gesamtlänge der Schale, Temperatur vs. δ<sup>18</sup>O).

bekannter Lebensraum und Ernährung der analysierten Spezies und ausreichende Information über das potenzielle Alter der Probe im Vergleich zur Fundschicht. Bei der Funderhaltung ist vor allem die Gefahr der Rekristallisierung zu beachten. Schalen, die aus dem Mineral Aragonit bestehen, können sich zu Calcit wandeln, das thermodynamisch stabiler ist. Teil dieser Neubildung kann der Austausch von Kohlenstoff mit den umgebenden Sedimenten sein und daher zu falschen  $^{14}\text{C}$ -Daten führen. In einigen Fällen können diese fehlerhaften Werte durch irreguläre  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte erkannt werden. Zusätzliche Analysen durch z.B. Ramanspektroskopie oder Röntgenkristallographie sollten im Zweifel herangezogen werden. Lindauer *et al.* (2018) haben gezeigt, dass aragonitische Schalen, die durch gezielte Hitzeeinwirkung beim Kochen oder Rösten zu Calcit wechseln, ihre  $^{14}\text{C}$ -Daten beibehalten<sup>19</sup>.

Der Grund weshalb der Lebensraum der untersuchten Spezies von Bedeutung ist, hat mit dem Reservoireffekt ( $\Delta R$ ) zu tun, der das Alter der Probe aufgrund einer vergleichsweise alten Kohlenstoffquelle erhöht. In der Regel wird hierzu ein lokaler Reservoireffekt festgelegt, der auf Ergebnissen anderer Spezies basiert oder auf Schalen, die ein bekanntes Alter haben und vor 1950 datieren<sup>20</sup>. Dieser ist allerdings nicht immer konstant, und kann sich über längere Zeiträume hinweg ändern (Facorellis & Vardala-Theodorou, 2015). Eine gute Voraussetzung, dass ein bestehender Wert für den lokalen Reservoireffekt auch für die gewünschte Muschel- oder Schneckenspezies angewandt werden kann, ist wenn sich die Spezies (z.B. Austern und Miesmuscheln) durch Filter ernährt. Die Nahrung ist eine weitere Quelle für Kohlenstoff und durch das Filtern wird vor allem Phytoplankton aufgenommen, das sich vom im Meerwasser gelösten Kohlenstoff ernährt. Im Vergleich dazu gibt es Spezies, die sich von herabgefallenen Mangrovenblättern ernähren, welche ein jüngeres  $^{14}\text{C}$ -Datum hervorrufen können. Spezies, die sich unter anderem von Detritus (verstorbene organische Materie) ernähren<sup>21</sup>, können jüngere sowie ältere  $^{14}\text{C}$ -Daten produzieren. Allerdings gibt es hierzu keine festen Regeln und lokale Tests müssen durchgeführt werden. Petchey *et al.* (2012) fanden starke Spezies-spezifische Variationen im Reservoireffekt verschiedener Schnecken. Ebenso gibt es Fälle in denen bei oft problematischen Spezies keine Variation auftritt (Allen, Reimer, Beilman, & Crow, 2019). Ein anderer Faktor ist die Geologie des Lebensraums, die starke Einwirkungen auf den Reservoireffekt haben kann. Dies kann durch lokale kalksteinreiche Böden bedingt sein, die den im Wasser gelösten Kohlenstoff mit  $^{14}\text{C}$ -armen Kohlenstoff aus geologischen Schichten anreichern und damit die Werte in Schalen um hunderte Jahre oder mehr altern lassen (Deevey, Gross, Hutchinson, & Kraybill, 1954; Geyh, Schotterer, & Grosjean, 1997; Keith & Anderson, 1963; Loughheed, Filipsson, & Snowball, 2013). Dies ist vor allem da ein Problem, wo der Wasseraustausch mit dem Rest des Meeres nicht sehr ausgeprägt ist (z.B. Buchten und Lagunen), wo sich Salz- und Süßwasser mischen, wo es sehr kalkreiche Gesteine gibt und wo es starke Ansammlungen organischem Materials gibt, das vom Land eingespült wurde (Douka, Higham, & Hedges, 2010).

Andere Lebensräume, die zu beachten sind, sind Gegenden mit Wasserauftrieb aus größeren Tiefen und damit älterem im Wasser gelösten Kohlenstoff. Dieser Auftrieb kann regelmäßig und vorhersehbar stattfinden, ist jedoch in archäologischen Zeiten schwerer zu

---

<sup>19</sup> Dies ist bei anderen Isotopen nicht der Fall. Siehe unten: Sauerstoffisotopen

<sup>20</sup> Grund für das Datum ist der starke Anstieg von  $^{14}\text{C}$ -Werten in der Atmosphäre im Zusammenhang mit nuklearen Tests, die das Ergebnis verfälschen könnten.

<sup>21</sup> Dies betrifft vor allem Schnecken.

verstehen (Culleton, Kennett, Lynn Ingram, Erlandson, & Southon, 2006; J. E. Ferguson, Johnson, Santos, Meyer, & Tripathi, 2013) und kann lokal unterschiedlich stark auftreten (Matos Martins, Martín, Cesário Portela, & Monge Soares, 2012).

Letztlich sollte der Altersunterschied zwischen Probe und Schicht so klein wie möglich sein, damit das  $^{14}\text{C}$ -Datum auch die gewünschte Information für den Fundkontext enthält. Bei kurzlebigen Exemplaren, die nur einige Jahre alt werden und die in Muschelhaufen gefunden wurden, die eindeutig ein Produkt der Nahrungszubereitung sind, ist der Altersunterschied generell sehr klein. Bei Spezies die Jahrzehnte oder Jahrhunderte alt werden können (z.B. *Tridacnidae* sp., *Arctica islandica*) und die aus anderen Gründen als Nahrung gesammelt wurden, beispielsweise als Dekoration oder Werkzeug, ist allerdings Vorsicht geboten. Zum Einen deutet ihr Nutzen auf eine langfristige Verwendung hin, die über mehrere Generationen stattfinden kann, oder auf das Sammeln von leeren Schalen aus geologischen Sedimenten. Zum Anderen bauen langlebige Muscheln und Schnecken ihre Schale über viele Jahre hinweg auf und haben daher eine Reihe von  $^{14}\text{C}$ -Werten, die bei der Beprobung beachtet werden muss. In beiden Fällen kann man durch eine hohe Probenanzahl die negativen Auswirkungen abweichender  $^{14}\text{C}$ -Datierungen minimieren.

## Aminosäuredatierung

Aminosäuredatierung (engl. Amino Acid Racemisation, AAR) basiert auf der Wandlung der chemischen Konstitution bestimmter Aminosäuren, die nach dem Tod des Organismus eintritt (Racemisierung) und je nach Aminosäure unterschiedlich schnell verläuft. Es wird hierbei das Verhältnis von L- und D-Formen gemessen, wobei in lebenden Organismen die L-Form deutlich überwiegt und sich durch die Racemisierung nach dem Tod ein 1:1 Verhältnis einstellt. Dadurch ist das D/L Verhältnis ein Hinweis auf die Zeit, die nach dem Tode vergangen ist, und kann für Datierungen verwendet werden.

Obwohl diese Technik seit den 70er Jahren bekannt ist, wurden erst vor Kurzem deutliche Fortschritte in ihrer Verlässlichkeit gemacht, die den Fokus auf intrakristalline Aminosäuren setzen. Dadurch ist es möglich einen Austausch mit externen Quellen auszuschließen und den Messfehler zu reduzieren (Demarchi et al., 2011; Penkman, Kaufman, Maddy, & Collins, 2008). Für die Archäologie war auch die Verbesserung von Labortechniken von Vorteil, die erlauben kleinere Mengen an Material zu untersuchen und damit den Grad der Zerstörung von Proben zu reduzieren (Kaufman & Manley, 1998). Dies ist in der Regel bei Muschel- und Schneckenschalen kein Problem, da diese oft in einem bereits fragmentierten Zustand gefunden werden.

Vom Aufbau traditioneller Chronologien abgesehen (J. E. Ortiz et al., 2009; Wood et al., 2013) hat die Aminosäuredatierung den Vorteil größere Mengen an Proben für einen vergleichsweise geringen Preis/Arbeitsaufwand zu untersuchen. Dadurch werden Studien möglich, die z.B. die Bewegung einzelner Schalen — und dadurch den Mischgrad von Schalenschichten — im Detail quantifizieren können (Koppel, Szabó, Moore, & Morwood, 2017).

Die Anfälligkeit der Methode durch Hitzeeinwirkung bedarf lokaler Messstudien (Demarchi et al., 2011; José E. Ortiz, Gutiérrez-Zugasti, Sánchez-Palencia, Torres, & González-Morales, 2019; José E. Ortiz, Gutiérrez-Zugasti, Torres, González-Morales, & Sánchez-Palencia, 2015; José E. Ortiz, Sánchez-Palencia, Gutiérrez-Zugasti, Torres, & González-Morales, 2018), um den Einfluss der Hitze auf die Schnelligkeit der Racemisierung besser verstehen zu können.

Je heißer die Umgebung, desto schnell gleichen sich die D- und L-Formen der Aminosäure an und desto schlechter ist die temporale Auflösung der gewonnenen Daten. Insbesondere die menschliche Hitzeeinwirkung durch Kochen oder sekundärer Erhitzung nach der Deponierung muss beachtet werden. Diese kann durch die Untersuchung von D/L-Werten, Aminosäurenkonzentration und Chromatogramm-Marker quantifiziert werden, sodass bestimmte Proben aussortiert werden können (José E. Ortiz, Sánchez-Palencia, Gutiérrez-Zugasti, Torres, & González-Morales, 2020).

Letztlich bietet die Analyse von D/L-Werten die Möglichkeit den allgemeinen Nutzen von Muschel- und Schneckenschalen für andere geochemische Methoden zu verifizieren, indem sie taphonomische Einflüsse nachweist, die zu erneuter Kristallbildung führen können und die Ergebnisse von z.B. Isotopenanalysen beeinträchtigen (Andre Carlo Coloneese et al., 2018).

## Saisonalität/Sklerochronologie

### Beschreibung und Interpretation

Sklerochronologie für Muschel- und Schneckenschalen basiert auf der Vermessung von Wachstumslinien und der geochemischen Analyse jener Linien<sup>22</sup>. Im Kontext der Saisonalität sind die Werte beider Messarten durch die jahreszeitlichen Veränderungen der direkten Umwelt bedingt, die einen Einfluss auf das Wachstum und/oder der chemischen Zusammensetzung der Schale haben. Dieser Einfluss lässt sich durch moderne Schalen als Referenzproben, die im Idealfall so nahe wie möglich an der Fundstelle gesammelt werden, ermitteln. Man geht dabei davon aus, dass Zusammenhänge zwischen Umwelt und Schale konstant und daher auf die Vergangenheit anzuwenden sind (Ola Kwiecien et al., 2021). In Fällen, bei denen heutige und damalige Zusammenhänge zwischen Umwelt und Schale nicht konstant sind (z.B. Veränderung der Wasserelementzusammensetzung, siehe [Stabile Isotopen](#)) und sich dadurch Fehler einschleichen können, müssen diese benannt bzw. quantifiziert werden, auch wenn sie nicht vermeidbar sind.

Durch die Referenzen können jeweiligen Messwerte der archäologischen Schale bestimmten Jahreszeiten zugeordnet werden. Diese Information lässt sich auf mehrere Arten nutzen (Ola Kwiecien et al., 2021). Einmal zur Bestimmung der Jahreszeit, in der die Schale aufgehört hat zu wachsen, d.h. als das Tier selbst starb und von Menschen verzehrt oder verarbeitet wurde<sup>23</sup>. Diese Information ist z.B. bei nicht-sesshaften Menschen nützlich, weil durch sie deren Aufenthalt an der Fundstelle für diese Jahreszeit belegt ist und sich dadurch jahreszeitliche Bewegungen in der Landschaft bestimmen lassen können (Meghan Burchell, Cannon, Hallmann, Schwarcz, & Schöne, 2013; Eerkens, Byrd, Spero, & Fritschi, 2013). Ebenso kann diese Information dazu benutzt werden Veränderungen in der Nahrung

---

<sup>22</sup> Anstatt von Linien kann man auch von Ringen sprechen (ähnlich den Baumringen). Es kommt auf die Art und Weise an, wie und wo das Wachstum der Schale gemessen wird.

<sup>23</sup> Auch viele andere Tiere und Pflanzen lassen sich ähnlich benutzen, da sie z.B. sind nur in bestimmten Jahreszeiten verfügbar sind. Allerdings, sind diese Bestimmungen je nach Tierart nicht immer auf einzelne Jahreszeiten beschränkt und je nach klimatischen Bedingungen können sich die genauen Zeitpunkte der Verfügbarkeit im Jahr verändern. Ebenso sind Überreste vieler Tiere und Pflanzen nicht über die ganze Fundstelle gleichmäßig verteilt, was nur lückenhafte Ergebnisse liefern kann.

aufzuzeigen, z.B. zu welcher Jahreszeit Muscheln und Schnecken gegessen (Branscombe, Bosch, & Miracle, 2020) oder vermehrt gegessen wurden (N. Hausmann & Meredith-Williams, 2017b). Da Muschel- und Schneckenschalen in vergleichsweise großen Mengen vorkommen, ist es möglich die Todeszeiten in sehr vielen Fundschichten zu bestimmen, und einen Überblick auf die gesamte Nutzungszeit der Fundstelle zu gewinnen. In besonderen Fällen, in denen eine hohe Anzahl von Schalen in einer Schicht beprobt wurden, können zusätzliche stratigraphische Untergliederungen von Fundschichten herausgearbeitet werden (N. Hausmann & Meredith-Williams, 2017a; Koike, 1979; Thompson & Andrus, 2011). Diese dienen dann zur Berechnung oder Interpretation von Akkumulationszeiten, d.h. jahreszeitlich aufgelöste Deponierungsperioden, die etwas über die kurzzeitige Nutzung von Fundstellen aussagen können oder den Kontext der Deponierung (ein Ritual oder ein gewöhnliches Ereignis, (Thompson & Andrus, 2011)). Ein weiterer Nutzen der jahreszeitlichen Messwerte von Schalen ist die Saisonalität im Sinne von klimatischen Bedingungen (Ola Kwiecien et al., 2021). Hier liegen vor allem die geochemischen Informationen zu Umweltbedingungen (v.a. Temperatur) im Fokus, die quantitative Werte liefern zum Ausmaß der jahreszeitlichen Schwankungen. Es wird dann von einer erhöhten Saisonalität gesprochen, wenn sich das Spektrum an Temperaturen innerhalb eines Jahres ausweitete (d.h. kältere Winter, wärmere Sommer). Dies kann unabhängig von Veränderungen der Jahresdurchschnittstemperatur stattfinden, weshalb Schalen, deren Wachstum eine jahreszeitliche Auflösung der geochemischen Werte ermöglicht, wichtige Klimaarchive sind, die langlebige aber jährlich aufgelöste Archive sehr gut komplementieren (Williams, Arthur, Jones, & Healy-Williams, 1982).

### Wachstumslinien (Andrus, Rollins)

Die Grundvoraussetzung für die Vermessung von Wachstumslinien ist, dass sich die Linien auf vorhersehbare Art wiederholen (D. C. Rhoads & Lutz, 1980; Bernd R. Schöne, 2008). Nur dadurch lassen sich Muster erkennen, die auf die den Wachstum kontrollierenden Faktoren hinweisen. Die Muster können sich über eine Reihe von Zeiträumen wiederholen, aber sind meist an die Gezeiten oder Jahreszeiten gekoppelt (Margaret R. Deith, 1983; Hallmann, Burchell, Schöne, Irvine, & Maxwell, 2009; Koike & Others, 1975; N. Milner, 2001). Dieser Zusammenhang kann offensichtlich sein, aber wird idealerweise durch Schalen lebender Exemplare verifiziert, um Unterschiede zwischen einzelnen Schalen und Schalen verschiedener Lebensräume zu quantifizieren (Bassett, Andrus, & West, 2019; Cudennec & Paulet, 2021; García-Escárcaga et al., 2018; Hallmann et al., 2009; N. Hausmann, Colonese, et al., 2017).

Indem man die zuletzt gewachsenen Strukturen genauer charakterisiert, ist es möglich die Zeit in der das Tier gestorben ist — also vom Mensch eingesammelt wurde — zu bestimmen. In lebenden Exemplaren ist das trivial, aber deren Daten sind wichtig, um eventuelle Probleme oder Ungenauigkeiten der archäologischen Exemplare vorauszuahnen. Der Todeszeitpunkt ist allerdings oft nur eine Annäherung und ist in seltenen Fällen exakt (C. Claassen, 1988; Margaret R. Deith, 1983; M. R. Deith, 1985; Hallmann et al., 2009). Vor allem bei jährlichen Linien, bei denen die Jahreszeit durch den Abstand zur letzten Linie bestimmt wird, kann es große Abweichungen geben. Wie genau sich der Todeszeitpunkt letztlich bestimmen lässt, kommt auf das Tier, das biologische/ontogenetische Alter, die jeweiligen Jahreszeiten oder Gezeiten und den Lebensraum an. Zum Beispiel fanden Jones



und Quitmyer (1996) heraus, dass das an sich gut verstandene Wachstumsmuster der Quahog-Muschel sich in einer Region ganz anders verhält, als in anderen<sup>24</sup>. Generell kann man sagen, dass je langsamer das Wachstum, desto geringer die Genauigkeit (Crabtree, Clausen, & Roth, 1979), daher werden oft jüngere Exemplare bevorzugt (Koike, 1979, 1980). Ende des letzten Jahrhunderts war es oft üblich diese Unsicherheiten im Todeszeitpunkt auszugleichen, indem die Jahreszeit nicht aufgrund einzelner Schalenexemplare bestimmt wurde, sondern durch die Linien mehrerer Exemplare. Der Gedanke war, dass nur eine größere Probenmenge dazu in der Lage ist, die Jahreszeit der beprobten Schicht genau zu bestimmen (C. Claassen, 1988; Cheryl Claassen, 1986, 1990). Dies setzt allerdings voraus, dass eine Schicht innerhalb einer Jahreszeit angesammelt wurde, was oft nicht der Fall ist und bei Ausgrabungen nicht als solches erkennbar ist (N. Hausmann & Meredith-Williams, 2017a; Thompson & Andrus, 2011). Die wenigen Studien, die heutzutage auf solchen Gruppenwerte basieren, benutzen Schalen von kurzlebigen Organismen wie z. B. *Boonea impressa*, die nur ein Jahr alt werden und deren Größe daher einzelnen Jahreszeiten zuzuordnen ist (Cannarozzi & Kowalewski, 2019; Cannarozzi, Kowalewski, & Russo, 2014; Sanger et al., 2020).

Ein weiteres Problem, das vor allem Schalen betrifft, deren ontogenetisches Alter oder deren Todeszeitpunkt durch jährliche Linien bestimmt wird, sind unregelmäßige Linien, die z.B. durch Stress entstehen können. Stress der zum Wachstumsstop und dadurch zu einer Linie führt, kann durch extreme Hitz- oder Kältewerte entstehen, weshalb viele Spezies diese Linien vor allem im Sommer oder Winter zeigen (B. R. Schöne, Goodwin, Flessa, & Dettman, 2002). In Regionen wo diese Extremwerte nicht immer erreicht werden und daher pro Jahr eine oder zwei Linien auftreten können, ist es schwierig zu klären, wie groß das jährliche Wachstum ist oder zu welcher Jahreszeit eine Schale aufhörte zu wachsen. Ebenso können Extremtemperaturen mehrmals und wenige Wochen nacheinander auftreten, was die Analyse weiter verkompliziert. Ein weiterer Grund für einen Wachstumsstop sind Reproduktionsperioden in denen Nährstoff für die Bildung von Geschlechtsorganen und zur Fortpflanzung gebraucht werden und daher die Schale aufhört zu wachsen (Bernd R. Schöne, 2008). Der Zeitpunkt für die Fortpflanzung kann zwar von einem Jahr zum anderen ähnlich sein (García-Escárcaga et al., 2019), ist aber ohne Referenzexemplare schwer vorherzusehen, da es speziesspezifische und räumliche Unterschiede gibt (Killam & Clapham, 2018; Sato, 1995; Savarese, Walker, Stingu, Marquardt, & Thompson, 2016; Bernd R. Schöne, 2008). Allgemein, kann auch Nahrungsknappheit zu Wachstumsunregelmäßigkeiten führen, die, sollten sie nicht einen regelmäßigen Ursprung haben, schlecht vorhersehbar sind (Incze, Lutz, & Watling, 1980; Pilditch & Grant, 1999). Wie Muster am Besten erkannt und vermessen werden können hängt von der Anatomie der Schale ab. In vielen Fällen sind Linien auf der Außenseite der Schale erkennbar, allerdings sind diese nicht immer zuverlässig und können wichtig Informationen vorenthalten (Andrus & Crowe, 2000; N. Milner, 2001; Surge, Lohmann, & Dettman, 2001). Daher werden fast alle Schalen entlang ihrer Wachstumsrichtung geschnitten. Dies ist besonders leicht bei Muscheln die in der Regel eine lineare Achse haben. Dennoch ist nicht immer die ganze Schale erhalten oder leicht einzusehen, weshalb der meist besser erhaltene Wirbel/Umbo oder das Scharnier/Schloss, das die Wachstumsgeschichte der Schale in einem kleineren

---

<sup>24</sup> Wichtig ist hierbei auch Elliot *et al.* (2003), die zeigen, dass es allgemein Probleme mit der Zuordnung von Jahreszeiten aufgrund von Wachstumslinien dieser Spezies gibt.

Maßstab enthält, als Alternative dienen kann. Bei Schneckenschalen, die oft in einer Spiralstruktur wachsen, ist das Schneiden nicht immer einfach und muss in mehreren Abschnitten oder nur teilweise geschehen (García-Escárzaga et al., 2018; N. Hausmann, Colonese, et al., 2017; Radermacher et al., 2009).

Die innere Struktur entlang der gesamten Schale oder in bestimmten Teilen der Schale (meist im Wirbel/Umbo oder Schloss/Scharnier) wird mit Mikroskopen untersucht. Während es früher üblicher war einen Abdruck auf einem Acetat-Film zu hinterlassen (Rollins, Sandweiss, & Rollins, 1990), der unter dem Mikroskop untersucht werden kann, finden viele Messungen heutzutage direkt an der Schnittstellenoberfläche unter dem Mikroskop statt (M. Burchell, Cannon, Hallmann, Schwarcz, & Schöne, 2013; Carré et al., 2009; Hallmann et al., 2009; H. Robson, 2015; Sanger et al., 2020). In beiden Fällen ist es notwendig, die Oberfläche zu glätten und zu polieren, um kleinste Linien oder Störungen sichtbar zu machen. Dieser Vorgang findet in mehreren Schritten und mit Partikeln verschiedener Größen ( $10\text{--}1\text{ }\mu\text{m}^{25}$ ) statt. Um diese Partikel nicht zu vermischen, müssen die Oberflächen nach jedem Schritt gesäubert werden, teilweise wird dies auch mit Ultraschall gemacht (Hallmann et al., 2009). Anschließend werden die Oberflächen mit Ethanol gewaschen und getrocknet.

Seit einigen Jahren hat sich der Gebrauch von Mutvei-Lösung<sup>26</sup> (Bernd R. Schöne, Dunca, Fiebig, & Pfeiffer, 2005) in archäologischen Studien verbreitet (Ambrose, Locke, Bigelow, & Renaud, 2016; André Carlo Colonese et al., 2017; Gutiérrez-Zugasti et al., 2017; N. Hausmann, Colonese, et al., 2017; Miyaji et al., 2010; Toniello et al., 2019). Sie dient dazu Strukturen in der Schale durch minimale Ätzung besser sichtbar zu machen. Dadurch, dass Wachstumslinien, die reich an organischen Komponenten sind, weniger geätzt und stärker verfärbt werden, treten sie besser hervor und können genauer vermessen werden. Die sauberen Schalenproben werden hierzu über speziesspezifische Zeiträume<sup>27</sup> bei  $37\text{--}40^\circ\text{C}$  in die Lösung getaucht und nachträglich mit demineralisiertem Wasser gewaschen.

Die Art und Weise wie die innere Struktur der Schale vermessen wird hängt von der Fragestellung und der maximalen zeitlichen Auflösung ab, die erreicht werden kann. Bei Austern werden oft nur die jährlichen Linien und der Abstand der letzten Linie zum Rand gemessen (N. Milner, 2001; H. Robson, 2015) um Alter und Todeszeitpunkt zu bestimmen, wobei höher aufgelöste Linien ebenfalls vorkommen (Higuera-Ruiz & Elorza, 2009). Koike (1979) zählt die täglichen Wachstumslinien, die auf die jährliche Linie folgen, um den Todeszeitpunkt von japanischen Venusmuscheln genauer zu bestimmen. Deith (1983) benutzt moderne Schalen der Herzmuschel um den Beginn des Wachstums, der nach der jährlichen Linie eintritt und sich von Jahr zu Jahr verändern kann, genauer zu bestimmen. Tägliche Linien können hierbei trügerisch genaue Daten liefern und sollten am besten nicht nur gezählt, sondern auch selbst vermessen werden, um kurzzeitige Wachstumsperioden erkennbar zu machen (Hallmann et al., 2009). Vor allem der lokale Einfluss der Gezeiten macht es möglich die Taktung des kurzzeitigen Wachstums besser zu verstehen. Die täglichen Ebben und Fluten sowie die Mondphase können die Wachstumsrate und damit die Dicke von Wachstumslinien bestimmen und dadurch eine genauere zeitliche

---

<sup>25</sup> Die größeren Größen werden oft auch als Kategorie 600, 800 oder 1200 beschrieben. Je höher die Zahl, desto feiner die Körnung.

<sup>26</sup> Nach Harry Mutvei. Die Lösung besteht aus Glutaraldehyd, Essigsäure und Alcianblau. Siehe (Bernd R. Schöne, Dunca, Fiebig, & Pfeiffer, 2005) für Mengenangaben.

<sup>27</sup> Aragonitische Schalen kürzer (20–25 min) als calcitische Schalen (45–60 min).

Aufgliederung der Schale ermöglichen<sup>28</sup>. Diese Art der hochaufgelösten Vermessung von Wachstumslinien bedarf in der Regel eines Mikroskops mit digitaler Messfunktion oder des nachträglichen Messens von Fotos oder Foto-Mosaiks der Schalenoberfläche.

Die Wachstumsrate der Schale verlangsamt sich im Laufe des Lebens. Deshalb werden die Rohdaten der Vermessung oft mathematisch gesäubert (Royer, Thébault, Chauvaud, & Olivier, 2013; Wanamaker et al., 2009), um diesen Trend zu entfernen und kurzzeitige Wachstumsschwankungen verschiedener Lebensabschnitte miteinander zu vergleichen (Cook & Kairiukstis, 2013). Dabei wird das durchschnittliche Wachstum in Form einer Gleichung<sup>29</sup> ausgedrückt, mit deren Werte die Messwerte dividiert werden<sup>30</sup>. Danach werden die Werte weiter trendbereinigt, indem der Durchschnittswert abgezogen und das Ergebnis durch die Standardabweichung geteilt wird<sup>31</sup> (Bernd R. Schöne, 2003). Mit diesen Werten lassen sich statistische Analysen (z.B. Wavelet-Funktionen) der zeitlichen Struktur und damit der Kontrollfaktoren des Wachstums besser durchführen (e.g. Butler, Wanamaker, Scourse, Richardson, & Reynolds, 2013; André Carlo Colanese et al., 2017).

Im Zusammenhang mit geochemischen Analysen dient die innere Struktur der Schale als wichtiger Übersichtsplan, der aufzeigt wo und in welchem Abstand effizient Proben entnommen werden sollten (West, Burchell, & Andrus, 2018).

### Stabile Isotopen (West 2018)

Geochemische Analysen von Muschel und Schneckenschalen sind ein Ergebnis der Erdsystemforschung der 70er Jahre, das heutzutage in den Überresten von archäologischen Mahlzeiten eine informationsreiche Quelle zu klimatischen und ökologischen Bedingungen gefunden hat.

Muschel und Schneckenschalen sind durch ihren strukturierten Aufbau sehr dazu geeignet ein Archiv geochemischer Daten zu bilden und ihr Zusammenhang mit anderen archäologischen Überresten erlaubt es Archäologen und Geowissenschaftlern, diese Daten mit menschlichen Handeln in Verbindung zu bringen, um Fragen zu beantworten, wie Umweltveränderungen kulturelle Veränderungen begleitet oder sogar hervorgebracht haben oder welche Lösungsstrategien von Menschen angewandt wurden, um sich neuen Umweltbedingungen anzupassen. Beide Wissenschaften profitieren dabei von den oft schnell wachsenden Schalen, die im Vergleich zu anderen Klimaarchiven kurzzeitige (subannual) Veränderungen aufzeichnen und in der Lage sind z.B. jahreszeitliche Extremtemperaturen zu bestimmen, die sonst in einem Durchschnittswert für ein Jahr oder Jahrzehnt verschwinden würden. Der Nachteil ist hierbei, dass schnell wachsende Schalen oft kurzlebig sind (<10 Jahre) und daher nur einen Schnappschuss an Information liefern. Vergleichsweise langlebige Muscheln ( z.B. *Arctica islandica*) kommen sehr selten in

---

<sup>28</sup> Ebbe und Flut finden zweimal am Tag statt. Ihre Intensität ist vor allem von der topographischen Position abhängig. Aufgrund der schrägen Lage der Erde zum Mond kann je nach Breitengrad die erste Flut größer oder kleiner als die zweite ausfallen, wodurch tägliche Paare in der Schale gut zu erkennen sind. Darüber hinaus finden kurz nach Neu- und Vollmond Springtiden statt, die sich positiv auf das Wachstum auswirken. Ebenso ist das Wachstum bei Nipptiden kurz nach einem Halbmond weniger stark.

<sup>29</sup> Oft wird die von Bertalanffy Gleichung benutzt. Siehe unten: Gleichungen.

<sup>30</sup> Gleichung 2

<sup>31</sup> Gleichung 3

Muschelhaufen vor, da ihr Lebensraum in tieferen Gewässern sie schwerer zu sammeln macht.

Da viele Muscheln direkt vor Ort oder in einem Umfeld von mehreren Kilometern gesammelt werden, sind sie ideale Archive für die örtlichen Bedingungen. Dies ist ein Vorteil, den viele andere Klimaarchive (z.B. Eiskerne oder marine Sedimentkerne) nicht haben und deren Daten daher wenig Gewicht haben, um Vorgänge an und in der Nähe von archäologischen Fundstellen direkt erklären zu können.

Der zeitliche und räumliche Maßstab von Muschel- und Schneckenschalen überlappt daher sehr eng mit dem der Menschen, die die Fundstelle bewohnten, und mit dem, was sie wahrnehmen konnten. Klimatische Vorgänge, die sich über Jahrzehnte oder Jahrhunderte entwickeln, können aus unserer Sicht sehr abrupt aussehen, aber sind vergleichsweise fließen in ihrem Übergang aus der Sicht einer Person, die nur einen Bruchteil dieser Veränderung erlebt. Ein ähnliches Beispiel erfahren wir in unserer Zeit, in der extreme klimatische Veränderungen global auftreten und dennoch ein großer Teil der Bevölkerung wenig davon aktiv wahrnimmt.

Die geochemische Untersuchung von Muschel- und Schneckenschalen wird vor allem durch stabile Sauerstoffisotopen ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ )<sup>32</sup> untersucht, deren Verhältnis zueinander ( $\delta^{18}\text{O}$ ) durch die Temperatur und dem isotopischen Verhältnis des Wassers ( $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ ) selbst bestimmt wird. Letzteres ist das Resultat von Verdunstung und dem Verhältnis von Süßwasser und Salzwasser, die einen unterschiedlichen Gehalt der Sauerstoffisotopen haben. Die Spezies, die in Muschelhaufen vorkommen, sind mit wenigen Ausnahmen marine Mollusken, die ihre Schale im Wasser wachsen und dabei den im Wasser enthaltenen Sauerstoff in das Kalziumcarbonat ihrer Schale einbauen (Donald C. Rhoads & Pannella, 1970). Durch die Analyse der Isotopen in der Schale ( $\delta^{18}\text{O}_\text{s}$ ) kann daher der Zustand des Wassers in dem die Muscheln und Schnecken lebten rekonstruiert werden. Vorausgesetzt ist hierbei, dass einer der Faktoren (Temperatur oder  $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ ) stabil ist, da sich sonst beide ausgleichen könnten. Dies ist in Küstengebieten selten der Fall, kann aber in der Nähe von Flussmündungen oder Gebieten mit Tiefenwasseraufstieg vorkommen. Aus diesem Grund, muss durch moderne Referenzen bestätigt werden, dass die Schale einer Spezies am gewählten Standort als Klimaarchiv dienen kann. Ebenso kann es durch die Spezies bedingte Abweichungen geben. Zum Beispiel wird bei Napfschnecken oft eine Abweichung von  $-0.36\text{‰}$  bis  $-1.01\text{‰}$  gemessen (Fenger, Surge, Schöne, & Milner, 2007; Julie E. Ferguson, Henderson, Fa, Finlayson, & Charnley, 2011; Gutiérrez-Zugasti et al., 2017; A. L. Prendergast & Schöne, 2017; N. J. Shackleton, 1973).

Eine wichtige Voraussetzung zur Interpretation der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ist die Bestimmung der Mineralogie und ob eine Schale aus Aragonit oder Calcit oder beidem besteht. Für beide

---

<sup>32</sup> Sauerstoff hat drei stabile Isotopen:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ , die unterschiedlich oft vorkommen. Während  $^{16}\text{O}$  das mit 99.76% häufigste Isotop ist, sind  $^{17}\text{O}$  mit 0.04% und  $^{18}\text{O}$  mit 0.20% seltener. Zur Untersuchung der klimatischen Bedingungen wird nur das Verhältnis des schwersten  $^{18}\text{O}$  zum leichtesten Isotop ( $^{16}\text{O}$ ) gemessen. Hierzu wird ein Standard mit bereits bekannter Zusammensetzung benutzt (z.B. Vienna Pee Dee Belemnite, V-PDB, für Schalen und Vienna Standard mean Ocean Water, V-SMOW, für Wasser) und das Ergebnis im Verhältnis zu diesem Standard beschrieben.

Minerale gibt es unterschiedliche Gleichungen, die dementsprechend angewandt werden müssen.

Für Temperaturen, die durch Calcit-Proben rekonstruiert werden, benutzt man die Gleichung<sup>33</sup> von O'Neil *et al.* (1969). Hierfür müssen nur die Standards zwischen Schale (V-PDB) und Wasser (V-SMOW) angepasst werden, indem 0.27‰ dem  $\delta^{18}\text{O}_\text{W}$ -Wert abgezogen werden (Gonfiantini, Stichler, & Rozanski, 1995).

Isotopenwerte, die aus Aragonit-Schalen stammen, bedürfen einer anderen Gleichung. Hierzu wird die Gleichung von Grossman und Ku (1986) verwendet, wo ebenfalls der Wert von 0.27‰ vom  $\delta^{18}\text{O}_\text{W}$ -Wert subtrahiert werden muss, um die Standards von Schale und Wasser anzupassen.

Für die meisten Spezies ist die Mineralogie ihrer Schale bereits bekannt und die Untersuchung moderne Exemplare bedarf keiner Bestätigung durch andere Verfahren (z.B. Raman Spektroskopie, Meigen-Reaktion<sup>34</sup>, Feigl-Lösung<sup>35</sup>, Fourier-Transform-Infrarotspektrometer-ATR<sup>36</sup> oder Röntgenkristallographie). Bei archäologischen Proben besteht die Gefahr, dass aus taphonomischen Gründen Teile der Schale rekristallisiert wurden. Dies kann relativ schnell nach dem Tod geschehen und kann selbst bei relativ neuen Proben nicht ausgeschlossen werden. Bei Schalen, die Hitze ausgesetzt wurden — insbesondere durch Feuerstellen — ist besondere Vorsicht geboten. Während es in den letzten Jahren einige Versuche gab, den Einfluss des Kochens von Muscheln und Schnecken auf die geochemische Zusammensetzung hervorzuheben (Milano, Prendergast, & Schöne, 2016; Müller *et al.*, 2017; Staudigel, Swart, Pourmand, Laguer-Díaz, & Pestle, 2019), basieren die Ergebnisse selten auf Experimente deren Parameter (v.a. Zeit und Temperatur) mit denen normaler Kochvorgänge viel gemein haben. Dies ist ein Feld das noch weiter ausbaufähig ist (Jazwa & Jantz, 2019; O. Kwiecien & Breitenbach, 2017). Moon *et al.* (2020) zeigten vor Kurzem, dass starke Hitze-induzierte Abweichungen gleichmäßig erfolgen können und dadurch jahreszeitliche Schwankungen erhalten bleiben.

Wie oben beschrieben, dienen jahreszeitlich aufgelöste Isotopenwerte zwei Arten von Saisonalität. Der Unterschied hierbei liegt im Kontext, da Saisonalität mehrere Bedeutungen hat. Im geowissenschaftlichen Kontext wird Saisonalität zur Charakterisierung der klimatischen Bedingungen zu bestimmten Jahreszeiten verwendet. Zum anderen bedeutet Saisonalität die Ausprägung menschlicher Aktivitäten in bestimmten Jahreszeiten. Diese Interpretation wird in der Archäologie verwendet und dient dazu Siedlungsmuster, Vorgänge in der Ressourcennutzung, Menschliche Mobilität, sowie soziokulturelle oder sozioökonomische Vorgänge zu bestimmen.

---

<sup>33</sup> Gleichung im Anhang

<sup>34</sup> Hierzu wird eine gemahlene Probe für 20 Minuten in einer Lösung (0.7 g Cobaltnitrat auf 10 ml destilliertes Wasser) gekocht, mehrmals ausgewaschen und auf Farbe kontrolliert. Aragonit wird leicht lila/pink, Calcit bleibt farblos oder wird leicht blau.

<sup>35</sup> Feigl-Lösung besteht aus einer Mischung von Silbersulfat und Mangansulfat, die gekocht und nach dem Abkühlen mit Natriumhydroxid vermischt wird. Danach kann die Probe (oft nicht gemahlen sondern als Abschnitt\section) unter Raumtemperatur in die Mischung gegeben werden. Aragonit schwärzt sich innerhalb von 10 Minuten.

<sup>36</sup> Aus dem Englischen: attenuated total reflection (abgeschwächte Totalreflexion)

Die Saisonalität oder die Jahreszeit des Todes wird durch die letzte Temperatur bestimmt, die im geochemischen Archiv vorzufinden ist und die die Temperatur des Wasser kurz vor dem Todeszeitpunkt des Tieres widerspiegelt (als es vom Menschen verzehrt wurde). Die Voraussetzung für eine sichere Bestimmung des Todeszeitpunkts haben sich in den letzten Jahrzehnten erhöht. Während moderne Referenzen schon immer von Bedeutung waren, haben sich die Standards für die Menge der Temperaturwerte erhöht. Durch die höhere Menge ist es möglich die vorausgehenden Jahre bis zum Todeszeitpunkt des Tieres zu rekonstruieren und ein besseres Verständnis der jährlichen Temperaturschwankungen zu erlangen, was es leichter macht die Jahreszeit des Todes zu bestimmen (M. Burchell et al., 2013). Ohne diesen Kontext ist es nicht auszuschließen, dass ein Todeszeitpunkt im Herbst nicht vielleicht schon Winter ist, da sich die Wintertemperaturen zu dieser Zeit erhöht hatten. Oft wird deshalb eine Schale pro Fundschicht in sehr hohem Detail beprobt, um anderen Schalen diese Vergleichswerte zu bieten (Branscombe et al., 2020; Andre Carlo Colonese et al., 2018; N. Hausmann & Meredith-Williams, 2017b). Ein weiterer Vorteil der höheren Probenmenge ist die bessere zeitliche Auflösung der Proben am Ende der Schale, die die Temperaturwerte kurz vor dem Todeszeitpunkt enthalten (Jew, Erlandson, Watts, & White, 2013). In einigen Fällen — besonders bei älteren Exemplaren, die eine geringe Wachstumsrate haben — ist es möglich, dass durch zu geringe Beprobungsrate eine Jahreszeit nicht aufgenommen wird und z.B. eine Frühlingstemperatur als Herbsttemperatur interpretiert wird, weil der Sommer nicht beprobt wurde. Während vor einigen Jahren Studien mit wenigen (1–3) Endproben nicht unüblich waren (Culleton, Kennett, & Jones, 2009; Kennett & Voorhies, 1996; Mannino, Spiro, & Thomas, 2003), werden nun immer öfter 10 Proben oder mehr benutzt, wobei dies nicht allgemein der Fall ist (Parker et al., 2018). Der Grund für zu geringe Beprobungsraten ist die begrenzte Anzahl an  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, die in der Regel pro Studie verfügbar sind. Idealerweise werden Schalen so beprobt, dass sie die jeweilige Wachstumsrate der Schale widerspiegeln und einen guten Überblick auf den Temperaturverlauf jedes Jahres bieten. Ebenso ist es ideal, wenn möglichst viele Schalen pro Fundschicht und möglichst viele Fundschichten pro Fundstelle untersucht werden. Dies führt bei Muschelhaufen sehr schnell zu Probenmengen in den Tausenden und analytischen Kosten weit über 10.000 €. <sup>37</sup> Die Zeit diese Menge an Proben zu entnehmen und zu analysieren sind ebenso oft untragbar und daher unrealistisch. Ein gutes Verständnis der Struktur der Schale durch moderne Referenzen, sowie eine gezielte Fragestellung an die Fundstelle kann helfen, die Gesamtmenge der Proben in den realistischen Bereich zu reduzieren.

Neben Sauerstoffisotopen werden zunehmend auch Stickstoffisotopen des karbonatgebundenen, organischen Materials durchgeführt, das genau wie das Karbonat der Schale der Wachstumsstruktur unterliegt und daher zeitlich aufgelöste Informationen enthält (Gillikin et al., 2017). Stickstoffisotopenwerte ( $\delta^{15}\text{N}$ ) in Muschel und Schneckenschalen sind ein Produkt aus den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten des im Wasser gelösten Stickstoffes, den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Nahrung des jeweiligen Tieres und seiner individuellen Physiologie. In anderen Gebieten der biomolekularen Archäologie werden Stickstoffwerte oft dazu eingesetzt, die Nahrung von Menschen zu bestimmen, und ob sie mehr Fleisch bzw. Fisch zu sich genommen haben. Dies funktioniert, weil  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sich akkumulieren und daher in Fleischfressern höher sind. Die meisten Muscheln und Schnecken ernähren sich allerdings durch Gras oder

---

<sup>37</sup> Kosten für  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind oft 14–15 €. Interne Kosten können bei 10–12 € liegen.

Filtern und sind daher sehr nahe an den Basiswerten, die in der jeweiligen Umwelt zu finden sind. Dies ist sehr hilfreich, wenn man Schwankungen in anderen Tierarten oder Menschen quantifizieren möchte, da man durch die Daten der Muschel- und Schneckenschalen Veränderungen der Basiswerte herausfiltern kann.

Innerhalb der letzten paar hundert Jahre haben sich die Stickstoffwerte vieler Flüsse und Flussmündungen erhöht, da durch intensive Landwirtschaft und Abwasserleitungen hohe Mengen an Stickstoff in Grundwasser und Flüsse gelangen (Black, Andrus, Lambert, Rick, & Gillikin, 2017). Diese Mengen erhöhen ebenfalls die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Muscheln und Schnecken, da sie aus einer Reihe verschiedener Quellen unterschiedlicher  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte kommen, die oft über denen der Muscheln und Schnecken liegen. So lassen sich z.B. die Anfänge der intensiven Agrarwirtschaft finden oder "natürliche" Richtwerte festlegen, an denen sich die heutige Politik orientieren kann.

## Elementare Analysen

Der Nutzen von elementaren Analysen in Muschel- und Schneckenschalen ist weniger verbreitet als der von Sauerstoffisotopen. Das liegt vor allem daran, dass es bislang nicht möglich gewesen ist generell zutreffende Ergebnisse darüber zu finden, welche Faktoren hinter den Schwankungen verschiedener Elemente stecken.

Es gibt jedoch einige Gründe dafür, dass eine Lösung weiterhin gesucht wird. Ein Grund ist das Problem, dass  $\delta^{18}\text{O}$  Werte nicht nur auf der Wassertemperatur sondern auch auf Salinität basieren und deren Zusammenspiel über archäologische Zeitspannen nicht immer eindeutig ist. Rein rechnerisch bedeutet eine Schwankung des  $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes im Wasser von 1‰ einen Temperaturunterschied von ungefähr 4°C. Eine Veränderung der Salinität über längere Zeiträume würde daher schnell zu falschen Messwerten führen. Ein externer Messwert zur Temperaturbestimmung wäre hierbei sehr hilfreich und wurde in Einzelfällen in der Form von Magnesium (Mg) zu Kalzium (Ca) Verhältnissen auch gefunden (Julie E. Ferguson et al., 2011). Allerdings sind solche erfolgreichen Studien meist lokalspezifisch und speziesspezifisch oder von Ausreißern begleitet, die aus ungeklärten Gründen keine hilfreichen Daten liefern (Lazareth, Putten, André, & Dehairs, 2003; Mouchi, de Rafélis, Lartaud, Fialin, & Verrecchia, 2013; Pearce & Mann, 2006; Vihtakari et al., 2017).

Ein weiterer Grund für elementare Analysen ist die geringe Investition von Zeit und Kosten der Messmethoden. In einigen Fällen haben sich LIBS<sup>38</sup> und auch traditionelle Methoden wie LA-ICP-MS<sup>39</sup> zur Schnellerfassung elementarer Verhältnisse (v.a. Magnesium zu Kalzium, Mg/Ca) bewährt (Cobo et al., 2017; Durham, Gillikin, Goodwin, & Dietl, 2017; García-Escárcaga et al., 2015; N. Hausmann, Prendergast, et al., 2019; N. Hausmann, Siozos, et al., 2017). Obwohl die Methoden auf wenig verlässliche Spezies beschränkt ist, erlaubt die kurze Bearbeitungszeit, viele Proben zu messen und dadurch Fragen auf Populationsebene oder über mehrere Fundschichten/orte besser zu beantworten.

Dadurch, dass elementare Analysen von Schalen noch relativ unverstanden sind, ergibt sich eine breite Forschungsfront, die diese Werte mit einer Reihe von Umweltfaktoren vergleicht. Diese Informationen sind oft eher wertvoll für Studien der historischen Ökologie und Umweltarchäologie, als für rein archäologische Interpretationen. Zum Beispiel gibt es Zusammenhänge zwischen dem Verhältnis von Lithium (Li) und Magnesium (Mg) und der

---

<sup>38</sup> Laser Induced Breakdown Spectroscopy

<sup>39</sup> Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry



Wachstumsrate der Schalen der Jakobsmuscheln (*Pecten maximus*) (Thébault & Chauvaud, 2013). Ebenso gibt es einen positiven Einfluss von Diatomeenblüten auf dieses Verhältnis, weshalb Li/Ca als Marker für diese Blüten dienen kann. Ähnliche Zusammenhänge wurde in Schalen einer Dreiecksmuschel (*Donax gouldii*) gefunden, deren Barium (Ba) zu Kalzium (Ca) Verhältnis (Ba/Ca) mit den Nährstoffmengen des Wasser korrelierte und auf Auftriebsprozesse<sup>40</sup> an der kalifornischen Küste zurückzuführen sein könnten (Hatch, Schellenberg, & Carter, 2013). Nährstoffmengen sind oft gute Indikatoren für die Wachstumsverhältnisse für Muscheln und Schnecken, aber auch für die von Fischen, die so Indirekt gemessen werden können. In der Regel wird das Wachstum von Schalen anhand der Wachstumslinien bestimmt (siehe oben [Wachstumslinien](#)). In einigen Fällen können elementare Verhältnisse diese Bestimmung beschleunigen, da kongruente Muster auch hier vorkommen. In der Schale von *Arctica islandica* wurden höhere Werte von Strontium (Sr) und Magnesium (Mg) im Verhältnis zu Kalzium (Ca) in den jährlichen Wachstumslinien gefunden (Bernd R. Schöne, Radermacher, Zhang, & Jacob, 2013). Diese erhöhten Verhältnisse können daher als Indikator auf den jährlichen Wachstumsstop, der zur Entstehung der markanten Linien führt, dienen. Ähnliche Muster wurden auch in Austern (*Crassostrea magellana* und *Ostrea edulis*) gefunden (Durham et al., 2017; N. Hausmann, Robson, & Hunt, 2019). Letztlich werden Elementkonzentrationen von Verunreinigungen im Wasser (z.B. durch Schwermetalle) durch deren Verhältnis zu Kalzium in der Schale von Muscheln und Schnecken gemessen (Zuykov, Pelletier, & Harper, 2013). Beispielsweise wurde durch die Messung von Blei in Schalen von amerikanischen Venusmuscheln (*Mercenaria mercenaria*) genutzt, um die Verschmutzung durch verbleites Benzin darzustellen.

## Muscheln als Nahrungsquelle (ZA 347)

Eine wichtige Erkenntnis des menschlichen Essverhaltens in der Archäologie ist, dass Menschen ein viel breiteres Spektrum an Tieren nutzten als ursprünglich angenommen und gleichzeitig bei der Auswahl ihrer Nahrung sehr selektiv waren. Systematische Ausgrabungen und sich stetig verbessernde archäozoologische und malakologische Methoden haben gezeigt, dass in der Vergangenheit ein viel breiteres Spektrum an Tieren genutzt wurde, das weit über die bekannten, großen Säugetiere (Rind, Schwein, Reh, etc.) hinausging. Selbst an Orten, die während des Pleistozäns besiedelt wurden, verzehrten die Menschen eine Vielzahl von kleinen Säugetieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien, Fischen und Mollusken. So zeigen beispielsweise Funde aus der mittleren Steinzeit in Afrika, dass Mollusken und Fische wichtige Bestandteile der sehr frühen menschlichen Ernährung waren (Jerardino, 2016; Langejans, van Niekerk, Dusseldorp, & Thackeray, 2012). Dies bedeutet nicht, dass alle essbaren und verfügbaren Ressourcen im Einzugsgebiet verzehrt wurden. Im Gegenteil, archäozoologische Daten zeigen deutlich, dass der Mensch ein selektiver Allesfresser mit breitem Nahrungsspektrum ist. Welche Rolle spielen daher Muscheln und Schnecken und welche Gründe gibt es, sie zu sammeln und zu essen?

---

<sup>40</sup> Das Aufsteigen von nährstoffreichem Tiefenwasser an Küsten, das oft saisonal auftritt und wichtig für die örtliche Fischerei sein kann.

Während des 20. Jahrhunderts wurden Muscheln und Schnecken als letzte Alternative und generell unattraktive Nahrungsquelle gesehen (Erlandson, 2001; Meighan, 1969). Ebenso hielt sich die Meinung, dass Fische unbegehrte Nahrung waren, noch lange, wobei hier die schlechte archäologische Erhaltung und Erfassung der kleinen Fischknochen ein Grund für die geringe Wertung sind. Durch bessere Ausgrabungstechniken und einem weiteren Verständnis von Wertesystemen wurde vermehrt klar, dass das Meer und die darin lebenden Tiere eine sehr wichtige Ressource darstellen (Geoffrey N. Bailey & Milner, 2002; Beresford-Jones et al., 2018; Erlandson, 2001; Gron & Robson, 2016). Um den Wert mariner Muscheln und Schnecken besser zu begreifen, ist es besonders hilfreich sie als Meeresfrüchte zu interpretieren, die gesammelt und angebaut statt gejagt werden. Ähnlich wie Früchte am Land macht sie ihre weite Verbreitung und langsame bis stationäre Mobilität entlang von Küsten leicht zugänglich, oft verfügbar und vor allem vorhersehbar. Vor allem in Gebieten mit starken Gezeiten, in denen Teile der Küste mehrmals am Tag vom Wasser befreit sind, ist das Sammeln von Mollusken einfache Arbeit, die von allen Altersklassen unternommen werden kann.

Dort wo die Geomorphologie der Küstenlandschaft keine idealen Verhältnisse bietet, konnte mitunter nachgeholfen werden. Präkoloniale Fundstellen auf Quadra Island, Kanada, zeigen, dass durch sogenannte Muschelgärten die Wachstumsbedingungen von Buttermuscheln (*Saxidomus gigantea*) künstlich verbessert wurden. Diese Gärten bestehen aus Mauern oder Wänden im Watt, die die Ablagerung von Sand begünstigen und dadurch flache Terrassen in sonst steilen Gebieten schaffen, in denen die Muscheln besser wachsen können (Toniello et al., 2019).

Die Vorteile, die Meeresfrüchte bieten, sind leicht zu akzeptieren, wenn man die großen Anteile von Muschel und Schneckenschalen in archäologischen Fundstellen wie Muschelhaufen betrachtet, die aus hunderten Kubikmetern an Muschel und Schneckenschalen bestehen und Beweis für die Nutzung dieser Ressource sind. Allerdings ist die relative Menge von Muscheln in der täglichen Nahrung sehr wahrscheinlich kleiner. Wie bereits beschrieben, sind Karbonatschalen in der Regel besser erhalten als andere Nahrungsmittel, insbesondere Pflanzen (Scheel-Ybert & Boyadjian, 2020). Marine Werte von stabilen Isotopen (Kohlenstoff und Stickstoff), die regelmäßig in Knochen von Menschen im Kontext von Muschelhaufen gefunden wurden (Choy, An, & Richards, 2012; Choy & Richards, 2010; André Carlo Colonese et al., 2014) sind ebenso eher Fischen als Muscheln und Schnecken zuzuschreiben. Daher ist den letzteren eher die Rolle als Nahrungszusatz und gezielte Proteinquelle zuzuschreiben, als die Rolle des Grundnahrungsmittels.

Dennoch ist die Bedeutung dieser speziellen Nahrungsquelle nicht zu unterschätzen. Gerade die Vorhersehbarkeit, macht sie zu einer wichtigen und verlässlichen Ressource. Allerdings ist umstritten, ob diese Vorhersehbarkeit eines komplexen Verständnisses von Gezeiten bedurfte, die den trockenen und leichten Zugang zu mehr oder weniger Meeresfrüchten zuließen. Marean (2015, 2016) geht davon aus, dass ein Mondkalender benötigt wurde, der in seiner Komplexität nur durch sozialen Austausch geteilt oder weitergegeben werden konnte und dadurch evolutionäre Veränderungen in frühen Menschen hervorrief. Dennoch gibt es genug Hinweise darauf, dass auch ohne solches Wissen ausreichend Meeresfrüchte vorhanden sind. So können selbst Paviane guten Gebrauch von Meeresfrüchten machen (Lewis & Sealy, 2018). Darüber hinaus deutet Jerardino (2016 und Zitate darin) darauf hin, dass es auch unter Menschen genug Beispiele dafür gibt, dass nicht nur zu besten (Ge)zeiten gesammelt wird. Es ist ebenso möglich, dass

je nach Tidenstand verschiedene Spezies gesammelt wurden, da nicht alle Muscheln und Schnecken in derselben Gezeitenzone angesiedelt sind. Es ist also anzunehmen, dass die Geomorphologie und die örtlichen Gegebenheiten, die das Vorhandensein verschiedener Spezies sowie deren Quantität bevor- oder benachteiligen, von besonderem Interesse waren. Auf diese Annahme stützt sich auch die Theorie, dass Gebiete, die reich an Meeresfrüchten sind, ähnliche gesellschaftliche Besonderheit zugeschrieben werden wie Gebieten, die gute Voraussetzungen für Agrarwirtschaft haben und zur Territorialität führen können (Marean, 2014). Traditionell nicht-sesshafte Gesellschaften stehen dadurch im Wettbewerb und entwickeln semi-sesshafte bis sesshafte Mobilitätsmuster, um konstanten Nutzen dieser Gebiete zu gewährleisten. Darüber hinaus kann dieser Wettbewerb auch zu Kooperation von Kleingruppen und transegalitären Strukturen führen, um zum Beispiel den Einfluss anderer Gruppen zu vermindern oder Hierarchien zu bilden (Luby & Gruber, 1999). Damit stehen Meeresfrüchte im Fokus der Entwicklung hin zu komplexen Gesellschaften, eine Position, die ihnen im vorigen Jahrhundert keinesfalls zugeschrieben wurde (G. Bailey & Milner, 2002; Erlandson, 2001).

### Inhaltsstoffe (Kalorien, Proteine, Aminosäuren)

Kalorien ((Geoffrey N. Bailey, 1978), brain, (Lombard & Kyriacou, 2020)u, (Klein & Steele, 2013) also (Klein & Bird, 2016), (De Vynck et al., 2019))

Handel ((Hardy et al., 2016))

## Umweltarchäologie und Human Ecodynamics

Die Daten, die aus Muscheln und Schnecken archäologischer Fundstellen gewonnen werden können (d.h. Daten über ihre Verbreitung, Resilienz, Wachstumsraten, Temperaturbereichen etc.), lassen sich zur Kontextualisierung von heutigen und zukünftigen Umweltbedingungen nutzen. Damit lässt sich archäologische Information (nicht nur von Mollusken) direkt für ein besseres Verständnis heutiger Probleme heranziehen, ein wichtiger Schritt zur breiteren Anwendung archäologischer Studien. Dieses sehr breite interdisziplinäre Feld wird gut unter dem Begriff "Historische Ökologie" oder "Human Ecodynamics" zusammengefasst (Fitzhugh, Butler, Bovy, & Etnier, 2018) und behandelt die langfristige Wechselbeziehung zwischen Mensch und Natur oder Mensch und Umwelt. Teil dieses Selbstverständnisses ist, dass Menschen auch ein Teil der Natur und der Umwelt sind. Der Gegensatz zwischen Natur und Kultur und der damit oft einhergehend Determinismus soll dadurch umgangen werden, um eine objektive Perspektive zwischen aktiven und passiven Elementen eingehen zu können, die auch einen zeitgleichen Einfluss der verschiedenen 'menschlichen' und 'natürlichen' Faktoren nicht ausschließt. Dennoch sehen viele Forschungsfragen einen Teil dieser Wechselbeziehung als eindeutig aktiv: "Wie sehr hat vor-industrieller Fischfang die marinen Populationen reduziert?" (Rick et al., 2016),

“Was sind die langfristigen Folgen von prähistorischer Rodung?” (Mayoral et al., 2020),  
“Welchen Einfluss hatten Dürreperioden auf bronzezeitliche Siedlungen?” (Drake, 2012).  
Das Ziel von Human Ecodynamics und historischer Ökologie ist dabei ein langfristiges  
Verständnis in der Gesellschaft zu bilden von ihrem bisherigen Einfluss auf die jeweiligen  
Umwelten in der Vergangenheit, um ihr derzeitiges Handeln in gleichem Maße auf seine  
langfristigen Auswirkungen zu prüfen.

Teil davon ist die Evaluierung derzeitiger ökologischer Zustände und Wirtschaftspraktiken  
im Vergleich zu vorigen Methoden (Fossile et al., 2019; Thurstan, Hawkins, Raby, & Roberts,  
2013; Thurstan & Roberts, 2010). Ein Beispiel ist der Vergleich von derzeitigen  
Austernbeständen Schottlands mit ihrer prähistorischen Verbreitung (Fariñas-Franco et al.,  
2018). Entlang der schottischen Küste und im besonderen des Meeresarms Firth of Clyde  
gibt es umfassende Hinweise auf nachhaltige Austernnutzung vom frühen Holozän bis zum  
18. Jahrhundert in der Form von archäologischem Fundmaterial. Erst mit industriellen  
Ausbeutung der schottischen Bestände wurden Austernpopulationen dramatisch reduziert  
mit zusätzlichen negativen Auswirkungen auf die Fischbestände allgemein (Thurstan et al.,  
2013). Rekonstruktionen der marinen Umwelt dieser Zeiten zeigen, dass am Firth of Clyde  
nichts gegen die erneute Ausbreitung von Austern spricht, solange nachhaltig  
gewirtschaftet wird und örtlich spezifische Baselines eingehalten werden (Fariñas-Franco et  
al., 2018).

Ähnliche Forschung wurde in Nordamerika vorgenommen, wo Veränderungen in der Größe  
von Austernschalen archäologischer Fundstellen über die letzten 3,500 Jahre untersucht  
wurden (Rick et al., 2016). Hier zeigte sich, dass Austernbestände eine ausreichende  
Resilienz gegenüber menschlicher Nutzung haben, solange die tieferliegenden Bereiche  
der Riffe intakt bleiben, da diese Bereiche oft die älteren und fruchtbareren Austern  
aufzeigen (Harding, Mann, & Southworth, 2008). Es sind allerdings genau diese Bereiche,  
die durch Schleppnetzfisherei besonders betroffen sind, was einen demographischen  
Effekt auf das gesamte Riff hat. Archäologische Untersuchungen zeigen auch hier auf, dass  
Veränderungen in der Wirtschaftsweise starken Einfluss auf eine sonst resiliente und  
weitverbreitete Ressource haben.

Die bereits genannte Studie von Toniello et al. (2019) in Nordamerika zeigt auf, wie  
Menschen die örtlichen Gegebenheiten so beeinflussten, dass Muscheln besser wachsen  
konnten. Der Einfluss des Menschen auf die Natur hat hier dazu geführt, dass  
Buttermuscheln weiter verbreitet waren und in höheren Konzentrationen vorkommen. Die  
Tradition, die “natürliche” Umwelt zu verändern, um die Konditionen für Tiere zu verbessern  
hat daher eine mehr als zehntausend Jahre alte Geschichte.

## Zukünftige Forschung

Die internationale Forschung an archäologischen Muschel- und Schalenresten hat gezeigt, dass eine ganze Reihe an Analysen und Methoden angewandt werden kann, um sie und die mit ihnen verbundenen archäologischen Befunde besser zu verstehen.

In der deutschen Archäologie besteht in diesem Zusammenhang noch Nachholbedarf, da aufgrund der oft schlechten Erhaltung von Muschelhaufen ihre Untersuchung keine Tradition hat. Dennoch liegen in vielen Fällen Schalenreste vor, die aber nur selten den selben archäozoologischen oder anderen quantitativen Methoden unterzogen wurden (Anger, 1973; Offermann, 2018), wie terrestrische oder aquatische Wirbeltiere. Diese vereinzelt Analysen stehen im Kontrast zu den Mengen an Schalen, die vorhanden sind in Muschelhaufen der Nord und Ostsee, mit teilweise sehr langen Forschungsgeschichten<sup>41</sup>. Das Resultat ist, dass viele Informationen, die durch die Schalen gewonnen werden können (Subsistenz, Saisonalität, Paläoökologie, Klimatologie, Datierungen etc.), nicht genutzt werden und dass generelle Aussagen über die Fundstellen diesen wichtigen Teil des Fundmaterials weglassen bzw. überspringen.

Auf internationaler Ebene ist die Eingliederung selbst weniger Muschel- und Schneckenresten weiter verbreitet (Álvarez et al., 2011; Barker et al., 2012; Çakırlar, 2015; C. M. Harris, Ambrose, Bigelow, Locke, & Silverberg, 2018; M. Harris & Weisler, 2018; Mannino & Thomas, 2001; H. K. Robson, Hausmann, & Milner, n.d.) und sollte der deutschen Archäologie als ein Buffet an Forschungsfragen dienen, um diese vielfältige Fundkategorie besser mit dem Rest des vorhandenen Materials zu integrieren.

## Anhang:

### Gleichungen

#### Sauerstoffisotopen:

$$\delta \text{‰} = \left( \frac{\text{sample ratio}}{\text{standard ratio}} - 1 \right) \times 103$$

---

<sup>41</sup> Hierzu zählen die Schalenlinsen des Fundstelle Quern-Neukirchen LA 28 (Tegelbarg) (Höfgen, 2018), sowie die Muschelhaufen auf Dunsum (Bantelmann, 1956; U. Schmölcke & Breede, 2005), die restlichen Muschelhaufen um das Windebyer Noor (Jockisch, 1951; Rothmann, 1912).

## SST Calcit

```
\begin{aligned}
\operatorname{SST}^{\circ} \mathrm{C} &= 16.9 - 4.38 \left( \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{shell}} - \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{water}} \right) \\
&+ 0.1 \left( \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{shell}} - \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{water}} \right)^2
\end{aligned}
```

> Kann ich hier das -0.27 einbauen?

## SST Aragonit

```
\operatorname{SST}^{\circ} \mathrm{C} = 20.6 - 4.34 \left( \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{SHELL}} - \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{WATER(VSMOW)}} \right) - 0.27 \left( \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{SHELL}} - \delta^{18} \mathrm{O}_{\text{WATER(VSMOW)}} \right)^2
```

> Soll ich hier das -0.27 weglassen?

## von Bertalanffy Gleichung

$$L(a) = L_{\infty} \left( 1 - \exp \left( -k \left( a - t_0 \right) \right) \right)$$

## Growth Index

$$G I_t = \frac{L_{t+1} - L_t}{L_{t+1} - L(p)_t}$$

## Standardised Growth Index

$$S G I_t = \frac{G I_t - \mu}{\sigma}$$

## References

Allely, K., Holdaway, S. J., Fanning, P., & Bailey, G. (2021). Beyond consumption and discard: A comparative sedimentological analysis of two shell deposits from Albatross Bay, Australia, and the Farasan Islands, Saudi Arabia. *Quaternary International: The*

- Journal of the International Union for Quaternary Research*, 584, 44–58.
- Allen, K. R., Reimer, P. J., Beilman, D. W., & Crow, S. E. (2019). An Investigation into  $^{14}\text{C}$  offsets in Modern Mollusk Shell and Flesh from Irish Coasts shows no Significant differences in areas of Carbonate Geology. *Radiocarbon*, 61(6), 1913–1922. Retrieved 10 August 2021 from
- Álvarez, M., Briz Godino, I., Balbo, A., & Madella, M. (2011). Shell middens as archives of past environments, human dispersal and specialized resource management. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1), 1–7.
- Ambrose, W. G., Jr, Locke, W. L., V., Bigelow, G. F., & Renaud, P. E. (2016). Deposition of annual growth lines in the apex of the common limpet (*Patella vulgata*) from Shetland Islands, UK and Norway: Evidence from field marking and shell mineral content of annual line deposition. *Environmental Archaeology*, 21(1), 79–87.
- Andersen, S. H. (1995). 338. Visborg. In *Arkæologiske udgravninger i Danmark* (p. 84).
- Andersen, S. H. (2000). 'Køkkenmøddinger' (shell middens) in Denmark: a survey. In *Proceedings of the Prehistoric Society* (Vol. 66, pp. 361–384). Cambridge University Press.
- Andersen, S. H. (2007). Shell middens. In *Shell middens in Atlantic Europe* (pp. 31–45). Oxbow.
- Andrus, C. F. T., & Crowe, D. E. (2000). Geochemical Analysis of *Crassostrea virginica* as a Method to Determine Season of Capture. *Journal of Archaeological Science*, 27(1), 33–42.
- Anger, K. (1973). Untersuchungen an eisenzeitlichen Muschelhaufen an der Flensburger Förde. *Offa*, 30, 55–59. Retrieved 12 May 2022 from
- Arnold, V. (1974). Tegelbarg, ein spätneolithischer Küstenfangplatz an der Flensburger Außenförde. *Die Heimat*, 3, 49–54.



- Arnold, V., Hartz, S., Heinrich, D., Mischka, C., & Müller, J. (2011). Menschen, Muscheln und Meer - Archäologische Untersuchungen einer spätneolithischen Siedlung bei Neukirchen-Habernis an der Flensburger Außenförde. *Archäologische Nachrichten Aus Schleswig-Holstein*, 17, 46–49.
- Astrup, P. M., Skriver, C., Benjamin, J., Stankiewicz, F., Ward, I., McCarthy, J., ... Bailey, G. (2020). Underwater Shell Middens: Excavation and Remote Sensing of a Submerged Mesolithic site at Hjarnø, Denmark. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 15(4), 457–476.
- Bailey, G., & Hardy, K. (2021). Coastal prehistory and submerged landscapes: Molluscan resources, shell-middens and underwater investigations. *Quaternary International*. Elsevier. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618221001695>
- Bailey, G., Jöns, H., Galanidou, N., Peeters, H., & Mennenga, M. (2020). *The Archaeology of Europe's Drowned Landscapes*. Springer Nature.
- Bailey, G., & Milner, N. (2002). Coastal hunter-gatherers and social evolution. *Before Farming*, 2002(3-4), 1–22.
- Bailey, G. N. (1978). Shell middens as indicators of postglacial economies: a territorial perspective. *The Early Postglacial Settlement of Northern Europe*, 37–63.
- Bailey, G. N., Meredith-Williams, M., Alsharekh, A., & Hausmann, N. (2019). The Archaeology of Pleistocene Coastal Environments and Human Dispersals in the Red Sea: Insights from the Farasan Islands. In N. M. A. Rasul & I. C. F. Stewart (Eds.), *Geological Setting, Palaeoenvironment and Archaeology of the Red Sea* (pp. 583–604). Cham: Springer International Publishing.
- Bailey, G. N., & Milner, N. (2002). Coastal hunter-gatherers and social evolution: marginal or central? *Before Farming [online Version]*.
- Balbo, A., Madella, M., Godino, I. B., & Álvarez, M. (2011). Shell midden research: An

- interdisciplinary agenda for the Quaternary and Social Sciences. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1), 147–152.
- Bantelmann, A. (1956). Ergebnisse einer Grabung auf dem sogenannten K kkenm dding von Gro -Dunsum auf F hr. *Offa*, 15, 115–120.
- Barker, G., Bennett, P., Farr, L., Hill, E., Hunt, C., Lucarini, G., ... Twati, M. (2012). The Cyrenaican Prehistory Project 2012: the fifth season of investigations of the Haua Fteah cave. *Libyan Studies*, 43, 115–136. Retrieved 12 October 2018 from
- Bassett, C. N., Andrus, C. F. T., & West, C. F. (2019). Implications for measuring seasonality in the marine bivalve, *Saxidomus gigantea*. *Chemical Geology*, 526, 36–48.
- Beresford-Jones, D., Pullen, A., Chauca, G., Cadwallader, L., García, M., Salvatierra, I., ... French, C. (2018). Refining the Maritime Foundations of Andean Civilization: How Plant Fiber Technology Drove Social Complexity During the Preceramic Period. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 25(2), 393–425.
- Bibby, G. (1956). *The testimony of the spade*.
- Black, H. D., Andrus, C. F. T., Lambert, W. J., Rick, T. C., & Gillikin, D. P. (2017).  $\delta^{15}\text{N}$  Values in *Crassostrea virginica* Shells Provides Early Direct Evidence for Nitrogen Loading to Chesapeake Bay. *Scientific Reports*, 7, 44241.
- Branscombe, T. L., Bosch, M. D., & Miracle, P. T. (2020). Seasonal Shellfishing across the East Adriatic Mesolithic-Neolithic Transition: Oxygen Isotope Analysis of *Phorcus turbinatus* from Vela Spila (Croatia). *Environmental Archaeology*, 1–14.
- Brinch Petersen, E. (2015). CHAPTER FOURTEEN BETWEEN THE 1820S AND 1900: DISCOVERING THE K KKENM DDINGS AND THE OLDERSTONE AGE (MESOLITHIC). *Muge 150th: The 150th Anniversary of the Discovery of Mesolithic Shellmiddens—Volume 2*, 2, 207.
- Brinker, U., B rzi   , V., Ceri  a, A., Gerhards, G., Kalni   , M., Krause-Kyora, B., ...

- Schmölcke, U. (2020). Two burials in a unique freshwater shell midden: insights into transformations of Stone Age hunter-fisher daily life in Latvia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01049-7>
- Burchell, M., Cannon, A., Hallmann, N., Schwarcz, H. P., & Schöne, B. R. (2013). Inter-site variability in the season of shellfish collection on the central coast of British Columbia. *Journal of Archaeological Science*, 40(1), 626–636.
- Burchell, M., Cannon, A., Hallmann, N., Schwarcz, H. P., & Schöne, B. R. (2013). Refining estimates for the season of shellfish collection on the pacific northwest coast: Applying high-resolution stable oxygen isotope analysis and sclerochronology. *Archaeometry*, 55(2), 258–276.
- Butler, P. G., Wanamaker, A. D., Scourse, J. D., Richardson, C. A., & Reynolds, D. J. (2013). Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 141–151.
- Çakırlar, C. (2015). Adaptation, identity, and innovation in Neolithic and Chalcolithic Western Anatolia (6800–3000 cal. BC): The evidence from aquatic mollusk shells. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618215004942>
- Campbell, G. (2008). Beyond means to meaning: using distributions of shell shapes to reconstruct past collecting strategies. *Environmental Archaeology*, 13(2), 111–121.
- Campbell, G. (2017). 16. The collection, processing and curation of archaeological marine shells. *Molluscs in Archaeology: Methods, Approaches and Applications*, 3, 273.
- Cannarozzi, N. R., & Kowalewski, M. (2019). Seasonal oyster harvesting recorded in a Late Archaic period shell ring. *PloS One*, 14(11), e0224666.

- Cannarozzi, N. R., Kowalewski, M., & Russo, M. (2014). Seasonal Oyster Harvesting Recorded by Shells of the Parasitic Snail *Boonea Impressa* in Archeological Middens of Florida and Georgia. *The Paleontological Society Special Publications*, 13, 30–30.  
Retrieved 11 August 2021 from
- Carré, M., Klaric, L., Lavallée, D., Julien, M., Bentaleb, I., Fontugne, M., & Kawka, O. (2009). Insights into early Holocene hunter-gatherer mobility on the Peruvian Southern Coast from mollusk gathering seasonality. *Journal of Archaeological Science*, 36(5), 1173–1178.
- Castelló, E. V., & Others. (2014). Application of biometric analyses on shell middens of hunter-fisher-gatherer societies of Tierra del Fuego (Argentina). *Archaeofauna*, (23), 223–238.
- Ceci, L. (1984). Shell midden deposits as coastal resources. *World Archaeology*, 16(1), 62–74.
- Chilardi, S., Guzzardi, L., Iovino, M. R., & Rivoli, A. (2005). The evidence of *Spondylus* ornamental objects in the central Mediterranean Sea. Two case studies: Sicily and Malta. *Archaeomalacology Molluscs in Former Environments of Human Behavior*. Ed. : DE Bar-Yosef Mayer. Oxford 2005, 82–89.
- Choy, K., An, D., & Richards, M. P. (2012). Stable isotopic analysis of human and faunal remains from the Incipient Chulmun (Neolithic) shell midden site of Ando Island, Korea. *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2091–2097.
- Choy, K., & Richards, M. P. (2010). Isotopic evidence for diet in the Middle Chulmun period: a case study from the Tongsamdong shell midden, Korea. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2(1), 1–10.
- Christenson, A. L. (1985). The Identification and Study of Indian Shell Middens in Eastern North America: 1643–1861. *North American Archaeologist*, 6(3), 227–243.
- Claassen, C. (1986). Shellfishing Seasons in the Prehistoric Southeastern United States.

- American Antiquity*, 51(1), 21–37. Retrieved 11 August 2021 from
- Claassen, C. (1988). Techniques and controls for the determination of seasonality in shellfishing activities. *Recent Developments in Environmental Analysis in Old and New World Archaeology*, Ed. by RE Webb, 51–66.
- Claassen, C. (1990). THE SHELL SEASONALITY TECHNIQUE IN THE EASTERN UNITED STATES: A REPLY TO LIGHTFOOT AND CERRATO. *Archaeology of Eastern North America*, 18, 75–87.
- Claassen, C. (1998). *Shells*. Cambridge University Press.
- Claassen, C. (2010). *Feasting with Shellfish in the Southern Ohio Valley: Archaic Sacred Sites and Rituals*. Univ. of Tennessee Press.
- Cobo, A., García-Escárcaga, A., Gutiérrez-Zugasti, I., Setién, J., González-Morales, M. R., & López-Higuera, J. M. (2017). Automated Measurement of Magnesium/Calcium Ratios in Gastropod Shells Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for Paleoclimatic Applications. *Applied Spectroscopy*, 71(4), 591–599.
- Colonese, A. C., Collins, M., Lucquin, A., Eustace, M., Hancock, Y., de Almeida Rocha Ponzoni, R., ... Craig, O. E. (2014). Long-term resilience of late holocene coastal subsistence system in Southeastern South america. *PloS One*, 9(4), e93854.
- Colonese, A. C., Netto, S. A., Francisco, A. S., DeBlasis, P., Villagran, X. S., de Almeida Rocha Ponzoni, R., ... Giannini, P. C. F. (2017). Shell sclerochronology and stable isotopes of the bivalve *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) from southern Brazil: Implications for environmental and archaeological studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 484, 7–21.
- Colonese, A. C., Vetro, D. L., Landini, W., Di Giuseppe, Z., Hausmann, N., Demarchi, B., ... Others. (2018). Late Pleistocene-Holocene coastal adaptation in central Mediterranean: snapshots from Grotta d'Oriente (NW Sicily). *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 493, 114–126.

- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (2013). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer Science & Business Media.
- Corrêa, G. R., Schaefer, C. E. G. R., Freitas Melo, V. de, Souza, K. W. de, Ker, J. C., Rodrigues, I. M. M., & Senra, E. O. (2011). Physical and chemical attributes of archaeological soils developed from shell middens in the Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 35(4), 1100–1111. Retrieved 3 August 2021 from
- Crabtree, D. M., Clausen, C. D., & Roth, A. A. (1979). Consistency in growth line counts in bivalve specimens. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29, 323–340.
- Cudennec, J.-F., & Paulet, Y.-M. (2021). Characterising Inter-Individual Growth Variability of *Patella vulgata* Shell Through Calcein Marking Experiments: Consequences for Palaeo-Environmental Studies. *Environmental Archaeology*, 1–14.
- Culleton, B. J., Kennett, D. J., & Jones, T. L. (2009). Oxygen isotope seasonality in a temperate estuarine shell midden: a case study from CA-ALA-17 on the San Francisco Bay, California. *Journal of Archaeological Science*, 36(7), 1354–1363.
- Culleton, B. J., Kennett, D. J., Lynn Ingram, B., Erlandson, J. M., & Southon, J. R. (2006). Intrashell Radiocarbon Variability in Marine Mollusks. *Radiocarbon*, 48(3), 387–400. Retrieved 10 August 2021 from
- Darwin, C. (1839). Journal and remarks (1832-1836). In R. Fitz-Roy (Ed.), *Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the America, years 1826 and 1836, describing their examination of the southern shores of South and the Beagle's circumnavigation of the globe. Proceedings of the second expedition, 1831-36, under the command of Captain Robert Fitz-Roy*. Colburn, London.
- Darwin, C. (1846). Geological Observations on the Volcanic Islands visited during the voyage of HMS Beagle, together with some brief notices on the geology of Australia and the Cape .... Retrieved from

[https://jgs.lyellcollection.org/content/1/1/556.short?casa\\_token=rT2-wUz76ggAAAAA:q9ifF8-h8ajyQYrlQQoP8RDIDne9B2o9sEBs\\_qrc46FNQWYDwGowxg\\_R2Z-XwEYM\\_b0B6f1INjauZQ](https://jgs.lyellcollection.org/content/1/1/556.short?casa_token=rT2-wUz76ggAAAAA:q9ifF8-h8ajyQYrlQQoP8RDIDne9B2o9sEBs_qrc46FNQWYDwGowxg_R2Z-XwEYM_b0B6f1INjauZQ)

Darwin Correspondence Project. (n.d.). Retrieved 2 August 2021, from

<https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-1478A.xml>

Deevey, E. S., Gross, M. S., Hutchinson, G. E., & Kraybill, H. L. (1954). THE NATURAL CONTENTS OF MATERIALS FROM HARD-WATER LAKES. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 40(5), 285–288.

Deith, M. R. (1983). Molluscan calendars: The use of growth-line analysis to establish seasonality of shellfish collection at the Mesolithic site of Morton, Fife. *Journal of Archaeological Science*, 10(5), 423–440.

Deith, M. R. (1985). Seasonality from shells: an evaluation of two techniques for seasonal dating of marine molluscs. In *Palaeoenvironmental investigations: research design, methods and data analysis. Symposia of the Association for Environmental Archaeology* (pp. 119–130).

Demarchi, B., Williams, M. G., Milner, N., Russell, N., Bailey, G., & Penkman, K. (2011). Amino acid racemization dating of marine shells: A mound of possibilities. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1-2), 114–124.

De Vynck, J. C., Difford, M., Anderson, R., Marean, C. W., Cowling, R. M., & Hill, K. (2019). The resilience to human foraging of intertidal resources on the south Cape coast of South Africa and the implications for pre-historic foragers. *Quaternary Science Reviews*, 106041.

Dibble, H. L., Raczek, T. P., & McPherron, S. P. (2005). Excavator bias at the site of Pech de l'Azé IV, France. *Journal of Field Archaeology*, 30(3), 317–328.

Douka, K., Bergman, C. A., Hedges, R. E. M., Wesselingh, F. P., & Higham, T. F. G. (2013).

- Chronology of Ksar Akil (Lebanon) and implications for the colonization of Europe by anatomically modern humans. *PloS One*, 8(9), e72931.
- Douka, K., Higham, T. F. G., & Hedges, R. E. M. (2010). Radiocarbon dating of shell carbonates: old problems and new solutions. *Munibe Suplemento*, 31, 18–27.
- Drake, B. L. (2012). The influence of climatic change on the Late Bronze Age Collapse and the Greek Dark Ages. *Journal of Archaeological Science*, 39(6), 1862–1870.
- Du Chatellier, P. (1881). *Exploration des tumuli de Run-Aour et de la torche en Plomeur, Finistère, et du Kjekkenmödding de la torche*. Imp. Francisque Guyon.
- Dupont, C., & Marchand, G. (2021). New paradigms in the exploitation of Mesolithic shell middens in Atlantic France: The example of Beg-er-Vil, Brittany. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 584, 59–71.
- Durham, S. R., Gillikin, D. P., Goodwin, D. H., & Dietl, G. P. (2017). Rapid determination of oyster lifespans and growth rates using LA-ICP-MS line scans of shell Mg/Ca ratios. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 201–209.
- Eerkens, J. W., Byrd, B. F., Spero, H. J., & Fritschi, A. K. (2013). Stable isotope reconstructions of shellfish harvesting seasonality in an estuarine environment: implications for Late Holocene San Francisco Bay settlement patterns. *Journal of Archaeological Science*, 40(4), 2014–2024.
- Elliot, M., deMenocal, P. B., Linsley, B. K., & Howe, S. S. (2003). Environmental controls on the stable isotopic composition of *Mercenaria mercenaria*: Potential application to paleoenvironmental studies. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(7). Retrieved from <https://doi.org/10.1029/2002gc000425>
- Erlandson, J. M. (2001). The archaeology of aquatic adaptations: paradigms for a new millennium. *Journal of Archaeological Research*, 9(4), 287–350.
- Facorellis, Y., & Vardala-Theodorou, E. (2015). Sea Surface Radiocarbon Reservoir Age



- Changes in the Aegean Sea from about 11,200 BP to Present. *Radiocarbon*, 57(3), 493–505. Retrieved 4 May 2019 from
- Fariñas-Franco, J. M., Pearce, B., Mair, J. M., Harries, D. B., MacPherson, R. C., Porter, J. S., ... Sanderson, W. G. (2018). Missing native oyster (*Ostrea edulis* L.) beds in a European Marine Protected Area: Should there be widespread restorative management? *Biological Conservation*, 221, 293–311.
- Faulkner, P. (2009). Focused, intense and long-term: evidence for granular ark (*Anadara granosa*) exploitation from late Holocene shell mounds of Blue Mud Bay, northern Australia. *Journal of Archaeological Science*, 36(3), 821–834.
- Faulkner, P. (2011). Quantifying shell weight loss in archaeological deposits. *Archaeology in Oceania*, 46(3), 118–129.
- Fenger, T., Surge, D., Schöne, B., & Milner, N. (2007). Sclerochronology and geochemical variation in limpet shells ( *Patella vulgata*): A new archive to reconstruct coastal sea surface temperature. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(7).
- Ferguson, J. E., Henderson, G. M., Fa, D. A., Finlayson, J. C., & Charnley, N. R. (2011). Increased seasonality in the Western Mediterranean during the last glacial from limpet shell geochemistry. *Earth and Planetary Science Letters*, 308(3–4), 325–333.
- Ferguson, J. E., Johnson, K. R., Santos, G., Meyer, L., & Tripathi, A. (2013). Investigating  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{14}\text{C}$  within *Mytilus californianus* shells as proxies of upwelling intensity. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(6), 1856–1865.
- Fernandes, R., Bergemann, S., Hartz, S., Grootes, P. M., Nadeau, M.-J., Melzner, F., ... Hüls, M. (2012). Mussels with Meat: Bivalve Tissue-Shell Radiocarbon Age Differences and Archaeological Implications. *Radiocarbon*, 54(3-4), 953–965. Retrieved 9 May 2022 from
- Fernández-López de Pablo, J., & Gabriel, S. (2016). El Collado shell midden and the exploitation patterns of littoral resources during the Mesolithic in the Eastern Iberian

- Peninsula. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 407, 106–117.
- Figuti, L. (2008). A recipe for a sambaqui: considerations on brazilian shell mound composition and building. *Early Human Impact on Megamollusks*, 1, 67–80.
- Fischer, A., & Kristiansen, K. (2002). *The Neolithisation of Denmark: 150 years of debate*. JR Collis.
- Fitzhugh, B., Butler, V. L., Bovy, K. M., & Etnier, M. A. (2018). Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.016>
- Fossile, T., Ferreira, J., Bandeira, D. R., Figuti, L., Dias-da-Silva, S., Hausmann, N., ... Colonese, A. C. (2019). Pre-Columbian fisheries catch reconstruction for a subtropical estuary in South America. *Fish and Fisheries*. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/faf.12401>
- García-Escárczaga, A., & Gutiérrez-Zugasti, I. (2021). The role of shellfish in human subsistence during the Mesolithic of Atlantic Europe: An approach from meat yield estimations. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 584, 9–19.
- García-Escárczaga, A., Gutiérrez-Zugasti, I., Cobo, A., Cuenca-Solana, D., Martín-Chivelet, J., Roberts, P., & González-Morales, M. R. (2019). Stable oxygen isotope analysis of *Phorcus lineatus* (da Costa, 1778) as a proxy for foraging seasonality during the Mesolithic in northern Iberia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(10), 5631–5644.
- García-Escárczaga, A., Gutiérrez-Zugasti, I., Schöne, B. R., Cobo, A., Martín-Chivelet, J., & González-Morales, M. R. (2018). Growth patterns of the topshell *Phorcus lineatus* (da Costa, 1778) in northern Iberia deduced from shell sclerochronology. *Chemical*

- Geology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.03.017>
- García-Escárcaga, A., Moncayo, S., Gutiérrez-Zugasti, I., González-Morales, M. R., Martín-Chivelet, J., & Cáceres, J. O. (2015). Mg/Ca ratios measured by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS): a new approach to decipher environmental conditions. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 30(9), 1913–1919. Retrieved 30 April 2021 from
- Gaspar, M. D., DeBlasis, P., Fish, S. K., & Fish, P. R. (2008). Sambaqui (Shell Mound) Societies of Coastal Brazil. In H. Silverman & W. H. Isbell (Eds.), *The Handbook of South American Archaeology* (pp. 319–335). New York, NY: Springer New York.
- Geyh, M. A., Schotterer, U., & Grosjean, M. (1997). Temporal Changes of the  $^{14}\text{C}$  Reservoir Effect in Lakes. *Radiocarbon*, 40(2), 921–931. Retrieved 10 August 2021 from
- Gillikin, D. P., Lorrain, A., Jolivet, A., Kelemen, Z., Chauvaud, L., & Bouillon, S. (2017). High-resolution nitrogen stable isotope sclerochronology of bivalve shell carbonate-bound organics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 200, 55–66.
- Giovas, C. M., Fitzpatrick, S. M., Clark, M., & Abed, M. (2010). Evidence for size increase in an exploited mollusc: humped conch (*Strombus gibberulus*) at Chelechol ra Orrak, Palau from ca. 3000–0 BP. *Journal of Archaeological Science*, 37(11), 2788–2798.
- Gonfiantini, R., Stichler, W., & Rozanski, K. (1995). *Standards and intercomparison materials distributed by the International Atomic Energy Agency for stable isotope measurements* (No. IAEA-TECDOC--825). Retrieved 5 August 2021 from [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:27021328](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:27021328)
- Graesch, A. P. (2009). Fieldworker Experience and Single-Episode Screening as Sources of Data Recovery Bias in Archaeology: A Case Study from the Central Pacific Northwest Coast. *American Antiquity*, 74(4), 759–779. Retrieved 3 August 2021 from
- Gräslund, B. (1987). *The birth of Prehistoric chronology: dating methods systems in nineteenth-century Scandinavian archaeology*. Cambridge University Press.

- Gron, K. J., & Robson, H. K. (2016). The Ertebølle zooarchaeological dataset from southern Scandinavia. *Open Quaternary*, 2(1), 1–15. Retrieved 3 August 2021 from
- Gron, K. J., & Rowley-Conwy, P. (2018). Environmental Archaeology in Southern Scandinavia. In E. Pişkin, A. Marciniak, & M. Bartkowiak (Eds.), *Environmental Archaeology* (Vol. 142, pp. 35–74). Cham: Springer International Publishing.
- Grossman, E. L., & Ku, T.-L. (1986). Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, 59(0), 59–74.
- Gutiérrez Zugasti, F. I. (2011). Shell fragmentation as a tool for quantification and identification of taphonomic processes in archaeomalacological analysis: the case of the Cantabrian region (northern Spain). *Archaeometry*, 53(3), 614–630.
- Gutiérrez-Zugasti, I., Andersen, S. H., Araújo, A. C., Dupont, C., Milner, N., & Monge-Soares, A. M. (2011). Shell midden research in Atlantic Europe: State of the art, research problems and perspectives for the future. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1), 70–85.
- Gutiérrez-Zugasti, I., Suárez-Revilla, R., Clarke, L. J., Schöne, B. R., Bailey, G. N., & González-Morales, M. R. (2017). Shell oxygen isotope values and sclerochronology of the limpet *Patella vulgata* Linnaeus 1758 from northern Iberia: Implications for the reconstruction of past seawater temperatures. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.03.018>
- Habu, J., Matsui, A., Yamamoto, N., & Kanno, T. (2011). Shell midden archaeology in Japan: Aquatic food acquisition and long-term change in the Jomon culture. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1), 19–27.
- Hale, J. C., Benjamin, J., Woo, K., Astrup, P. M., McCarthy, J., Hale, N., ... Bailey, G. (2021). Submerged landscapes, marine transgression and underwater shell middens:

- Comparative analysis of site formation and taphonomy in Europe and North America. *Quaternary Science Reviews*, 258, 106867.
- Hallmann, N., Burchell, M., Schöne, B. R., Irvine, G. V., & Maxwell, D. (2009). High-resolution sclerochronological analysis of the bivalve mollusk *Saxidomus gigantea* from Alaska and British Columbia: techniques for revealing environmental archives and archaeological seasonality. *Journal of Archaeological Science*, 36(10), 2353–2364.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D., & Others. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- Hammond, H. (2014). Taphonomic analysis of archaeomalacological assemblages: shell middens on the northern coast of Santa Cruz (Patagonia, Argentina). *Intersecciones En Antropología*, 15, 21–34.
- Harck, O. (1973). Eisenzeitliche Muschelhaufen an der schleswigschen Ost-und Westküste. *Offa*, 30, 40–54.
- Harding, J. M., Mann, R., & Southworth, M. J. (2008). Shell Length-at-age Relationships in James River, Virginia, Oysters (*Crassostrea virginica*) Collected Four Centuries Apart. *Journal of Shellfish Research*, 27(5), 1109–1115. Retrieved 3 May 2022 from
- Hardy, K., Camara, A., Piqué, R., Dioh, E., Guèye, M., Diadhiou, H. D., ... Carré, M. (2016). Shellfishing and shell midden construction in the Saloum Delta, Senegal. *Journal of Anthropological Archaeology*, 41, 19–32.
- Harris, C. M., Ambrose, W. G., Jr, Bigelow, G. F., Locke, W. L., V., & Silverberg, S. M. B. (2018). Analysis of the Size, Shape, and Modeled Age of Common Limpets (*Patella vulgata*) from Late Norse Middens at Sandwick, Unst, Shetland Islands, UK: Evidence for Anthropogenic and Climatic Impacts. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 13(3), 341–370.
- Harris, M., & Weisler, M. (2018). Prehistoric Human Impacts to Marine Mollusks and Intertidal Ecosystems in the Pacific Islands. *The Journal of Island and Coastal*

*Archaeology*, 13(2), 235–255.

Hartz, S., Jöns, H., Lübke, H., Schmölcke, U., von Carnap-Bornheim, C., Heinrich, D., ...

Wolters, S. (2014). Prehistoric settlements in the south-western Baltic Sea area and development of the regional Stone Age economy. *Sincos II—Sinking Coasts: Geosphere, Ecosphere and Anthroposphere of the Holocene Southern Baltic Sea*, 77–210.

Hartz, S., Kalis, A. J., Klassen, L., & Meurers-Balke, J. (2011). Neue Ausgrabungen zur Ertebøllekultur in Ostholstein und der Fund von vier stratifizierten durchlochten donauländischen Äxten. *Liber Amicorum: Vergangene Zeiten. Gedenkschrift Für J. Hoika. Bonn*, 25–61.

Hatch, M. B. A., Schellenberg, S. A., & Carter, M. L. (2013). Ba/Ca variations in the modern intertidal bean clam *Donax gouldii*: An upwelling proxy? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 98–107.

Hausmann, N., Colonese, A. C., de Lima Ponzoni, A., Hancock, Y., Meredith-Williams, M., Leng, M. J., & Bailey, G. N. (2017). Isotopic composition of *Conomurex fasciatus* shells as an environmental proxy for the Red Sea. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 427, 115–127.

Hausmann, N., & Meredith-Williams, M. (2017a). Exploring accumulation rates of shell deposits through seasonality data. *Journal of Archaeological Method*. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10816-016-9287-x>

Hausmann, N., & Meredith-Williams, M. (2017b). Seasonal patterns of coastal exploitation on the Farasan Islands, Saudi Arabia. *The Journal of Island and*. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15564894.2016.1216478>

Hausmann, N., Meredith-Williams, M., Douka, K., Inglis, R. H., & Bailey, G. (2019). Quantifying spatial variability in shell midden formation in the Farasan Islands, Saudi Arabia. *PloS One*, 14(6), e0217596.

- Hausmann, N., Meredith-Williams, M., & Laurie, E. (2021). Shellfish resilience to prehistoric human consumption in the southern Red Sea: Variability in *Conomurex fasciatus* across time and space. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 584, 20–32.
- Hausmann, N., Prendergast, A. L., Lemonis, A., Zech, J., Roberts, P., Siozos, P., & Anglos, D. (2019). Extensive elemental mapping unlocks Mg/Ca ratios as climate proxy in seasonal records of Mediterranean limpets. *Scientific Reports*, 9(1), 3698.
- Hausmann, N., Robson, H. K., & Hunt, C. O. (2019). Annual growth patterns and interspecimen variability in Mg/Ca records of archaeological *Ostrea edulis* (European Oyster) from the Late Mesolithic site of Conors .... *Open Quaternary*. Retrieved from <http://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/11567/>
- Hausmann, N., Siozos, P., Lemonis, A., Colonese, A. C., Robson, H. K., & Anglos, D. (2017). Elemental mapping of Mg/Ca intensity ratios in marine mollusc shells using laser-induced breakdown spectroscopy. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 32(8), 1467–1472. Retrieved 4 February 2019 from
- He, A., Yang, Q., & Ning, Y. (2009). New archaeological discovery and preliminary understanding of shell midden sites in the Zuojiang River Basin in Guangxi. *Journal of National Museum of China*, 5, 4–10.
- Higuera-Ruiz, R., & Elorza, J. (2009). Biometric, microstructural, and high-resolution trace element studies in *Crassostrea gigas* of Cantabria (Bay of Biscay, Spain): Anthropogenic and seasonal influences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(2), 201–213.
- Höfgen, W. (2018). Der spätneolithische muschelhaufen von quern-neukirchen LA 28 (Tegelbarg), kreis schleswig-flensburg. *Offa*, 71, 155–216.
- Holdaway, S. J., Fanning, P. C., Petchey, F., Allely, K., Shiner, J. I., & Bailey, G. (2017). Temporal variability in shell mound formation at Albatross Bay, northern Australia. *PloS One*, 12(8), e0183863.

- Incze, L. S., Lutz, R. A., & Watling, L. (1980). Relationships between effects of environmental temperature and seston on growth and mortality of *Mytilus edulis* in a temperate northern estuary. *Marine Biology*, 57(3), 147–156.
- Jazwa, C. S., & Jantz, S. (2019). The Effects of Heating on  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in *Mytilus californianus* Shell Carbonate: Implications for Paleoenvironmental Reconstruction and Season of Harvest. *Journal of California and Great Basin Anthropology*. Retrieved from <https://par.nsf.gov/biblio/10190040>
- Jerardino, A. (2016). On the origins and significance of Pleistocene coastal resource use in southern Africa with particular reference to shellfish gathering. *Journal of Anthropological Archaeology*, 41, 213–230.
- Jew, N. P., Erlandson, J. M., Watts, J., & White, F. J. (2013). Shellfish, Seasonality, and Stable Isotope Sampling:  $\delta^{18}\text{O}$  Analysis of Mussel Shells From an 8,800-Year-Old Shell Midden on California's Channel Islands. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 8(2), 170–189.
- Jew, N. P., Rick, T. C., Glassow, M. A., & Arnold, J. E. (2015). Bayesian  $^{14}\text{C}$  analysis, formation processes, and accumulation rates of the Prisoners Harbor shell midden and village complex, Santa Cruz Island, California. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 3, 257–264.
- Jockisch, H. (1951). Die Muschelhaufen am Windebyer Noor und ihre zeitliche Einordnung. Jahrbuch der Heimatgemeinschaft des Kreises Eckernförde e.V. *Jahrbuch Der Heimatgemein- Schaft Des Kreises Eckernförde*, 9, 76–84.
- Jones, D. S., & Quitmyer, I. R. (1996). Marking time with bivalve shells: oxygen isotopes and season of annual increment formation. *Palaeos*, 340–346.
- Jöns, H., Lübke, H., Lüth, F., & Terberger, T. (2007). Prehistoric settlements and development of the regional economic area. Archaeological investigations along the northeast German Baltic Sea coast. *Bericht Der Römisch-Germanischen Kommission*,



88, 149–188.

- Jöns, H., Lüth, F., Mahlstedt, S., Goldhammer, J., Hartz, S., & Kühn, H.-J. (2020). Germany: Submerged Sites in the South-Western Baltic Sea and the Wadden Sea. In G. Bailey, N. Galanidou, H. Peeters, H. Jöns, & M. Mennenga (Eds.), *The Archaeology of Europe's Drowned Landscapes* (pp. 95–123). Cham: Springer International Publishing.
- Kaufman, D. S., & Manley, W. F. (1998). A new procedure for determining dl amino acid ratios in fossils using reverse phase liquid chromatography. *Quaternary Science Reviews*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(97\)00086-3](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(97)00086-3)
- Keith, M. L., & Anderson, G. M. (1963). Radiocarbon Dating: Fictitious Results with Mollusk Shells. *Science*, 141(3581), 634–637.
- Kennett, D. J., & Voorhies, B. (1996). Oxygen isotopic analysis of archaeological shells to detect seasonal use of wetlands on the southern Pacific coast of Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 23(5), 689–704.
- Kersten, K., & La Baume, P. (1958). *Vorgeschichte der nordfriesischen Inseln* (Vol. 1). K. Wachholtz.
- Killam, D. E., & Clapham, M. E. (2018). IDENTIFYING THE TICKS OF BIVALVE SHELL CLOCKS: SEASONAL GROWTH IN RELATION TO TEMPERATURE AND FOOD SUPPLY. *Palaos*, 33(5), 228–236. Retrieved 1 February 2019 from
- Klein, R. G., & Bird, D. W. (2016). Shellfishing and human evolution. *Journal of Anthropological Archaeology*, 44, 198–205.
- Klein, R. G., & Steele, T. E. (2013). Archaeological shellfish size and later human evolution in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(27), 10910–10915.
- Kloß, S., Lübke, H., & Mahlstedt, S. (2009). Der endmesolithische Fundplatz Timmendorf-Nordmole I. Unterwasserarchäologische Forschungen in der Wismarbucht. *Zwischen Nordund Ostsee 1997-2007. Zehn Jahre Arbeitsgruppe Für Maritime Und*

- Limnische Archäologie (AMLA) in Schleswig-Holstein*, 187–208.
- Koike, H. (1979). Seasonal dating and the valve-pairing technique in shell-midden analysis. *Journal of Archaeological Science*, 6(1), 63–74.
- Koike, H. (1980). *Seasonal dating by growth-line counting of the clam, Meretrix lusoria: Toward a reconstruction of prehistoric shell-collecting activities in Japan*. Univ.
- Koike, H., & Others. (1975). The use of daily and annual growth lines of the clam *Meretrix lusoria* in estimating seasons of Jomon Period shell gathering. Retrieved from <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7720213610>
- Koppel, B., Szabó, K., Moore, M. W., & Morwood, M. J. (2017). Isolating downward displacement: The solutions and challenges of amino acid racemisation in shell midden archaeology. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 427, 21–30.
- Kwiecien, O., Braun, T., Brunello, C. F., Faulkner, P., Hausmann, N., Helle, G., ... Breitenbach, S. F. M. (2021). What we talk about when we talk about seasonality – A transdisciplinary review. *Earth-Science Reviews*, 103843.
- Kwiecien, O., & Breitenbach, S. F. M. (2017). Medium rare or well done - how would you like your snail? Influence of cooking practices on the isotopic composition of land snails' shells (Vol. 2017, p. PP53D–01). [ui.adsabs.harvard.edu](http://ui.adsabs.harvard.edu).
- Langejans, G. H. J., van Niekerk, K. L., Dusseldorp, G. L., & Thackeray, J. F. (2012). Middle Stone Age shellfish exploitation: Potential indications for mass collecting and resource intensification at Blombos Cave and Klasies River, South Africa. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 270(Supplement C), 80–94.
- Lazareth, C. E., Putten, E. V., André, L., & Dehairs, F. (2003). High-resolution trace element profiles in shells of the mangrove bivalve *Isognomon ephippium*: a record of

- environmental spatio-temporal variations? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(5), 1103–1114.
- Lewis, M. C., & Sealy, J. C. (2018). Coastal complexity: Ancient human diets inferred from Bayesian stable isotope mixing models and a primate analogue. *PloS One*, 13(12), e0209411.
- Lindauer, S., Milano, S., Steinhof, A., & Hinderer, M. (2018). Heating mollusc shells - A radiocarbon and microstructure perspective from archaeological shells recovered from Kalba, Sharjah Emirate, UAE. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 528–537.
- Li, Z. (2004). The discoveries and research on shell midden sites along rivers in Guangxi. *Corpus of Guangxi Museum (1). Guangxi: Guangxi People's Publishing House. pp8-16. (in Chinese).*
- Lombard, M., & Kyriacou, K. (2020). Hunter-Gatherer Women. In *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*.
- Lougheed, B. C., Filipsson, H. L., & Snowball, I. (2013). Large spatial variations in coastal <sup>14</sup>C reservoir age – a case study from the Baltic Sea. *Climate of the Past*. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/cp-9-1015-2013>
- Lübke, H., & Schmölcke, U. (2010). Timmendorf-Nordmole III und der Neolithisierungsprozess an der südwestlichen Ostseeküste. *NAU-Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie*, 16, 13–24.
- Luby, E. M., & Gruber, M. F. (1999). The Dead Must be Fed: Symbolic Meanings of the Shellmounds of the San Francisco Bay Area. *Cambridge Archaeological Journal*, 9(1), 95–108. Retrieved 3 May 2022 from
- Magnani, G., Bartolomei, P., Cavulli, F., Esposito, M., Marino, E. C., Neri, M., ... Tosi, M. (2007). U-series and radiocarbon dates on mollusc shells from the uppermost layer of the archaeological site of KHB-1, Ra's al Khabbah, Oman. *Journal of Archaeological Science*, 34(5), 749–755.

- Mannino, M. A., Spiro, B. F., & Thomas, K. D. (2003). Sampling shells for seasonality: oxygen isotope analysis on shell carbonates of the inter-tidal gastropod *Monodonta lineata* (da Costa) from populations across its modern range and from a Mesolithic site in southern Britain. *Journal of Archaeological Science*, 30(6), 667–679.
- Mannino, M. A., & Thomas, K. D. (2001). Intensive Mesolithic Exploitation of Coastal Resources? Evidence from a Shell Deposit on the Isle of Portland (Southern England) for the Impact of Human Foraging on Populations of Intertidal Rocky Shore Molluscs. *Journal of Archaeological Science*, 28(10), 1101–1114.
- Mannino, M. A., & Thomas, K. D. (2002). Depletion of a resource? The impact of prehistoric human foraging on intertidal mollusc communities and its significance for human settlement, mobility and dispersal. *World Archaeology*, 33(3), 452–474.
- Marean, C. W. (2014). The origins and significance of coastal resource use in Africa and Western Eurasia. *Journal of Human Evolution*, 77, 17–40.
- Marean, C. W. (2015). An Evolutionary Anthropological Perspective on Modern Human Origins. *Annual Review of Anthropology*, 44(1), 533–556.
- Marean, C. W. (2016). The transition to foraging for dense and predictable resources and its impact on the evolution of modern humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 371(1698). Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0239>
- Marquardt, W. H. (2010). SHELL MOUNDS IN THE SOUTHEAST: MIDDENS, MONUMENTS, TEMPLE MOUNDS, RINGS, OR WORKS? *American Antiquity*, 75(3), 551–570.
- Matos Martins, J. M., Martín, A. M., Cesário Portela, P. J., & Monge Soares, A. M. (2012). Improving the <sup>14</sup>C Dating of Marine Shells from the Canary Islands for Constructing More Reliable and Accurate Chronologies. *Radiocarbon*, 54(3-4), 943–952. Retrieved 10 August 2021 from
- Mayoral, A., Granai, S., Develle, A.-L., Peiry, J.-L., Miras, Y., Couderc, F., ... Berger, J.-F.

- (2020). Early human impact on soils and hydro-sedimentary systems: Multi-proxy geoarchaeological analyses from La Narse de la Sauvetat (France). *The Holocene*. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0959683620950390>
- McDonald, J. H. (2014). *Handbook of Biological Statistics 3rd Edition*. Sparky House Publishing Baltimore, MD.
- Meehan, B. (1975). *Shell bed to shell midden*. Australian Institute of Aboriginal Studies.
- Meighan, C. W. (1969). Molluscs as food remains in archaeological sites. *Science in Archaeology*, 415.
- Milano, S., Prendergast, A. L., & Schöne, B. R. (2016). Effects of cooking on mollusk shell structure and chemistry: Implications for archeology and paleoenvironmental reconstruction. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 7, 14–26.
- Milner, G. R., & Jefferies, R. W. (1998). THE READ ARCHAIC SHELL MIDDEN IN KENTUCKY. *Southeastern Archaeology*, 17(2), 119–132.
- Milner, N. (2001). At the Cutting Edge: Using Thin Sectioning to Determine Season of Death of the European Oyster, *Ostrea edulis*. *Journal of Archaeological Science*, 28(8), 861–873.
- Milner, N. (2002). Oysters, cockles and kitchenmiddens: changing practices at the Mesolithic/Neolithic Transition. *Consuming Passions and Patterns of Consumption*, 89–96.
- Milner, N., & Barrett, J. H. (2012). The maritime economy: mollusc shell. *Being an Islander: Production and Identity at Quoygrew, Orkney, AD, 900–1600*.
- Minniti, C. (2005). Shells at the Bronze Age settlement of Coppa Nevigata (Apulia, Italy). *Von DE Bar-Yosef Mayer*, 71–81.
- Miszaniec, J. I., Darwent, J., & Darwent, C. M. (2019). Small game, estuaries, and nets: New perspectives on Norton culture coastal adaptations from a shell midden in Norton Sound, Alaska. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 1–25.

- Miyaji, T., Tanabe, K., Matsushima, Y., Sato, S. 'ichi, Yokoyama, Y., & Matsuzaki, H. (2010). Response of daily and annual shell growth patterns of the intertidal bivalve *Phacosoma japonicum* to Holocene coastal climate change in Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 286(3–4), 107–120.
- Moon, L. R., Judd, E. J., Thomas, J., & Ivany, L. C. (2020). Out of the oven and into the fire: Unexpected preservation of the seasonal  $\delta^{18}\text{O}$  cycle following heating experiments on shell carbonate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 110115.
- Morlot, A. (1861). *General Views on Archaeology*. Printed at the Congressional globe office.
- Mouchi, V., de Rafélis, M., Lartaud, F., Fialin, M., & Verrecchia, E. (2013). Chemical labelling of oyster shells used for time-calibrated high-resolution Mg/Ca ratios: A tool for estimation of past seasonal temperature variations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 66–74.
- Müller, P., Staudigel, P. T., Murray, S. T., Vernet, R., Barusseau, J.-P., Westphal, H., & Swart, P. K. (2017). Prehistoric cooking versus accurate palaeotemperature records in shell midden constituents. *Scientific Reports*, 7(1), 3555.
- Nayak, B. K., & Hazra, A. (2011). How to choose the right statistical test? *Indian Journal of Ophthalmology*, 59(2), 85–86.
- Noll, E. (2002). *Ethnoarchäologische Studien an Muschelhaufen*. Waxmann Verlag.
- Oertle, A. (2019). *Time and Relative Dimension in Space: Untangling site formation and taphonomic processes on archaeological shell from the tropical Indo-Pacific* (PhD). University of Sydney. Retrieved from <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/21080>
- Offermann, K. J. (2018). Eisenzeitliche Muschelhaufen am Windebyer Noor – Eine Neubewertung ausgehend vom Fundplatz Eckernförde (Stadt) LA 56, Kr. Rendsburg-Eckernförde. *Siedlungs- Und Küstenforschung Im Südlichen Nordseegebiet*, 41, 41–131.
- O'Neil, J. R., Clayton, R. N., & Mayeda, T. K. (1969). Oxygen Isotope Fractionation in

- Divalent Metal Carbonates. *The Journal of Chemical Physics*, 51(12), 5547–5558.
- Ørsted, H. C., Forchhammer, G., Eschricht, D. F., Steenstrup, J., & Scharling, C. E. (1848). lagttagelser angaaende Tiden, da visse hævede Lag af östers- og Muslingskaller vare dannede, og angaaende de Natur- og Culturforhold, som da havde fundet sted her i Landet (Mødet den 7de Januar 1848). *Oversigt over Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger*. Copenhagen, Bianco Luno.
- Ortiz, J. E., Gutiérrez-Zugasti, I., Sánchez-Palencia, Y., Torres, T., & González-Morales, M. (2019). Protein diagenesis in archaeological shells of *Littorina littorea* (Linnaeus, 1758) and the suitability of this material for amino acid racemisation dating. *Quaternary Geochronology*, 54, 101017.
- Ortiz, J. E., Gutiérrez-Zugasti, I., Torres, T., González-Morales, M., & Sánchez-Palencia, Y. (2015). Protein diagenesis in *Patella* shells: Implications for amino acid racemisation dating. *Quaternary Geochronology*, 27, 105–118.
- Ortiz, J. E., Sánchez-Palencia, Y., Gutiérrez-Zugasti, I., Torres, T., & González-Morales, M. (2018). Protein diagenesis in archaeological gastropod shells and the suitability of this material for amino acid racemisation dating: *Phorcus lineatus* (da Costa, 1778). *Quaternary Geochronology*, 46, 16–27.
- Ortiz, J. E., Sánchez-Palencia, Y., Gutiérrez-Zugasti, I., Torres, T., & González-Morales, M. (2020). Mimicking the effects of anthropogenic heating on amino acid racemisation dating of gastropod shells. *Quaternary Geochronology*, 59, 101084.
- Ortiz, J. E., Torres, T., González-Morales, M. R., Abad, J., Arribas, I., Fortea, F. J., ... Gutiérrez-Zugasti, I. (2009). The aminochronology of man-induced shell middens in caves in northern Spain. *Archaeometry*, 51(1), 123–139.
- Parker, W., Yanes, Y., Mesa Hernández, E., Hernández Marrero, J. C., Pais, J., Soto Contreras, N., & Surge, D. (2018). Shellfish Exploitation in the Western Canary Islands Over the Last Two Millennia. *Environmental Archaeology*, 1–23.

- Pearce, N. J. G., & Mann, V. L. (2006). Trace metal variations in the shells of *Ensis siliqua* record pollution and environmental conditions in the sea to the west of mainland Britain. *Marine Pollution Bulletin*, 52(7), 739–755.
- Penkman, K. E. H., Kaufman, D. S., Maddy, D., & Collins, M. J. (2008). Closed-system behaviour of the intra-crystalline fraction of amino acids in mollusc shells. *Quaternary Geochronology*, 3(1-2), 2–25.
- Petchey, F., Ulm, S., David, B., McNiven, I. J., Asmussen, B., Tomkins, H., ... Staniscic, J. (2012). <sup>14</sup>C Marine Reservoir Variability in Herbivores and Deposit-Feeding Gastropods from an Open Coastline, Papua New Guinea. *Radiocarbon*, 54(3-4), 967–978. Retrieved 10 August 2021 from
- Philippson, H. (1924). *Die Vorgeschichte von Flensburg und Umgebung*. Flensburg: Deutscher Verlag, G.m.b.H., 'Flensburger Nachrichten'.
- Pilditch, C. A., & Grant, J. (1999). Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Marine Biology*, 134(2), 235–248. Retrieved 11 August 2021 from
- Pluckhahn, T. J., Thompson, V. D., & Cherkinsky, A. (2015). The temporality of shell-bearing landscapes at Crystal River, Florida. *Journal of Anthropological Archaeology*, 37, 19–36.
- Prendergast, A. L., & Schöne, B. R. (2017). Oxygen isotopes from limpet shells: Implications for palaeothermometry and seasonal shellfish foraging studies in the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 484, 33–47.
- Prendergast, M. E., & Lane, P. J. (2010). Middle Holocene fishing strategies in East Africa: zooarchaeological analysis of Pundo, a Kanyore shell midden in northern Nyanza (Kenya). *International Journal of Osteoarchaeology*, 20(1), 88–112.
- Radermacher, P., Schöne, B. R., Gischler, E., Oschmann, W., Thébault, J., & Fiebig, J. (2009). Sclerochronology – a highly versatile tool for mariculture and reconstruction of life history traits of the queen conch, *Strombus gigas* (Gastropoda). *Aquatic Living*



- Resources*, 22(3), 307–318. Retrieved 28 June 2017 from
- R Core Team. (2020). R Core Team R: a language and environment for statistical computing. *Foundation for Statistical Computing*.
- Reese, D. S. (1980). Industrial Exploitation of Murex Shells: Purple-dye and Lime Production at Sidi Khrebish, Benghazi (Berenice)\*. *Libyan Studies*, 11, 79–93. Retrieved 22 November 2021 from
- Reichstein, H. (1975). Einige Bemerkungen zu spätneolithischen Tierknochenfunden vom 'Tegelbarg', Gemeinde Neukirchen, Kr. Flensburg. *Die Heimat*, 82, 99–104.
- Rhoads, D. C., & Lutz, R. A. (1980). Skeletal growth of aquatic organisms: biological records of environmental change. Retrieved from <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALZOLINEINRA82X0192904>
- Rhoads, D. C., & Pannella, G. (1970). THE USE OF MOLLUSCAN SHELL GROWTH PATTERNS IN ECOLOGY AND PALEOECOLOGY. *Lethaia*. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1970.tb01854.x>
- Rick, T. C., Reeder-Myers, L. A., Hofman, C. A., Breitburg, D., Lockwood, R., Henkes, G., ... Hines, A. H. (2016). Millennial-scale sustainability of the Chesapeake Bay Native American oyster fishery. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(23), 6568–6573.
- Rigaud, S., & Gutiérrez-Zugasti, I. (2016). Symbolism among the last hunter–fisher–gatherers in northern Iberia: Personal ornaments from El Mazo and El Toral III Mesolithic shell midden sites. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 407, 131–144.
- Robson, H. (2015). *Evaluating the change of consumption and culinary practices at the transition to agriculture: a multi-disciplinary approach from a Danish kitchen midden* (phd). University of York. Retrieved 11 August 2021 from

<https://etheses.whiterose.ac.uk/10563/>

- Robson, H., Andersen, S. H., Craig, O., Ritchie, K., & Others. (2013). Eel fishing in the late Mesolithic and the early Neolithic: A preliminary report from the stratified kitchen midden at Havnø, Denmark. *Archaeofauna*, 22(1). Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Harry-Robson-4/publication/286385648\\_Eel\\_fishing\\_in\\_the\\_Late\\_Mesolithic\\_and\\_the\\_Early\\_Neolithic\\_A\\_preliminary\\_report\\_from\\_the\\_stratified\\_kitchen\\_midden\\_at\\_Havno\\_Denmark/links/568a791008ae051f9afa5159/Eel-fishing-in-the-Late-Mesolithic-and-the-Early-Neolithic-A-preliminary-report-from-the-stratified-kitchen-midden-at-Havno-Denmark.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Harry-Robson-4/publication/286385648_Eel_fishing_in_the_Late_Mesolithic_and_the_Early_Neolithic_A_preliminary_report_from_the_stratified_kitchen_midden_at_Havno_Denmark/links/568a791008ae051f9afa5159/Eel-fishing-in-the-Late-Mesolithic-and-the-Early-Neolithic-A-preliminary-report-from-the-stratified-kitchen-midden-at-Havno-Denmark.pdf)
- Robson, H. K., Hausmann, N., & Milner, N. (n.d.). Shell middens. In *Encyclopedia of Archaeology, 2nd Edition*. Elsevier.
- Rodriguez, A. B., Fodrie, F. J., Ridge, J. T., Lindquist, N. L., Theuerkauf, E. J., Coleman, S. E., ... Kenworthy, M. D. (2014). Oyster reefs can outpace sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4(6), 493–497. Retrieved 4 August 2021 from
- Rollins, H. B., Sandweiss, D. H., & Rollins, J. C. (1990). Mollusks and coastal archaeology: a review. *Archaeological Geology of North America*, 4, 467–478.
- Rosenberg, G. (2014). A new critical estimate of named species-level diversity of the recent Mollusca. *American Malacological Bulletin*, 32(2), 308.
- Rothmann, C. (1912). Aus grauer Vorzeit. In C. Kock (Ed.), *Volks- und Landeskunde der Landschaft Schwansen* (pp. 26–34).
- Rowley-Conwy, P. (2007). *From Genesis to Prehistory: The Archaeological Three Age System and Its Contested Reception in Denmark, Britain, and Ireland*. OUP Oxford.
- Royer, C., Thébault, J., Chauvaud, L., & Olivier, F. (2013). Structural analysis and paleoenvironmental potential of dog cockle shells (*Glycymeris glycymeris*) in Brittany, northwest France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 123–132.
- Ruscillo, D. (2005). 11. Reconstructing Murex Royal Purple and biblical blue in the Aegean.

*Archaeomalacology: Molluscs in Former Environments of Human Behaviour*, 99.

- Sanchez, G. M., Rick, T. C., Culleton, B. J., Kennett, D. J., Buckley, M., Erlandson, J. M., & Losey, R. L. (2018). Radiocarbon dating legacy collections: A Bayesian analysis of high-precision AMS 14C dates from the Par-Tee site, Oregon. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 833–848.
- Sanger, M. C., Quitmyer, I. R., Colaninno, C. E., Cannarozzi, N., & Ruhl, D. L. (2020). Multiple-Proxy Seasonality Indicators: An Integrative Approach to Assess Shell Midden Formations from Late Archaic Shell Rings in the Coastal Southeast North America. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 15(3), 333–363.
- Sato, S. (1995). Spawning periodicity and shell microgrowth patterns of the venerid bivalve *Phacosoma japonicum* (Reeve, 1850). *The Veliger*, 38, 61–72. Retrieved 11 August 2021 from
- Savarese, M., Walker, K. J., Stingu, S., Marquardt, W. H., & Thompson, V. (2016). The effects of shellfish harvesting by aboriginal inhabitants of Southwest Florida (USA) on productivity of the eastern oyster: Implications for estuarine management and restoration. *Anthropocene*, 16, 28–41.
- Scheel-Ybert, R., & Boyadjian, C. (2020). Gardens on the coast: Considerations on food production by Brazilian shellmound builders. *Journal of Anthropological Archaeology*, 60, 101211.
- Schmölcke, U., & Breede, M. (2005). Eisenzeitliche Tierknochen aus dem Muschelhaufen bei Dunsum/Fohr—Eine Revision alter Funde. *Arch. Nachr. Schleswig-Holstein*, 13, 65–74.
- Schmölcke, U., Meadows, J., Ritchie, K., Bērziņš, V., Lübke, H., & Zagorska, I. (2016). Neolithic fish remains from the freshwater shell midden Riņņukalns in northern Latvia. *Environmental Archaeology*, 21(4), 325–333.
- Schöne, B. R. (2003). A 'clam-ring' master-chronology constructed from a short-lived bivalve mollusc from the northern Gulf of California, USA. *Holocene*, 13(1), 39–49.

- Schöne, B. R. (2008). The curse of physiology—challenges and opportunities in the interpretation of geochemical data from mollusk shells. *Geo-Marine Letters*, 28(5-6), 269–285. Retrieved 29 June 2017 from
- Schöne, B. R., Dunca, E., Fiebig, J., & Pfeiffer, M. (2005). Mutvei's solution: An ideal agent for resolving microgrowth structures of biogenic carbonates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 228(1), 149–166.
- Schöne, B. R., Goodwin, D. H., Flessa, K. W., & Dettman, D. L. (2002). Sclerochronology and Growth of the Bivalve Mollusks *Chione* (*Chionista*) *fluctifraga* and *C. (Chionista) cortezi* in the. *The Veliger*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Peter\\_Roopnarine/publication/201170129\\_Sclerochronology\\_and\\_Growth\\_of\\_the\\_bivalve\\_mollusks\\_Chione\\_Chionista\\_fluctifraga\\_and\\_C\\_Chionista\\_cortezi\\_in\\_the\\_northern\\_Gulf\\_of\\_California\\_Mexico/links/02e7e5284659836ec6000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter_Roopnarine/publication/201170129_Sclerochronology_and_Growth_of_the_bivalve_mollusks_Chione_Chionista_fluctifraga_and_C_Chionista_cortezi_in_the_northern_Gulf_of_California_Mexico/links/02e7e5284659836ec6000000.pdf)
- Schöne, B. R., Radermacher, P., Zhang, Z., & Jacob, D. E. (2013). Crystal fabrics and element impurities (Sr/Ca, Mg/Ca, and Ba/Ca) in shells of *Arctica islandica*—implications for paleoclimate reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 50–59.
- Serrand, N., Vigne, J.-D., & Guilaine, J. (2005). 13. Early Preceramic Neolithic marine shells from Shillourokambos, Cyprus (late 9th-8th mill. cal BC): A mainly-ornamental set with similarities to mainland PPNB. *Archaeomalacology: Molluscs in Former Environments of Human Behaviour*, 122.
- Shackleton, J. C., & Van Andel, T. H. (1986). Prehistoric shore environments, shellfish availability, and shellfish gathering at Franchthi, Greece. *Geoarchaeology*, 1(2), 127–143.
- Shackleton, N. J. (1973). Oxygen isotope analysis as a means of determining season of occupation of prehistoric midden sites. *Archaeometry*, 15(1), 133–141.

- Skriver, C., Borup, P., & Astrup, P. M. (2017). Hjarnø Sund: An Eroding Mesolithic Site and the Tale of two Paddles. In G. N. Bailey, J. Harff, & D. Sakellariou (Eds.), *Under the Sea: Archaeology and Palaeolandscapes of the Continental Shelf* (pp. 131–143). Cham: Springer International Publishing.
- Staudigel, P. T., Swart, P. K., Pourmand, A., Laguer-Díaz, C. A., & Pestle, W. J. (2019). Boiled or roasted? Bivalve cooking methods of early Puerto Ricans elucidated using clumped isotopes. *Science Advances*, 5(11), eaaw5447.
- Steenstrup, J., Forchhammer, G., & Worsaae, J. (1851). Geologisk-antiquariske Undersøgelser angaaende Landeets ældste Natur-og Cultur-Forhold. *Oversigt over Videnskabernes Selskabs Forhandlinger 1851*, 1–31.
- Stein, J. K., Deo, J. N., & Phillips, L. S. (2003). Big Sites—Short Time: Accumulation Rates in Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Science*, 30(3), 297–316.
- Surge, D., Lohmann, K. C., & Dettman, D. L. (2001). Controls on isotopic chemistry of the American oyster, *Crassostrea virginica*: implications for growth patterns. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 172(3), 283–296.
- Thébault, J., & Chauvaud, L. (2013). Li/Ca enrichments in great scallop shells (*Pecten maximus*) and their relationship with phytoplankton blooms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 108–122.
- Thomas, K. D., & Mannino, M. A. (2017). Making numbers count: Beyond minimum numbers of individuals (MNI) for the quantification of mollusc assemblages from shell matrix sites. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 427, 47–58.
- Thompson, V. D., & Andrus, C. F. T. (2011). Evaluating Mobility, Monumentality, and Feasting at the Sapelo Island Shell Ring Complex. *American Antiquity*, 76(2), 315–343.  
Retrieved 5 February 2019 from
- Thompson, V. D., Pluckhahn, T. J., Das, O., & Andrus, C. F. T. (2015). Assessing village life

- and monument construction (cal. AD 65–1070) along the central Gulf Coast of Florida through stable isotope geochemistry. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4, 111–123.
- Thurstan, R. H., Hawkins, J. P., Raby, L., & Roberts, C. M. (2013). Oyster (*Ostrea edulis*) extirpation and ecosystem transformation in the Firth of Forth, Scotland. *Journal for Nature Conservation*, 21(5), 253–261.
- Thurstan, R. H., & Roberts, C. M. (2010). Ecological meltdown in the Firth of Clyde, Scotland: two centuries of change in a coastal marine ecosystem. *PloS One*, 5(7), e11767.
- Toniello, G., Lepofsky, D., Lertzman-Lepofsky, G., Salomon, A. K., & Rowell, K. (2019). 11,500 y of human–clam relationships provide long-term context for intertidal management in the Salish Sea, British Columbia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(44), 22106–22114. Retrieved 11 August 2021 from
- Vihtakari, M., Ambrose, W. G., Jr., Renaud, P. E., Locke, W. L., V., Carroll, M. L., Berge, J., ... Hop, H. (2017). A key to the past? Element ratios as environmental proxies in two Arctic bivalves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465, Part B, 316–332.
- Voss, F. (1968). Junge Erdkrustenbewegungen im Raume der Eckernförder Bucht.
- Wagner, G., Hilbert, K., Bandeira, D., Tenório, M. C., & Okumura, M. M. (2011). Sambaquis (shell mounds) of the Brazilian coast. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 239(1-2), 51–60.
- Wanamaker, A. D., Jr, Kreutz, K. J., Schöne, B. R., Maasch, K. A., Pershing, A. J., Borns, H. W., ... Feindel, S. (2009). A late Holocene paleo-productivity record in the western Gulf of Maine, USA, inferred from growth histories of the long-lived ocean quahog (*Arctica islandica*). *Geologische Rundschau: Zeitschrift Fur Allgemeine Geologie*, 98(1), 19–29.
- Warter, V., & Müller, W. (2017). Daily growth and tidal rhythms in Miocene and modern giant

- clams revealed via ultra-high resolution LA-ICPMS analysis—A novel methodological approach towards improved sclerochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465, 362–375.
- Waselkov, G. A. (1987). Shellfish Gathering and Shell Midden Archaeology. In M. B. Schiffer (Ed.), *Advances in Archaeological Method and Theory* (pp. 93–210). San Diego: Academic Press.
- West, C. F., Burchell, M., & Andrus, C. F. T. (2018). Molluscs and Paleoenvironmental Reconstruction in Island and Coastal Settings: Variability, Seasonality, and Sampling. In C. M. Giovas & M. J. LeFebvre (Eds.), *Zooarchaeology in Practice: Case Studies in Methodology and Interpretation in Archaeofaunal Analysis* (pp. 191–208). Cham: Springer International Publishing.
- Williams, D. F., Arthur, M. A., Jones, D. S., & Healy-Williams, N. (1982). Seasonality and mean annual sea surface temperatures from isotopic and sclerochronological records. *Nature*, 296(5856), 432–434. Retrieved 21 November 2021 from
- Winder, J. (2017). 14. Oysters in archaeology. *Molluscs in Archaeology: Methods, Approaches and Applications*, 3, 238.
- Wood, R. E., Higham, T. F. G., de Torres, T., Tisnérat-Laborde, N., Valladas, H., Ortiz, J. E., ... de La Rasilla, M. (2013). A new date for the neanderthals from El sidrón cave (Asturias, northern Spain). *Archaeometry*, 55(1), 148–158.
- Worsaae, J. J. A. (1859). Concerning a new division of the Stone and Bronze Ages, and a strange find a Engestofte on Lolland from the early Stone Age. *The Neolithisation of Denmark*, 150, 47–56.
- Zuykov, M., Pelletier, E., & Harper, D. A. T. (2013). Bivalve mollusks in metal pollution studies: from bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, 93(2), 201–208.

