



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Die Entwicklung der benthischen Foraminiferen- fauna im südlichen Mittelmeer vor Israel nach der Öffnung des Suez-Kanals“

verfasst von / submitted by

Gloria Quell, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2021/ Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 815

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium

Erdwissenschaften

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof.Dr. Petra Heinz

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.....	1
1.1 Die Faunenentwicklung im Roten Meer und im Mittelmeer durch die Zeit	1
1.2 Der Menschliche Einfluss.....	1
1.2.1 Der Suezkanal.....	2
1.2.2 Der Assuan-Staudamm.....	3
1.2.3 Die Klimaerwärmung und ihr Einfluss auf das Mittelmeer.....	4
1.3 Die Lessepsische Invasion.....	5
1.3.1 Die Invasiven Arten.....	6
1.3.1.1 Definition.....	6
1.3.1.2 Der Einfluss invasiver Arten auf die native Fauna.....	7
1.4 Benthische Foraminiferen.....	7
1.4.1 Die Ökologie.....	7
1.4.2 Die bisherigen Forschungsergebnisse aus dem Mittelmeer.....	9
2. Die Fragestellung.....	9
3. Material und Methoden.....	10
3.1 Der Probenort Atlit und die Bucht von Haifa.....	10
3.2 Die Probennahme und Aufbereitung.....	12
3.3 Probenanalyse.....	13
3.4 Faunistische und statistische Auswertung.....	15
3.4.1 Species Richness S	15
3.4.2 Shannon-Wiener-Index H'	15
3.4.3 Evenness E	15
3.4.4 Dominanz D	16
3.5 Dominanzanalyseverfahren.....	16
3.6 Korrelation mit externen Parametern.....	17
3.7 Non-metric Multidimensional scaling analysis.....	17
3.8. Verwendete Software.....	18
4. Ergebnisse.....	19
4.1 Artenliste.....	19
4.2 Sedimentkorngrößenanalyse.....	52
4.2.1 Korrelation faunistischer Daten mit der Sedimentkorngröße.....	53
4.3 Artenvorkommen und Schalentypen.....	55

4.4 Dominanzanalyse.....	56
4.4.1 Dominanz der invasiven Arten.....	59
4.5 Diversitätsindizes.....	60
4.5.1 Artenzahl und Individuenzahl.....	60
4.5.2 Dominanz als Index D	62
4.5.3 Evenness E	63
4.5.4 Diversität Shannon-Wiener Index H'	63
4.6 Non-metric multidimensional Scaling Analysis (nMDS).....	65
4.7 Invasive Arten.....	66
5. Interpretation.....	68
5.1 Das Problem mit den fehlenden Parametern.....	68
5.2 Die Schwankungen in der Faunenzusammensetzung.....	69
5.3 Ein Vergleich mit dem „älteren“ Teil des Kerns.....	77
5.4. Die invasiven Arten.....	81
5.5. Ein Vergleich mit anderen Studien.....	81
6. Fazit.....	85
7. Literaturverzeichnis.....	88
8. Anhang.....	100
8.1. Kurzfassungen.....	100
8.1.1. Kurzfassung in deutscher Sprache.....	100
8.1.2. Abstract in English.....	102
8.2. Rohdaten.....	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Die israelische Küste mit dem eingezeichneten Probenahmeort	11
Abbildung 2	Sedimentkern-Skizze.	14
Abbildung 3	Anteil der Korngrößen über den gesamten Kern von Layer 1 bis 70 verteilt.	52
Abbildung 4	Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion $> 500 \mu\text{m}$ im „jüngeren Kernabschnitt	57
Abbildung 5	Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion $500 - 125 \mu\text{m}$ im „jüngeren Kernabschnitt	58
Abbildung 6	Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion $500 - 125 \mu\text{m}$ im „jüngeren Kernabschnitt	59
Abbildung 7	Analysen der Artenzahl aus den Layern 1 bis Layer 30.	61
Abbildung 8	Analysen der Individuenzahl aus den Layern 1 bis Layer 30.	62
Abbildung 9	Analysen zur Dominanz D aus den Layern 1 bis Layer 30.	62
Abbildung 10	Analysen zur Evenness E aus den Layern 1 bis Layer 30.	63
Abbildung 11	Analysen zum Shannon Index H aus den Layern 1 bis Layer 30.	64
Abbildung 12	nmMDS Analyse der Fraktion <i>gesamt</i> ($> 63 \mu\text{m}$) von Layer 1 bis Layer 30.	65
Abbildung 13	nmMDS Analyse der Fraktion <i>klein</i> ($125 - 63 \mu\text{m}$) von Layer 1 bis Layer 30.	66
Abbildung 14	nmMDS Analyse der Fraktion <i>groß</i> ($> 125 \mu\text{m}$) von Layer 1 bis Layer 30.	66
Abbildung 15	Die Abbildung zeigt die Abundanzverteilung der invasiven Foraminiferenarten des „jüngeren“ Kernabschnitts (Layer 30 - Layer 1)	67
Abbildung 16	Artenzahl (A) und Individuenzahl (B) über den Kern verteilt (Layer 1 - 70).	80
Abbildung 17	Evenness (A), Dominanz (B) und Shannon Index (C) über den Kern verteilt (Layer 1 - 70)	80

Bildtafelverzeichnis

Bildtafel 1	39
Bildtafel 2	40
Bildtafel 3	41
Bildtafel 4	42
Bildtafel 5	43
Bildtafel 6	44
Bildtafel 7	45
Bildtafel 8	46
Bildtafel 9	47
Bildtafel 10	48
Bildtafel 11	49
Bildtafel 12	50
Bildtafel 13	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ergebnisse der Korrelationsanalyse in Bezug auf die Artenzahl	54
Tabelle 2	Ergebnisse der Korrelationsanalyse in Bezug auf die Individuenzahl	54
Tabelle 3	Korrelationsanalyse zwischen Artenzahl und Individuenzahl	54
Tabelle 4	Relative Schalentypenverhältnisse der Arten über die „jüngere“ Hälfte des Kerns verteilt.	55
Tabelle 5	Relative Schalentypenverhältnisse der Individuen über die „jüngere“ Hälfte des Kerns verteilt.	56
Tabelle 6	Zählraten der Foraminiferenvergesellschaftung des „älteren“ Kernabschnitts.	105
Tabelle 7	Größe der untersuchten Splits	114
Tabelle 8	Masse der Sedimentfraktionen	114

Formelverzeichnis

Formel 1	Anteil der Individuen einer Art (n) an der Summe aller Individuen (N)	15
Formel 2	Shannon-Wiener-Index	15
Formel 3	Evenness, wobei H dem Shannon-Wiener-Index und S der Artenzahl entspricht.	15
Formel 4	Dominanz, wobei n_j die Anzahl an Individuen ist und n Anzahl der Arten.	16

Danksagung

Allen voran möchte ich Frau Professor Dr. Petra Heinz für die Geduld und die Unterstützung danken, die das Verfassen dieser Arbeit benötigt hat. Ich möchte mich auch bei Dr. Annekatriin Enge bedanken, die über die beginnende Zeitspanne der Auswertungen, Bestimmungen und Recherchen eine unabdinglich Hilfe gewesen ist und ohne deren Frohnatur einige Hürden bestimmt trister ausgesehen hätten. Ganz besonders möchte ich mich bei meinem Verlobten Matthias Nagy bedanken, der für mich auch über seinen Abschluss hinaus eine konstante Stütze und Ansprechperson im Institut gewesen ist.

1. EINLEITUNG

1.1 DIE FAUNENENTWICKLUNG IM ROTEN MEER UND IM MITTELMEER DURCH DIE ZEIT

Das heutige Mittelmeer hatte seinen Ursprung als eines der Thetis-Becken, die sich, nach heutigem Stand der Forschung, als längliche Meeresabschnitte über den Süden von Eurasien erstreckten (siehe die Diskussion über die Tethys bei *Metcalf, 1999*). Im Rahmen dieses Thetys-Komplexes, bestand eine langfristige und stabile Verbindung zwischen dem Roten Meer und dem Mittelmeer, die jedoch durch tektonische Prozesse vor 10 Millionen Jahren (Miozän) getrennt wurde. Das Mittelmeer erfuhr damit eine bis heute andauernde, geographische Trennung vom Roten Meer und damit auch vom Arabischen Meer (*Rilov et al., 2009*). Durch diese plattentektonisch bedingte Trennung der beiden Binnenmeere und ihre relative Abschottung größeren Ozeanen gegenüber, entwickelten sich unabhängig voneinander zwei sehr diverse Faunenvergesellschaftungen.

Das Rote Meer war vor allem unter tropisch warmen Einfluss aus dem Süden. Daher konnten sich dort Arten ansiedeln, welche ursprünglich im Arabischen Meer und im Indischen Ozean heimisch waren. Das Mittelmeer hingegen erfuhr einen starken Einfluss durch den Atlantik, welcher durch die Straße von Gibraltar, vor 5 Millionen Jahren (Pleistozän), einen Austausch ermöglichte und zu eher kühler angepassten, mediterranen Faunenvergesellschaftung führte (*Nykjaer, 2009; Rilov et al., 2009*). Somit wurde trotz relativer Nähe zum Roten Meer ein sehr differenziertes Biom hervorgebracht.

1.2 DER MENSCHLICHE EINFLUSS

Der Mensch nimmt schon seit langem Einfluss auf die biologischen Abläufe im Mittelmeer, doch über die letzten Dekaden hat sich dieser Eingriff zu einer großen Gefahr für die Biodiversität des Binnenmeeres entwickelt. Nicht nur die Überfischung, auch Massentourismus, Kreuzfahrtschiffe, intensiver Handelsverkehr per Schiff und nicht zuletzt die Eröffnung des Suezkanals

wirken sich einschlägig auf die biologische Vielfalt des Mittelmeeres aus. Die unter Punkt 1.2.2 und 1.2.3 erwähnten menschlichen Einflüsse sind keine initiierenden Faktoren für die Lessepssche Invasion (siehe Punkt 1.3), aber mit Sicherheit begünstigen diese die Einwanderung von neobiologischen Arten.

1.2.1 DER SUEZKANAL

Die natürliche Trennung des Mittelmeers vom Roten Meer fand in der Neuzeit durch anthropogenen Einfluss schließlich ein Ende. Die schmale Landbrücke, die diese beiden Binnenmeere einst voneinander trennte und Ägypten mit Israel verband, wurde 1869 aufgebrochen, um die Durchfahrt von Schiffen zu ermöglichen (*Rilov et al., 2009*).

Der dadurch entstandene Kanal von Suez wurde nach Konstruktionsplänen von Ferdinand de Lesseps gebaut und verläuft 163 km von Süd nach Nord bis in den Hafen Port Said an der südlichen Mittelmeerküste, östlich des Nildeltas. Dadurch, dass der Suez-Kanal schleusenlos ist, ist nicht nur Handel zwischen diesen beiden Meeren möglich, sondern eröffnet somit auch das Potenzial für Meeresorganismen durchschwommen, oder passiv von einem der beiden Meere, in das andere, transportiert zu werden.

Ehemalige natürliche Gradienten zwischen den beiden Meeren, allen voran Salinität und Temperatur, machten es anfänglich biologisch schwierig für Organismen, durch diese schmale Schleuse zu wandern. Doch mit voranschreitenden Veränderungen durch den Klimawandel bietet der Suez-Kanal immer häufiger Durchlass für ortsfremde Organismen und wurde damit zu einem der wichtigsten Invasionswege in das Mittelmeer (*Molnar et al, 2008*).

Anfangs boten die Bitterseen, durch welche der Suezkanal führt, eine natürliche Sperre, denn mit einer Salinität von 68-80‰ am Grund und 50-52‰ an der Oberfläche (*Kovalev, 2006*) galten sie als hypersalin und waren daher von den meisten Arten, beziehungsweise deren Larven, unpassierbar. Durch die fortschreitende Vertiefung und Verbreiterung des Kanals (die nur von Süd nach Nord verläuft), vergrößerte sich das Strömungsvolumen. Die Evaporation wurde gehemmt und die Salinität begann zwischen

1960 und 1970 wieder zu sinken. So wurde den invasiven Arten aus dem Roten Meer der Weg erleichtert (*Kovalev, 2006; Rilov et al., 2009*).

Auch einigen Arten von Foraminiferen des Roten Meeres gelang es schließlich zu migrieren. Bereits erste Forschungen von *Por (1987)* zum Einfluss des Suezkanals auf die Faunenvergesellschaftungen der beiden Binnenmeere ermöglichten einen ersten Einblick in die sich nur über wenige Dekaden verstärkten Auswirkungen und folgenschweren Veränderungen im Mittelmeer.

Allen voran waren Fische (*Zenetos et al., 2010*) und Schnecken (*Zenetos et al., 2003*) betroffen, allerdings gaben weitere Untersuchungen Aufschluss über Algen (*Zenetos et al., 2010*), Krebse (*Galil et al., 2002*) Phytoplankton (*Zenetos et al., 2010*), Zooplankton (*Zenetos et al., 2010*) und schlussendlich auch über invasive Foraminiferenarten (*Hyams et al., 2002; Zenetos et al., 2010; Langer et al., 2012*).

1.2.2 DER ASSUAN-STAUDAMM

Zusätzlich führte die Fertigstellung des Assuan-Staudamms 1964, entlang des Nils weiter südlich, zu einer Verringerung des Süßwassereinstroms durch die jährliche Nilüberschwemmung. Dies entfernte eine weitere wichtige Barriere des Suezkanals, die durch den Druck des einströmenden Süßwassers in den zu dieser Zeit noch seichten Kanal (~7m) die meisten Arten davon abhielt, den Kanal zu durchqueren (*Rilov et al., 2009*). Durch die Vertiefungsarbeiten in den Jahren 1960 und 1970 (nun hat der Suez-Kanal ein Betriebsvolumen, dass um das vierzehnfache größer ist, als sein ursprünglicher Zustand (*De Baisi et al., 2003*) und eine Tiefe von 19 m (*Rilov et al., 2009*)) wurde dieser Barriereeffekt weiter verringert, da die nun anschwellende Strömungskraft von Süd nach Nord die zuvor ungestörten, salinen Bodenwasserregionen fortschwemmte (*Rilov et al., 2009*).

Durch das Aufstauen des Nils wurde aber nicht nur der Süßwassereinstrom reduziert, sondern auch der natürliche Sedimenttransport stark verringert. Da der Nilschlamm zuvor wertvolle und essenzielle Nährstoffe ins Mittelmeer geschwemmt hat, kam nach dem Bau des Staudammes nun erschwerend hinzu, dass sich die Grundverhältnisse der verfügbaren Nähr-

stoffe im Einflussbereiches des Nildeltas reduzierte (*Rilov et al., 2009*). Dies führte zu einer Beeinträchtigung des Nahrungsnetzes im östlichen Mittelmeer. Es wurde zu einem ultra-oligotrophen Lebensraum, welcher perfekt für viele tropische Arten (*Merkado et al., 2013*) aus dem Roten Meer ist. Die Reduktion des Zustroms an Nährstoffen hat große Auswirkungen auf die ohnehin bereits stark oligotrophe Region, der sich vor allem auf die Individuenzahlen der Foraminiferen auswirken kann (*Jannink et al., 2001*). Des Weiteren führte das Akkumulieren des Nilschlammes, weiter südlich der Bucht von Haifa, zu einer Veränderung in der Sedimentzusammensetzung (*Hyams-Kaphzan et al., 2008*), zu einer veränderten Korngrößenverteilung (Zunahme sandiger Sedimentablagerungen an der Küste, im Vergleich zu früheren tonigen Ablagerungen durch den Nil (*Rohrlich & Goldsmith, 1984*) und natürlicher Erosion (*Fanos, 1995*)), welche wiederum starken Einfluss auf die Verbreitung und Erhaltung von benthischen Foraminiferen nimmt.

1.2.3 DIE KLIMAERWÄRMUNG UND IHR EINFLUSS AUF DAS MITTELMEER

Wie bereits in Punkt 1.1 erwähnt, sind das Rote Meer und das Mittelmeer seit dem Miozän voneinander getrennt, doch die Öffnung des Suezkanals zerstörte diese natürliche Barriere zwischen den beiden Wassermassen. Gilt der Suezkanal als Startschuss der Lessepsschen Invasion, amplifiziert die Klimaerwärmung die Effekte dieser.

Nach einer Studie von *Béthoux et al. (1990)* ist das Mittelmeer vermutlich das erste Meer, das sich durch anthropogen verursachten Klimawandel erwärmt hat. Eine erhebliche Erwärmung fand aber erst nach 1980 statt (*Nykjaer, 2009*) und ebnete dadurch den Weg für die "Tropikalisierung" des Mittelmeers (*Raitsos et al., 2010*). Hierbei muss aber beachtet werden, dass das Mittelmeer durch die Straße von Sizilien in zwei größere Bereiche, nämlich das westliche und östliche Mittelmeer, unterteilt wird (*Nykjaer, 2009*). Das östliche Becken ist dabei von Grund auf wärmer und saliner als das westliche, was es dadurch anfälliger für die Besiedelung der indo-pazifischen Arten macht (*Rilov et al., 2009*). Die generelle Veränderung der Temperatur des Mittelmeeres lässt sich aber im Groben auf zwei Perioden

einschränken, von welcher die „preshift“ Periode (1985-1997) mit einer mittleren Oberflächenwassertemperatur (sea surface temperature = SST) von 18,5°C und die „postshift“ Periode (ab 1998) mit einer mittleren SST von 19,3°C festgelegt wurde (*Raitsos et al., 2010*). Bricht man dies weiter hinunter und wirft einen Blick auf die saisonale Veränderung der Temperatur, so konnten *Raitsos und Kollegen (2010)* die stärkste Veränderung der SST im Mittelmeer auf die Sommermonate (speziell August) einschränken mit einer Erhöhung von 1,27°C. Nicht außer Acht zu lassen ist hierbei auch der Einfluss aus der Luft, welche sich als erstes erwärmt und schließlich das Signal mit einer gewissen Verzögerung von einem Monat an das Wasser abgibt (*Raitsos et al., 2010*). Die Temperatur der Wintermonate ist auch nicht zu vernachlässigen, da deren Tiefpunkt ausschlaggebend für die letale Grenze der invasiven Arten ist (*Ben-Tuvia 1966; Raitsos et al., 2010*), die durch ihre tropische Herkunft an eine jahresdurchschnittlich höhere Temperatur angepasst sind und bei Unterschreitung ihrer Toleranzbreiten nicht überleben würden.

Im Gegensatz zum Mittelmeer besitzt das Rote Meer nämlich eine Temperaturstabilität (*Raitsos et al., 2010*), die es als tropisches Meer innehat, die dem durch den Atlantik beeinflussten subtropischen Mittelmeer fehlt (*Golani, 2001*).

1.3 DIE LESSEPSSCHE INVASION

Die Öffnung des Suezkanals 1869 zur Förderung des Handels war der Beginn zu dem, was wir heute als Lessepssche Invasion bezeichnen. Benannt nach Ferdinand de Lesseps, welcher den Kanal entwarf und somit indirekt der Verantwortliche für die starke negativen, ökologischen Auswirkungen auf das Mittelmeer geworden ist. Durch eine Kombination aus Erhöhung der Wassertemperatur und Errichtung des Assuan-Staudammes weiter südlich des Nils, wurden zusätzlich zuträgliche Konditionen geschaffen, um den tropischen, invasiven Arten aus dem Roten Meer den Weg ins Mittelmeer zu bereiten.

Das Mittelmeer gilt als ein Hotspot der Biodiversität. Laut der Studie von *Bianchi und Morri (2000)* beherbergt das Mittelmeer mehr als 8500 makro-

skopische Arten, was in Relation zur Größe des Mittelmeeres zu anderen Weltmeeren mit 4-18% aller marinen makroskopischen Organismen enorm viel ist (*Rilov, 2009*). Die invasiven Arten erschließen ein komplett neues Habitat für sich und bringen eine Fitness mit, welcher die einheimischen Arten aus dem Mittelmeer aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen nicht gewachsen sind (*Merkado et al., 2013*). Das führt wiederum zum Verlust an ansässigen Arten und mitunter zum weltweit zweitgrößten Biodiversitätsverlust neben Habitatzerstörung (*Breithaupt, 2003; Raitzos et al, 2010*).

Zahlreiche Studien zeigten, dass über die letzte Dekade hinweg durchschnittlich etwa zehn neue invasive Arten pro Jahr im Mittelmeer erfasst wurden (*Galil, 2008*), was nicht zuletzt durch die fortschreitende Wassererwärmung und somit durch die bereits erwähnte „Tropikalisierung“ des Mittelmeeres erzielt wird und dadurch erschließbare Habitate für viele Organismen, von Fischen (*Vergés et al., 2014*) bis indo-pazifische Foraminiferen (*Langer et al., 2012*) eröffnet.

1.3.1 DIE INVASIVEN ARTEN

1.3.1.1 DEFINITION

Laut IUCN (*International Union for Conservation of Nature, 2002*) bezeichnet man im Generellen jene Arten als invasiv, die in, auf sie bezogene, habitatsfremde Gebiete einwandern und die dort indigene Fauna und ihre Biodiversität bedrohen. Beziehungsweise schließt die Definition nach EPA (*Environmental Protection Agency*) auch jene Fälle mit ein, in denen nicht nur die Diversität der indigenen Arten, sondern auch deren Abundanz, ökologische Stabilität und Aktivität erheblichen Schaden erleiden. Etwas, das auch nicht außer Acht zu lassen ist, sind die Auswirkungen invasiver Arten auf die Gesundheit des Menschen und auch für die Wirtschaftslage der jeweilig betroffenen Gebiete (*Zenetos et al., 2006*).

1.3.1.2 DER EINFLUSS INVASIVER ARTEN AUF DIE NATIVE FAUNA

Invasive Arten zählen, wie bereits erwähnt, als zweitgrößter Faktor, wenn es um Biodiversitätsverlust geht, nur übertroffen von direktem Habitatsverlust (*Breithaupt, 2003; Raitos et al. 2010*). Auch wenn die invasiven Arten nicht zu einer sofortigen Störung oder gar Auslöschung einer Faunenvergesellschaftung führen, so werden sie oft als Induktoren für diese verantwortlich gemacht, da sie bereits gestresste Systeme zusätzlich belasten und damit den Niedergang der indigenen Fauna verursachen können (*Ricciardi, 2004*).

Wichtig zu erwähnen ist an diesem Punkt auch die Irreversibilität des durch invasive Arten entstandenen Schadens (*Carlton, 1989*) und den dadurch noch katastrophaleren Einbruch der Biodiversität. Manche invasiven Arten sind nur gefährlich für den Menschen, bezogen auf sozioökonomische Faktoren wie Fischerei, Pathogene und Infrastruktur, und führen keine, oder nur eine geringe, Gefährdung des eigentlichen ökologischen Netzes mit sich (*Zenetos et al, 2006*). Des Weiteren führt die Problematik der mangelnden Vergleichbarkeit zwischen betroffenen Gebieten und Habitaten, sowie der tatsächlichen Schädlichkeit bestimmter Arten zu einer erschwerten Aussagekraft (*Crall et al., 2006*). Nach einer Studie von *Molnar (2008)* zählt allerdings das Mittelmeer, und hier insbesondere das Levantische Becken im östlichen Mittelmeer, als eines der am stärksten durch die Bioinvasion bedrohten Gebiete in Bezug auf die Ökoregionen weltweit. Das grundlegende Problem ist, dass invasive Arten, die sich erst einmal etabliert haben, sehr schwer aus dem System zu entfernen sind (*Thresher & Kuris, 2004*). Daher ist der einzig erfolgreiche Weg dieser Bedrohung Einhalt zu gebieten, jener, die verantwortlichen Invasionspfade zu eliminieren (*Carlton & Ruiz, 2005*) oder diese besser zu kontrollieren.

1.4 BENTHISCHE FORAMINIFEREN

1.4.1 DIE ÖKOLOGIE

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll speziell auf die Foraminiferen eingegangen werden. Ihre empfindliche Abhängigkeit einiger wichtiger Umwelt-

parameter gegenüber macht sie zu gut erforschbaren und Proxy ableitenden Organismen, welche nicht nur für die Rekonstruktion der Vergangenheit nützlich sind, sondern auch einem Verständnis der rezent ablaufenden Vorgänge dienen.

Foraminiferen zählen zu den Einzellern, im engeren Sinn zu den Rhizaria, einer Untergruppe der Eukaryoten, welche heutzutage in nahezu allen Bereichen der Ozeane vorkommen, was sie für die Forschung umso wertvoller macht. Foraminiferen lassen sich in drei Großgruppen unterteilen, die sich mit dem charakteristischen Aufbau ihrer Schalen befassen. Hyaline Kalkschaler und Porzellanschaler bauen beide mit Kalziumkarbonat, für das sie die Ionen aus dem Meerwasser extrahieren. Hyaline Kalkschaler sind in der Regel opak und besitzen zahlreiche Poren, mit denen sie in Austausch mit der Umgebung treten. Porzellanschaler sind undurchsichtig und besitzen keine Poren, was ihnen Vorteile in der Anpassung an hypersaline Bedingungen gewährt. Die dritte Großgruppe sind die Sandschaler, die durch die Einbettung von Fremdkörpern wie Sandpartikel, in eine Matrix aus organischem Zement, ihre Schalen bauen. Sie sind charakteristisch für Lebensräume mit niedrigem Salzgehalt. Neben den drei Großgruppen, sind auch schalenlose organisch - bedeckte Foraminiferen zu erwähnen. Ihre Körper können jedoch nicht fossil erhalten bleiben. Schalentypen geben nicht nur während dem Wachstum der Foraminifere reichlich Aufschluss auf Lebensweise und stressbedingte Veränderungen, sondern können auch über ihren Tod hinaus im Sediment unter passenden Bedingungen erhalten bleiben (*Murray, 1991*). Sauerstoffgehalt, Nährstoffverfügbarkeit, Temperatur und Salinität sind die Umweltparameter, die am stärksten Einfluss auf Foraminiferenvergesellschaftungen nehmen können (*Murray, 1991*). Daher stellen Foraminiferen sehr attraktive Forschungsorganismen für die Untersuchung der in Punkt 2.3 erläuterten Lessepsschen Invasion dar.

1.4.2 DIE BISHERIGEN FORSCHUNGSERGEBNISSE AUS DEM MITTELMEER

Obwohl die Öffnung des Suezkanals bereits vor 150 Jahren erfolgte, sind die Auswirkungen von invasiven Foraminiferen auf die heimische Fauna nicht sonderlich detailreich belegt.

Dennoch gibt es einige Studien, die sich mit den invasiven Arten, hier vor allem die tropischen Großforaminiferen (large benthic foraminifera = LBF) im levantinischen Becken beschäftigt haben (*Hyams et al., 2002; Yokes et al. 2007; Koukousioura et al., 2010; Merkado et al., 2013; Meric et al., 2015*). Die hierbei am meisten erforschten Arten waren *Heterostegina depressa* und *Amphistegina lobifera*, von welchen man annimmt, dass sie nach ihrem Rückgang mit dem Schwinden des Tethysozeans aufgrund der heutigen ansteigenden Wassertemperatur, erneut häufiger auftreten und sich nun auch wieder im Mittelmeer ansiedeln (*Hyams et al. 2002*).

Neben den überwiegenden LBF, treten aber auch andere invasive Arten auf den Plan, welche seit einigen Jahren diskutiert werden (*Zenetos et al., 2012*).

Was es bis dato allerdings noch nicht gibt, sind Studien über die Faunenzusammensetzung vor der Bioinvasion und wie diese verlief. In dieser Arbeit soll ein Einblick in die Verbreitung der invasiven Arten und der dadurch zurückgehenden heimischen Arten gewährt und mit Hilfe von Sedimentkernanalysen ein zeitlicher Verlauf festgestellt werden.

2. DIE FRAGESTELLUNG

Die grundlegende Fragestellung für die vorliegende Arbeit bezieht sich auf das Vorhandensein von invasiven Arten von benthischen Foraminiferen und die Notwendigkeit für ein besseres Verständnis und Aufklärung für Anzeiger und Prozesse im östlichen Mittelmeer, welche durch die Öffnung des Suez-Kanals 1869 begann einzutreten. Durch die Sedimentanalyse eines Kerns von der Nordküste vor Israel (Wassertiefe ca. 40 m und 80 cm Kernlänge) soll hierbei Aufschluss über das Vorhandensein von invasiven Foraminiferen in früheren Perioden des Mittelmeers gegeben werden. Eine Aufschlüsselung durch die Zeit und somit eine Verdeutlichung der Zusammen-

hänge zwischen der Öffnung des Suezkanals und dem Vorkommen von Invasoren wurde angestrebt. Die für diese Arbeit analysierten Daten stammen aus der „jüngeren“ Hälfte des Kerns, umfassen also die im weiteren ab Punkt 3. erwähnten und erläuterten oberen Layer 1 - 30, während die „ältere“ Hälfte (Layer 35 - 70) von *Nagy (2019)* behandelt wurden.

Im Näheren soll auf folgende Fragen eingegangen werden:

- a) Wie setzt sich die Foraminiferenfauna im „jüngeren“ Teil des Sedimentkerns zusammen und gibt es Veränderungen über den Kernabschnitt hinweg?
- b) Gibt es Abweichungen zum „älteren“ Teil des Kerns und wenn ja, welche Unterschiede kann man erkennen?
- c) Sind invasive Arten im „jüngeren“ Teil des Kerns vorhanden und wenn ja, welche?
- d) Welchen Anteil an der Gesamtf fauna haben die invasiven Arten?
- e) Können die Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Studien verglichen werden?

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 DER PROBENORT ATLIT UND DIE BUCHT VON HAIFA

Der für diese Masterarbeit analysierte Sedimentkern stammt aus dem östlichen Mittelmeer vor der israelischen Küste (Levantisches Meer) und wurde in einer Wassertiefe von 40 m südlich von Haifa, nahe Atlit entnommen (Abb. 1).

Damit fällt der Probenort in das *Levantine Surface Water*, welches durch eine Meerestiefe zwischen 40 m und 100 m und einer Oberflächentemperatur wechselnd im Winter von 17,5°C und Sommer von 30°C charakterisiert wird (*Hyams-Kaphzan et al., 2008*). Wie bereits in Punkt 2.2.2 erwähnt, erhält das Levantinische Becken die meisten seiner Nährstoffe aus dem Nil, welche durch eine Nord-Ost gerichtete, küstenparallele Strömung im Mittelmeer transportiert werden (*Hyams-Kaphzan et al., 2008*). Es gilt jedoch, über den Input des Nils hinaus, als ultra-oligotroph (*Jannink et al.,*

2001). Das eintransportierte Sediment ist von siliziklastischer Natur (Hyams-Kaphzan et al., 2008). Der Nettotransport beträgt bei Tel-Aviv rund 100.000 m³/a und bei der Bucht von Haifa nur noch 60.000-70.000 m³/a (Perlin & Kit, 1999).

In der in dieser Arbeit betrachteten Wassertiefe von ~40 m wird das sandige Sediment, welches von der Küste bis etwa 25 m Wassertiefe dominant ist, langsam von Silt und Ton aufgelockert (Nir, 1984; Zviely et al., 2007). Das für diese Arbeit untersuchte Gebiet befindet sich am nördlichsten Punkt des Nilsedimenteinflusses und ist hier dominiert von einer felsigen Küste, welche von pleistozänen kalkigen Sandsteinen durchzogen ist (Hyams-Kaphzan et al., 2008).

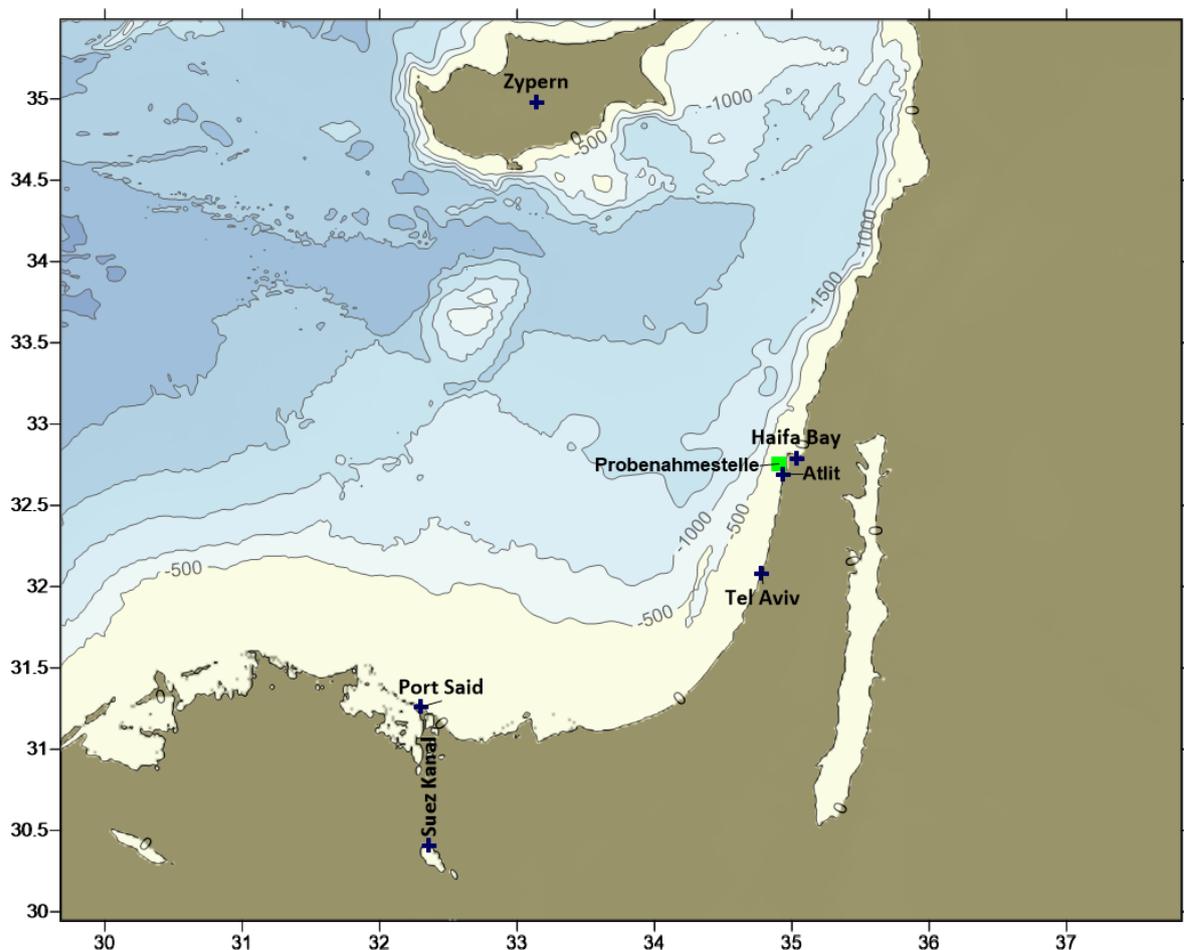


Abbildung 1: Die israelische Küste mit dem eingezeichneten Probenahmeort (grünes Viereck) im levantinischen Meer. Farbliche Unterschiede zeigen die verschiedenen Wassertiefen. Karte nach Nagy (2019).

Die Nähe zu Haifa und dessen Bucht legte die Vermutung nahe, dass die Foraminiferen im Untersuchungsgebiet eventuell einem zusätzlichen anthropogenen Einfluss unterliegen.

Die Bucht von Haifa wird durch den Fluss Kishon gespeist, welcher unbehandeltes Abwasser ins Meer transportiert (*Yanko et al., 1998*). Die Bucht beherbergt ebenso einen Schiffshafen, der aufgrund der hohen industriellen Aktivität essenzielle Wichtigkeit erlangt hat. Durch das Errichten von chemischen und metallverarbeitenden Fabriken, Raffinerien und Atomkraftwerken gelangt täglich eine beachtliche Menge an industriellem Abfall in die Bucht von Haifa und vor allem Schwermetalle gelten als nachweislich schädigend für das Wachstum mancher Foraminiferenarten (*Yanko et al., 1998*).

3.2 DIE PROBENNAHME UND AUFBEREITUNG

Der Kern „NC 40/3“ wurde im September 2016 vor der Küste Israels, in der Nähe von Atlit (Lateralkoordinate 32 45.334979N und Longitudinalkoordinate 034 54.304098E), mit einem Piston Corer genommen. Dieser wurde jedoch als Gravity Corer eingesetzt, indem man an den Piston Corer Gewichte von 100 kg anbrachte (*Gallmetzer et al., 2016*). Der für diese Masterarbeit verwendete Sedimentkern stammt aus einer Wassertiefe von 40 m und umfasst eine Länge von ungefähr 80 cm. Die genaue Länge des Kerns konnte nicht ermittelt werden, da bei der Probennahme einige Schwierigkeiten mit dem umfunktionierten Piston Corer und dem umgebenden inhomogenen Sediment aufgetreten sind. Dadurch, dass der Meeresboden in jener Gegend sehr heterogen und von korallinen Rotalgen durchsetzt ist, beinhaltet NC 40/3 größere Klumpen an unnachgiebigem Sediment, welches auch später zu Problemen beim Schneiden des Kerns führte.

Direkt nach der Entnahme wurde versucht den Kern in 1 cm dicke Segmente (folgend als Layer bezeichnet) zu unterteilen, wobei die bereits erwähnten korallinen Rotalgen zu unregelmäßigen Schnittvorgängen führten und demnach teilweise nur ungleichmäßige Probenscheiben entstanden.

Nach dem Unterteilen des Kerns wurden die Layer in Plastiksäckchen abgefüllt und bis zur weiteren Verarbeitung lufttrocknend gelagert. Im Labor wurden sie über einem geschlossenen Becken mit destilliertem Wasser über ein $> 500 \mu\text{m}$ und über ein $> 63 \mu\text{m}$ Sieb geschlämmt. Die Fraktion $< 63 \mu\text{m}$ wurde durch die geschlossenen Schlämmbecken ebenfalls aufgefangen, in Bechergläser überführt und das überschüssige Wasser abdekantiert. Alle Fraktionen wurden anschließend bei 40°C über Nacht in den Trockenschrank gestellt und in beschriftete Gläser überführt. Das Trockengewicht aller Fraktionen wurde durch Wiegen bestimmt. Um die Inhomogenität der Proben durch die unregelmäßigen Schnittvorgänge aufgrund der korallinen Rotalgen auszugleichen, einigte man sich darauf, die Häufigkeiten der Foraminiferen auf ein standardisiertes Gewicht von 10 g zu beziehen und die hochgerechnete Anzahl an Foraminiferen hinsichtlich dessen zu validieren. Dazu wurden das Gewicht der Trockenmasse für alle Fraktionen ermittelt.

3.3 PROBENANALYSE

Um einen Überblick von der Foraminiferenfauna über den gesamten Kern hinweg zu erlangen, wurde im Rahmen dieser Masterarbeit jeder 5. Layer analysiert. In dieser Arbeit liegt der Fokus allerdings nur auf den Layern 1 (Oberfläche), Layer 5, Layer 10, Layer 15, Layer 20, Layer 25 und Layer 30 (Mitte des Kerns). Dies deckt den oberen „jüngeren“ Teil des Kerns ab. In Abbildung 2 wird die Aufteilung des Kerns dargestellt. Die Layer 35-70 wurden von *Nagy (2019)* näher untersucht (in Abbildung 2 die „ältere Kernhälfte“). Die Layer zwischen den Fünferschritten von Layer 2 bis einschließlich Layer 14 werden ausführlicher bei *Zimmermann (2019)* beschrieben (der blaue Bereich in Abbildung 2). Um die Analyse der Foraminiferen zu erleichtern wurden die Fraktionen $< 500 \mu\text{m}$ jeweils mit Sieben trocken in die Fraktionen von $500-125 \mu\text{m}$ und $125-63 \mu\text{m}$ unterteilt. Diese Fraktionen wurden mit einem Mikrosplitter (ASC-MS-1) homogen gesplittet. Es wurden mindestens 300 Individuen pro Split für die näheren statistischen Analysen ausgelesen. Bei der Fraktion $> 500 \mu\text{m}$ wurde keine

Splittung vorgenommen, weswegen hier die gesamte Individuenzahlen ermittelt wurden.

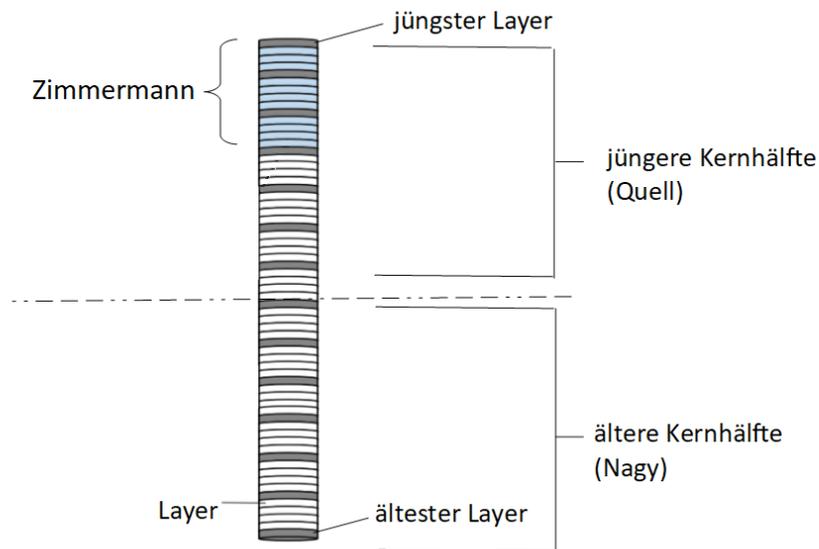


Abbildung 2: Sedimentkern-Skizze. Eingezeichnet ist die Aufteilung zwischen den Masterarbeiten von G. Quell, M. Nagy und K. Zimmermann. Dunkelgraue Flächen zeigen jeden fünften Layer, die hellblaue Fläche zeigt all jene Layer welche von K. Zimmermann untersucht wurden. Die gestrichelte Linie zeigt die Teilung zwischen dem „jüngeren“ und dem „älteren“ Teil des Kerns. Abbildung nach Nagy (2019).

In der gesamten Arbeit wurde nicht zwischen Lebend- und Totfauna unterschieden und die planktischen Foraminiferen wurden wegen ihrer geringen Bedeutung im Flachwasserbereich nicht gezählt. Das Auslesen und die Artbestimmung erfolgte größtenteils mit einem *Motic Stereomikroskop*.

Um die gefundenen Arten besser zu veranschaulichen und genau bestimmen zu können, wurden ausgewählte Individuen zur genauen Betrachtung für das Rasterelektronenmikroskop (*Inspect S50, Firma Fei*) vorbereitet. Dazu wurden die ausgewählten Individuen gesäubert, auf Stubs angeordnet, anschließend mit Gold besputtert und schlussendlich im Hochvakuum für eine detailliertere Analyse betrachtet, um sie mit der in 4.1 erwähnten Bestimmungsliteratur zu vergleichen.

Um einen späteren adäquaten Vergleich der Daten der einzelnen Layer zu gewährleisten wurden die drei Größenfraktionen ($> 500 \mu\text{m}$, $500\text{-}125 \mu\text{m}$ und $125\text{-}63 \mu\text{m}$) gewogen und so die Artenanzahl und Individuenanzahl pro 10 g Sediment angegeben.

3.4 FAUNISTISCHE UND STATISTISCHE AUSWERTUNG

3.4.1 SPECIES RICHNESS S

Die Species Richness S gibt Aufschluss über die Anzahl der Arten in den analysierten Proben und dient dazu, die Veränderung der Artenzahl zwischen den einzelnen Probenlayern zu untersuchen. Definiert wurde dieses Analysemaß nach *Spellerberg et al. (2003)*.

3.4.2 SHANNON-WIENER-INDEX H'

Als Maß der Biodiversität gilt hier der Shannon-Wiener-Index H' (Formel 2), welcher unter Berücksichtigung des Anteils der Anzahl der Individuen einer Art an der Gesamtabundanz (Formel 1) berechnet wird.

$$p_i = \frac{n}{N}$$

Formel 1: Anteil der Individuen einer Art (n) an der Summe aller Individuen (N)

$$H' = \sum_i p_i * \ln(p_i)$$

Formel 2: Shannon-Wiener-Index

Je näher der errechnete Wert bei 0 liegt, desto weniger Arten sind vorhanden, je stärker der Wert allerdings von 0 abweicht, desto mehr Arten sind vertreten (*Spellerberg, 2003*).

3.4.3 EVENNESS E

Ergänzend zum Shannon-Wiener-Index H' , und damit in Verbindung, steht die Evenness E (Formel 3). Dieser Wert gibt an, wie gleichmäßig die vorhandenen Individuen auf die einzelnen Arten verteilt sind.

$$E = \frac{H}{\ln(S)}$$

Formel 3: Evenness, wobei H dem Shannon-Wiener-Index und S der Artenzahl entspricht.

Der errechnete Wert liegt immer zwischen 0 und 1. Je näher das Ergebnis 0 gleich kommt, desto ungleichmäßiger ist die Anzahl der Individuen auf

die Anzahl der Arten verteilt. Liegt das Ergebnis näher bei 1, kann man von einer Fauna ausgehen, deren Individuen gleichmäßig auf die Arten aufgeteilt sind.

3.4.4 DOMINANZ D

Auch die Dominanz liegt zwischen 0 und 1. Berechnet wird sie durch das Verhältnis der Anzahl an Individuen und der Anzahl der Arten (Formel 4).

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

Formel 4: Dominanz, wobei n_i die Anzahl an Individuen ist und n Anzahl der Arten.

Ein Wert von 1 wird dann erreicht, wenn alle Individuen nur einer einzigen Art zuordenbar sind. Je mehr Arten in der Fauna zu finden sind, die nur geringe Individuenzahlen aufweisen (seltene Arten), desto geringer wird der Wert der Dominanz.

3.5 DOMINANZANALYSEVERFAHREN

Während die Dominanz D ausschließlich dazu dient, hervorzuheben ob und wie stark eine oder mehrere Arten im Verhältnis zueinander dominieren, soll das hier verwendete Verfahren der Dominanzanalyse in größerem Detail dazu beitragen, die tatsächlich dominanten Arten und ihren Anteil in der Gesamtf fauna zu bestimmen.

Dabei wurden die Arten über den gesamten Kern hinweg miteinbezogen und zwar fraktionsabhängig. Das heißt, es wurde für jede Fraktion (> 500 μm , 500-125 μm und 125-63 μm) eine eigene Analyse durchgeführt. Der Grund dafür liegt bei der hohen Diskrepanz der Individuenzahlen vor allem zwischen der Fraktion > 500 μm und den anderen beiden Fraktionen (während in den Fraktionen < 125 μm in Splitts von 1/64 mehr als 300 Individuen gefunden werden konnten, blieb die Individuenzahl der Fraktion >125 μm in den meisten Fällen unter 300 Individuen, auch wenn die gesamte Fraktion ausgezählt wurde).

3.6 KORRELATION MIT EXTERNEN PARAMETERN

Da Foraminiferen stark mit ihrer Umwelt interagieren und von dieser auch abhängig sind, untersuchte man in dieser Arbeit ebenfalls den Zusammenhang zwischen den Korngrößen des Sediments und der Artenabundanz, als auch deren Individuenzahl.

Da die Sedimentwerte nicht normalverteilt sind, nutzte man *Kendall's τ* , welches für nicht normalverteilte Datensätze als Korrelationsmaß verwendet werden kann (definiert nach *Press et al. 1992*).

Andere Umweltparameter wie der Gehalt an organischem Kohlenstoff in den Sedimenten (assoziiert mit den Nährstoffen), die Wassertemperatur und der Salzgehalt können einen starken Einfluss auf die Fauna von Foraminiferen haben. Diese Daten wurden jedoch nicht erhoben und so konnte keine Korrelation mit diesen externen Parametern durchgeführt werden. Auch ein Vergleich mit Daten aus anderen Studien ist nicht möglich, da die Sedimente des Kerns zum Zeitpunkt der Studie noch nicht datiert waren.

3.7 NON-METRIC MULTIDIMENSIONAL SCALING ANALYSIS

Bei der Analyse von nicht-metrischen Daten, vor allem bei Verhältnissen zwischen Abundanzen, kann es hilfreich sein, die Ähnlichkeit der erhobenen Einheiten (im Fall der hier untersuchten Daten sind diese Einheiten die „Layer“) graphisch darzustellen. Im Besonderen ist es oft von wissenschaftlichem Interesse, Gruppierungen, Gradienten oder Unterschiede zwischen erhobenen Daten zu finden und zu interpretieren. Eine gut etablierte Methode für diesen Zweck, ist die Nicht-Metrische Multidimensionale Skalierungs Methode (nmMDS). Als Weiterentwicklung der metrischen Multidimensionalen Skalierungs Methode, erfasst sie mehrere nicht metrische (vor allem Rang abhängige) Distanz- (oder Unähnlichkeits-) Matrizen. Die Datenpunkte werden paarweise verglichen und deren Ähnlichkeit zueinander in einem Raum mit wenigen Dimensionen dargestellt. In anderen Worten: die Distanz zwischen zwei Datenpunkten, spiegelt deren Ähnlichkeit wieder. MDS arbeitet mit verschiedenen Distanz-Matrizen Analyseverfahren, die individuell angepasst werden können. Für die Untersuchung der

hier erhobenen Daten, wurde die Bray-Curtis Methode gewählt, die in der Ökologie weit verbreitete Anwendung findet und so einen Vergleich mit anderen Studien ermöglicht. Ein Vergleich zwischen metrischen- und nicht metrischen - Skalierungsmethoden findet man in der Studie von *Kenkel und Orloci (1986)*. Ein mathematischer Ansatz, um den Algorithmus von MDS zu erklären, findet sich in *Zhu und Yu (2009)*.

3.8. VERWENDETE SOFTWARE

Die in dieser Arbeit verwendeten Diagramme wurden mit R (Version R-3.3.2.), mit Hilfe der graphischen Benutzerschnittstelle R Studio (*Rstudio Team, 2016; Version 1.1.463*) und dem Zusatzpaket ggplot2 (*Wickham, 2016*) erstellt. Die Diversitätsindizes, sowie die Korrelationsanalyse und die Non-metric multidimensional scaling analysis wurden mit dem Programm PAST (*Hammer et al., 2001; Version 3.20*) durchgeführt.

4. ERGEBNISSE

4.1 ARTENLISTE

Die in dieser Arbeit analysierten Foraminiferen wurden auf Artniveau bestimmt. Die Identifikation fand in Zusammenarbeit mit Matthias Nagy statt, was bei der Nummerierung der nur auf Gattungsniveau bestimmbar Individuen manchmal zu Brüchen in der Kontinuität führte, da manche dieser Taxa nur in einer der beiden Kernhälften vorkamen (zum Vergleich siehe Nagy, 2019). Die Rohdaten für die nachfolgende Liste ist im Anhang zu finden. Für die Bestimmung verwendete Literatur stammte vor allem von *Cimerman et al. (1991)*, *Meric et al. (2004)*, *Hottinger et al. (1993)* und *Milker et al. (2012)*. Bei besonders auffälligen oder schwer identifizierbaren Arten wurden auch *Loeblich & Tappan (1988)*, *Sgarella et al. (1993)* und *Yanko (1998)* zu Rate gezogen. Die Artnamen wurden mit der Datenbank WoRMS auf ihren aktuellen Stand überprüft (Stand Februar 2021).

Um die invasiven Arten zu bestimmen und fest legen zu können, wurden hauptsächlich die von *Zenetos et al. (2005, 2008, 2012)* verfassten Listen verwendet. Potentiell invasive Arten werden in der nachfolgenden Liste mit einem * gekennzeichnet.

Stamm: **FORAMINIFERA** Eichwald, 1830

Ordnung: **LOFTUSIIDA** Kaminski & Mikhalevich in Kaminski, 2004

Familie: **HADDONIIDAE** Saidova, 1981

***Haddonia* sp.** Chapman, 1898

Bildtafel 1: J -L

Ordnung: **TEXTULARIINA** Delage & Hérouard, 1896

Familie: **PSEUDOGAUDRYINIDAE** Löblich & Tappan, 1985

Connemarella rudis Wright, 1900

Bildtafel 1: G - H

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Familie: **TEXTULARIIDAE** Ehrenberg, 1838

Textularia bocki Höglund, 1947

Bildtafel 1 : A - B

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Textularia truncata Höglund, 1947

Bildtafel 1: C - D

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

***Textularia* sp. 1** DeFrance, 1824

Bildtafel 1: F

Habitus wie *T. bocki*, doch Sediment ab etwa der Hälfte der Kammern zunehmend an Größe.

Letzten beiden Kammern flach.

***Textularua* sp. 2** DeFrance, 1824

Habitus wie *T. bocki*, doch Sediment ab etwa der Hälfte der Kammern abnehmend an Größe. Letzten beiden Kammern rund, wie bei *T. bocki*.

Textularia sagittula (Defrance, 1824)

Bildtafel 1: E

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort als *Spiroplectinella sagittula*

***Textularia* spp.** Defrance, 1824

Ordnung: **MILIOLINA** Delage & Hérouard, 1896

Familie: **CRIBROLINOIDAE** Cushman & LeRoy, 1939

Adelosina cliarensis Heron-Allen & Earland, 1930

Bildtafel 1: J - L

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Adelosina* cf. *cliarensis d'Orbigny, 1826

Oberfläche glatt, Zahn bifid und in langem Hals mit runder Apertur lokalisiert, wie bei *A. cliarensis*; die ältesten beiden Kammern sind breiter als bei *A. cliarensis*. Von außen sind vier der äußeren Kammern sichtbar.

Adelosina* aff. *cliaransis d'Orbigny, 1826

Apertur abgebrochen

Adelosina bicornis (Walker & Jacob, 1798)

Bildtafel 2: A - B

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort bestimmt als *Lachlanella bicornis*

Adelosina intricata Terquem, 1878

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Adelosina italica Terquem, 1878

Bildtafel 2: C

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Adelosina mediterranensis Le Calvez & Le Calvez, 1958

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Bildtafel 2: D - E

Adelosina cf. partschi d'Orbigny, 1826

Der Habitus ähnelt *A. partschi* (nach *Meric et al. 2014 a*), doch die Schale zeigt keine deutliche Ornamentierung.

Adelosina pulchella d'Orbigny, 1826

Bildtafel 2: F - J

bestimmt nach: *Meric et al., (2014 a)*

Adelosina sp. 2 d'Orbigny, 1826

Hat große Ähnlichkeit mit *A. intricata*, doch der vorgefundene Zahn ist länger und schmaler.

Adelosina sp. 4 d'Orbigny, 1826

Vorgefundene Individuen sind runder und breiter als andere Adelosinen. Äußere Ornamentierung und Winkelung der Kammern aber ähnlich wie *A. pulchella*.

Adelosina sp. 5 d'Orbigny, 1826

Adelosina mediterraneis ähnlich, doch Kammern in einem flacheren Winkel angeordnet.

Adelosina sp. 7 d'Orbigny, 1826

Ähnlich wie *Adelosina pulchella*, doch seitlicher Kiel stärker ausgeprägt, als bei *A. pulchella*. Viele dieser Individuen waren auch deformiert (zu viele Kammern in der äußersten Umwindung sichtbar)

Adelosina sp. 8 d'Orbigny, 1826

Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich hierbei um eine deformierte *Quinqueloculina duthiersi*.

Adelosina sp. 9 d'Orbigny, 1826

Quinqueloculina duthiersi sehr ähnlich, doch nur vier Kammern von außen zu sehen.

***Adelosina* sp. 10** d´Orbigny, 1826

Die Individuen sind sehr flach aber breit, sie weisen außen schwache Streifen auf und haben ein langes Hälschen mit Kragen.

***Adelosina* sp. 11** d´Orbigny, 1826

Die Kammern sind sehr voluminös und der Habitus weist auf Deformation hin. Man findet Ähnlichkeiten mit *Adelosina pulchella*.

***Adelosina* spp.** d´Orbigny, 1826

Familie: **FISCHERINIDAE** Millett, 1898

Vertebralina striata d´Orbigny, 1826

Bildtafe 3: A - B

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **HAUERINIDAE** Schwager, 1876

Affinetrina planciana (d´Orbigny, 1839)

Bildtafel 8: G - J

bestimmt nach: Samir et al. (2003)

Articulina mucronata d´Orbigny, 1839

Bildtafel 3: C

bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Cycloforina collumnosa (Cushman, 1922)

bestimmt nach: *Hottinger et al. (1993)*

Cycloforina contorta d´Orbigny, 1846

Bildtafel 3: D - E

bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Cycloforina tenuicollis Wiesner, 1923

Bildtafel 3: G

bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*

Cycloforina villafranca (Le Calvez & Le Calvezm 1958)

bestimmt nach: *Milker et al.*, (2012)

****Hauerina diversa*** Cushman, 1946

Bildtafel 3: F

bestimmt nach: *Hottinger et al.*, (1993)

Lachlanella undulata d'Orbigny, 1852

Bildtafel 3: H - I

bestimm nach: *Milker et al.* (2012)

Massilina secans (d'Orbigny, 1826)

bestimmt nach: *Cimerman et al.*, (1991)

Miliolinella semicostata (Wiesner, 1923)

bestimmt nach: *Cimerman et al.*, (1991)

Miliolinella subrotunda Montagu, 1803

Bildtafel 3: J - M

bestimmt nach: *Cimerman et al.* (1991)

Miliolinella sp. 1 Wiesner, 1931

bestimmt nach: *Cimerman et al.*, (1991) dort auch als *Miliolinella sp. 1* bestimmt.

Miliolinella sp. 2 Wiesner, 1931

Sehr ähnlich zu *M. subrotunda*, Kammern jedoch mehr aufgewölbt, vielleicht deformiert.

Miliolinella webbiana d'Orbigny, 1839

Bildtafel 4: A - B

bestimmt nach: *Cimerman et al.*, (1991)

Milliolinella aff. webbiana d'Orbigny, 1839

Apertur abgebrochen.

Pseudotriloculina limbata (d'Orbigny, 1905) Bildtafel 4: C - D
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort bestimmt als *Quinqueloculina limbata*.

Pseudotriloculina rotunda d'Orbigny, 1893
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Pseudotriloculina cf. rotunda Cerif, 1970 Bildtafel 4: E - F
Die Kammern sind schmaler als *P. rotunda*, doch runder als *P. subgranulata*. Der Zahn ist bifid und lang, doch kein ausgeprägter Rand um die Apertur, was typisch für *P. subgranulata* wäre. Die Schale ist glatt und strukturlos.

Pseudotriloculina sp. Cerif, 1970
bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*, dort auch als *Pseudotriloculina sp.* bestimmt

****Pyrgo denticulata*** (Brady, 1884) Bildtafel 4: G
bestimmt nach: *Hottinger et al., (1993)*

Pyrgo oblonga d'Orbigny, 1839
bestimmt nach: *Hottinger et al., (1993)*

Pyrgo spp. DeFrance, 1824

Quinqueloculina agglutinans (d'Orbigny, 1839)
bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*; dort bestimmt als *Siphonaperta agglutinans*.

Quinqueloculina berthelotiana d'Orbigny, 1839 Bildtafel 4: H - I
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina cf. berthelotiana d'Orbigny, 1826

Kammern gedrungener als bei der eher länglichen *Q. berthelotiana*.

Quinqueloculina bosciana d'Orbigny, 1839

Bildtafel 4: J - K

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina striaracarinata (Wiesner, 1923)

bestimmt nach: *Cimerman et al., (1991)*; dort bestimmt als *Adelosina carinata-striata*

Quinqueloculina disparilis d'Orbigny, 1893

Bildtafel 4: L - N

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina duthiersi (Schlumberger, 1886) Bildtafel 5: A - C

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort bestimmt als *Adelosina duthiersi*.

Quinqueloculina jugosa Cushman, 1944

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina aff. jugosa Cushman, 1944

Apertur abgebrochen.

Quinqueloculina laevigata d'Orbigny, 1839

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina lamarckiana d'Orbigny, 1839 Bildtafel 5: D - F

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Quinqueloculina aff. lamarckiana d'Orbigny, 1839

Apertur abgebrochen.

Quinqueloculina parvula Schlumberger, 1894 Bildtafel 5: G - I
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Quinqueloculina schlumbergeri (Wiesner, 1923) Bildtafel 5: J - L
bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*; dort bestimmt als *Quinqueloculina stelligera*.

Quinqueloculina seminula Linnaeus, 1758 Bildtafel 6: A - B
bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Quinqueloculina viennensis Le Calvez & Le Calvez, 1958
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)* Bildtafel 6: C - D

Quinqueloculina sp. 1 d'Orbigny, 1826
Apertur sehr groß und fast oval, mit langem, einfachem Zähnchen.
Habitus ähnlich *Q. seminula*

Quinqueloculina sp. 3 d'Orbigny, 1826
Sehr ähnlich *Q. limbata* bei *Meric et al. (2014 a)*, doch mit längerem Hals.

Quinqueloculina sp. 4 d'Orbigny, 1826
Habitus länglich mit glatter Schale (ähnlich *Adelosina cliarensis*, doch Kammern deutlich breiter als bei *A. cliarensis*). Fünf Kammern sind von außen sichtbar. Ein langer dünner Hals endet mit einer runden Apertur und einem bifiden Zahn.

Quinqueloculina spp. d'Orbigny, 1826

Sigmoilina costata Schlumberger, 1893 Bildtafel 6: E - G
bestimmt nach: *Sgarella et al. (1993)*; dort bestimmt als *Sigmoilinita costata*

Sigmoilinita sp. Schlumberger, 1887 Bildtafel 6: H
bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*; dort bestimmt als *Sigmoilinita sp 1*.

Siphonaperta aff. aspera d'Orbigny, 1826

Bildtafel 6: I

Kragen um Apertur nicht ausgeprägt (vergleiche: *Milker et al. (2012)*)

Siphonaperta horrida Cushman, 1947

bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*

Siphonaperta dilatata Le Calvez & Le Calvez, 1958

bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Bildtafel 6: J

Siphonaperta spp. Vella, 1957

Triloculina laevigata (Kaasschieter, 1961)

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*; dort bestimmt als *Pseudotriloculina laevigata*;

Triloculina marioni Schlumberger, 1893

Bildtafel 7: A – C

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Triloculina cf. marioni Schlumberger, 1893

Habitus wie *T. marioni*, doch Apertur weist keinen verdickten Rand auf.

Triloculina oblonga (Montagu, 1803)

Bildtafel 7: D – E

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*; dort bestimmt als *Pseudotriloculina oblonga*.

Triloculina sp. 1 d'Orbigny, 1826

Habitus länglich, ähnlich *Adelosina cliarensis* mit langem Hals, doch nur drei Kammern von außen sichtbar. Schale glatt.

Triloculina sp. 2 d'Orbigny, 1826

Ähnlich *T. affinis* mit dreieckigem Querschnitt, doch Apertur runder als bei *T. affinis*.

***Triloculina* sp. 3** d´Orbigny, 1826

Ähnlich *Triloculina marioni*, doch Zahn etwas kürzer. Individuen oft deformiert, sodass die Kammern nicht richtig aufgebaut wurden. Die Apertur liegt etwa auf halber Höhe einer normal gebauten *Triloculina*.

***Triloculina* sp. 4** d´Orbigny, 1826

ähnlich *Triloculina tricarinata*, doch leicht abweichend in Form

***Triloculina* spp.** d´Orbigny, 1826

Wellmanellinella striata Sidebottom, 1904

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **NUBECULARIIDAE** Jones, 1875

***Calcituba* sp.** Roboz, 1884

Bildtafel 7: F - G

Ähnlich *Calcituba polymorpha*, doch nur eine lange Kammer.

***Nodophthalmidium* sp.** Macfadyen, 1939

Bildtafel 7: H

Nur juvenile Individuen, deshalb nicht näher bestimmbar

Familie: **OPHTHALMIDIIDAE** Wiesner, 1920

****Edentostomina cultrata*** Collins, 1958

Bildtafel 7: I

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Spirophthalmidium acutimargo Brady, 1884

Bildtafel 7: J

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

***Spirothalmidium* sp. 1** Cushman, 1927 Bildtafel 7: K
bestimmt nach *Cimerman et al. (1991)*; dort auch bestimmt als *Spirothalmidium* sp. 1

***Spirothalmidium* aff. sp. 1** Cushman, 1927
abgebrochene Apertur

***Spirothalmidium* sp. 2** Cushman, 1927 Bildtafel 7: L
bestimmt nach *Milker et al. (2012)*; dort auch bestimmt als
Spirothalmidium sp. 2

Familie: **SPIROLOCULINIDAE** Wiesner, 1920

Spiroloculina angulosa d'Orbigny, 1904 Bildtafel 8: A – B
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Spiroloculina depressa d'Orbigny, 1826
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Spiroloculina dilatata Bildtafel 8: C – D
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Spiroloculina* cf. *dilatata
Jüngste Kammer nicht stark verbreitert, im Gegensatz zu *S. dilatata*.

Spiroloculina excavata d'Orbigny, 1845 Bildtafel 8: E
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

***Spiroloculina* spp.** d'Orbigny, 1826
Ordnung: **POLYMORPHINIDA** Mikhalevich, 1980

Familie: **POLYMORPHINIDAE** d'Orbigny, 1839

***Polymorphina* sp.** D'Orbigny, 1826

Bildtafel 8: F

Ordnung: **ROTALIIDA**

Familie: **ACERVULINIDAE**

Sphaerogypsina globula Reuss, 1884
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Bildtafel 9: A

Familie: **AMMONIIDAE** Saidova, 1981

Ammonia compacta Hofker, 1964
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*;

Ammonia cf. compacta Hofker, 1964
Aussehen ähnlich wie bei *Meric et al. (2014 a)*

Bildtafel 9: B - C

Ammonia inflata Seguenza, 1862
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Bildtafel 9: D - E

Ammonia parasovica Shcherdina & Mayer, 1975
bestimmt nach: *Meric et al., (2014)*

Ammonia parkinsoniana d'Orbigny, 1839
bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Bildtafel 9: F - G

Ammonia aff. parkinsoniana Brünnich, 1771
Apertur abgebrochen

Ammonia tepida Cushman, 1926
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Bildtafel 9: H - I

Ammonia sp. 1 Brünnich, 1771

Individuen werden nie größer als 500 µm. Kein „umbilical plug“.

Ammonia spp. Brünnich, 1771

Challengerella bradyi Billman, Hottinger & Oesterle, 1980

Bildtafel 9: J - K

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*. Weist auch große Ähnlichkeit zu *Ammonia beccarii* auf, siehe *Avnaim-atav et al. (2013)*.

Familie: **AMPHISTEGINIDAE** d'Orbigny, 1826

****Amphistegina lobifera*** Larsen, 1976

Bildtafel 9: L

bestimmt nach: *Hottinger et al. (1993)*; invasiv nach: *Zenetos et al. (2008)*;

Familie: **ASTERIGERINATIDAE** Reiss, 1963

Asterigerinata mamilla Williamson, 1858

Bildtafel 10: A - B

bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*

Familie: **BOLIVINITIDAE** Cushman, 1927

Bolivina variabilis Williamson, 1858

Bildtafel 10: C

bestimmt nach: *Kucera et al. (2017)*

Bolivina spp. d'Orbigny, 1839

Bulimina cf. aculeata d'Orbigny, 1846 Bildtafel 10: D
bestimmt nach: *Avnaim-Katav et al. (2013)*. Die Individuen waren alle juvenil, wodurch die Stacheln nicht ausgeprägt sind.

Familie: **CALCARINIDAE** d'Orbigny, 1826

****Pararotalia calcariformata*** McCulloch, 1977 Bildtafel 10: E
bestimmt nach: *Meric et al., (2014)*; invasiv nach *Meric et al. (2013)*

****Pararotalia sp.*** Le Calvez, 1949 Bildtafel 10: F
bestimmt nach: *Meric et al., (2014)*; invasiv nach: *Meric et al (2014 b)*
Habitus wie *Pararotalia calcariformata*, doch mit Stacheln.

Familie: **CIBICIDIDAE** Cushman, 1927

Cibicoides pachiderma Rzehak, 1886
bestimmt nach: *Meric et al., (2014 a)*

Cibicides sp. 1 Monfort, 1808
Nur juvenile Formen, daher nicht näher bestimmbar.

Cibicides spp. Monfort, 1808

Dyocibicides biserialis Cushman & Valentine, 1930 Bildtafel 10: J
bestimmt nach: *Lui (2008)*

Lobatula lobatula Walker & Jacob, 1798 Bildtafel 10: G - I
bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*

Lobatula cf. lobatula Walker & Jacob, 1798
Individuen oft unregelmäßig aufgerollt. Apertur aber wie *L. lobatula*.

Paracibicides edomica Perelis & Reiss, 1975 Bildtafel 10: K - L
bestimmt nach: *Hottinger et al.*, (1993)

Familie: **DISCORBINELLIDAE** Sigal. 1952

Discorbinella bertheloti (d´Orbigny, 1839) Bildtafel 10: M - N
bestimmt nach: *Milker et al.*, (2012)

Familie: **ELPHIDIIDAE** Galloway, 1933

Cribroelphidium poeyanum d´Orbigny, 1839 Bildtafel 10: O
bestimmt nach: *Cimerman et al.* (1991)

Elphidium advenum (Cushman, 1922) Bildtafel 11: A - C
bestimmt nach: *Cimerman et al.* (1991); dort bestimmt als *E. depressulum*.

Elphidium crispum (Linnaeus, 1758) Bildtafel 11: D
bestimmt nach: *Meric et al.* (2014 a)

Elphidium aff. crispum (Linnaeus, 1758)
Letzte Kammer mit abgebrochener Apertur

Elphidium macellum (Fichtel & Moll, 1798) Bildtafel 11: E
bestimmt nach: *Meric et al.* (2014 a)

Elphidium spp. Monfort, 1808

Porosononion granosum d´Orbigny, 1846 Bildtafel 11: F - G
bestimmt nach: *Hottinger et al.* (1993)

Familie: **EPONIDIDAE** Hofker, 1951

Eponides repandus Fichtel & Moll, 1798

Bildtafel 11: H – I

bestimmt nach: *Hottinger et al. (1993)*

Eponides aff. repandus Fichtel & Moll, 1798

Letzte Kammer mit abgebrochener Apertur.

Planopulvinulina dispansa Brady, 1884

Bildtafel 11: J – K

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **GLABRATELLIDAE** Loeblich & Tappan, 1964

Glabratella hexamerata Seiglie & Bermúdez, 1965

Bildtafel 11: L

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Pileolina patelliformis (Bardy, 1884)

Bildtafel 12: I – J

bestimmt nach: *Cimerman et al. (1991)*

Pileolina sp. 1 Bermúdez, 1952

Mehr Kammern in äußerster Umwindung als *P. patelliformis*. Suturen sichtbar. Äußerste Kammern leicht aufgewölbt.

Familie: **MISSISSIPPINIDAE** Saidova, 1981

Stomatorbina concentrica (Parker & Jones, 1864) Bildtafel 12: A

bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Familie: **HOMOTREMATIDAE** Cushman, 1927

Miniacina miniacea (Pallas, 1766)

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **NONIONIDAE** Montfort, 1808

Astrononion stelligerum (d'Orbigny, 1839)

Bildtafel 12: B - C

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Nonionoides turgidus (Williamson, 1858)

Bildtafel 12: D

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort bestimmt als *Nonionella turgida*

Familie: **HAYNESINIDAE** Mikhalevich, 2013

Haynesina depressula (Walker & Jacob, 1798)

Bildtafel 12: E

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; dort bestimmt als *Nonion depressulus*

Familie: **NUMMULITIDAE** Blainville, 1827

****Heterostegina depressa*** d'Orbigny, 1826

Bildtafel 12: F

bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*; invasiv nach: *Zenetos et al., (2008)*;

siehe 4. Diskussion

Familie: **PLANORBULINIDAE** Schwager, 1877

Planorbulina mediterranensis d'Orbigny, 1826 Bildtafel 12: G
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **REUSSELLIDAE** Cushman, 1933

Reussella spinulosa Reuss, 1850 Bildtafel 12: H
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Familie: **ROSALINIDAE** Reiss, 1963

Neoconorbina terquemi (Rzehak, 1888) Bildtafel 12: K - L
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Rosalina bradyi (Cushman, 1915) Bildtafel 13: A - B
bestimmt nach: *Meric et al. (2014 a)*

Rosalina aff. bradyi (Cushman, 1915)
Älteste Kammern abgebrochen.

Rosalina macropora (Hofker, 1951) Bildtafel 13: C - D
bestimmt nach: *Milker et al. (2012)*

Rosalina sp. 1 d'Orbigny, 1826
Flacher als *Rosalina bradyi* mit äußeren Kammern, die spitz ausgezogen sind.

Rosalina sp. 2 d'Orbigny, 1826
Schale durchsichtig und fragil. Habitus wie *R. bradyi*.

***Rosalina* sp. 3** d'Orbigny, 1826

Schale durchsichtig und fragil. Habitus runder, ähnlich *Gavelinopsis* sp. 1
doch nur 5 – 6 Kammern wie bei *Rosalina bradyi*.

Familie: **SIPHOGENERINOIDIDAE** Saidova, 1981

Rectuvigerina phlegeri Le Calvez, 1959

Bildtafel 12: M

bestimmt nach: *Meric et al., (2014 a)*

Familie: **SIPHONINIDAE** Cushman, 1927

Siphonina reticulata (Czjžek, 1848)

bestimmt nach: *Milker et al., (2012)*

Familie: **TRICHOHYALIDAE** Saidova, 1981

Buccella granulata di Napoli Alliata, 1952

Bildtafel 13: E – F

bestimmt nach: *Meric et al., (2014 a)*

Familie: **UVIGERINIDAE** Haeckel, 1894

***Uvigerina* spp.** d'Orbigny, 1826

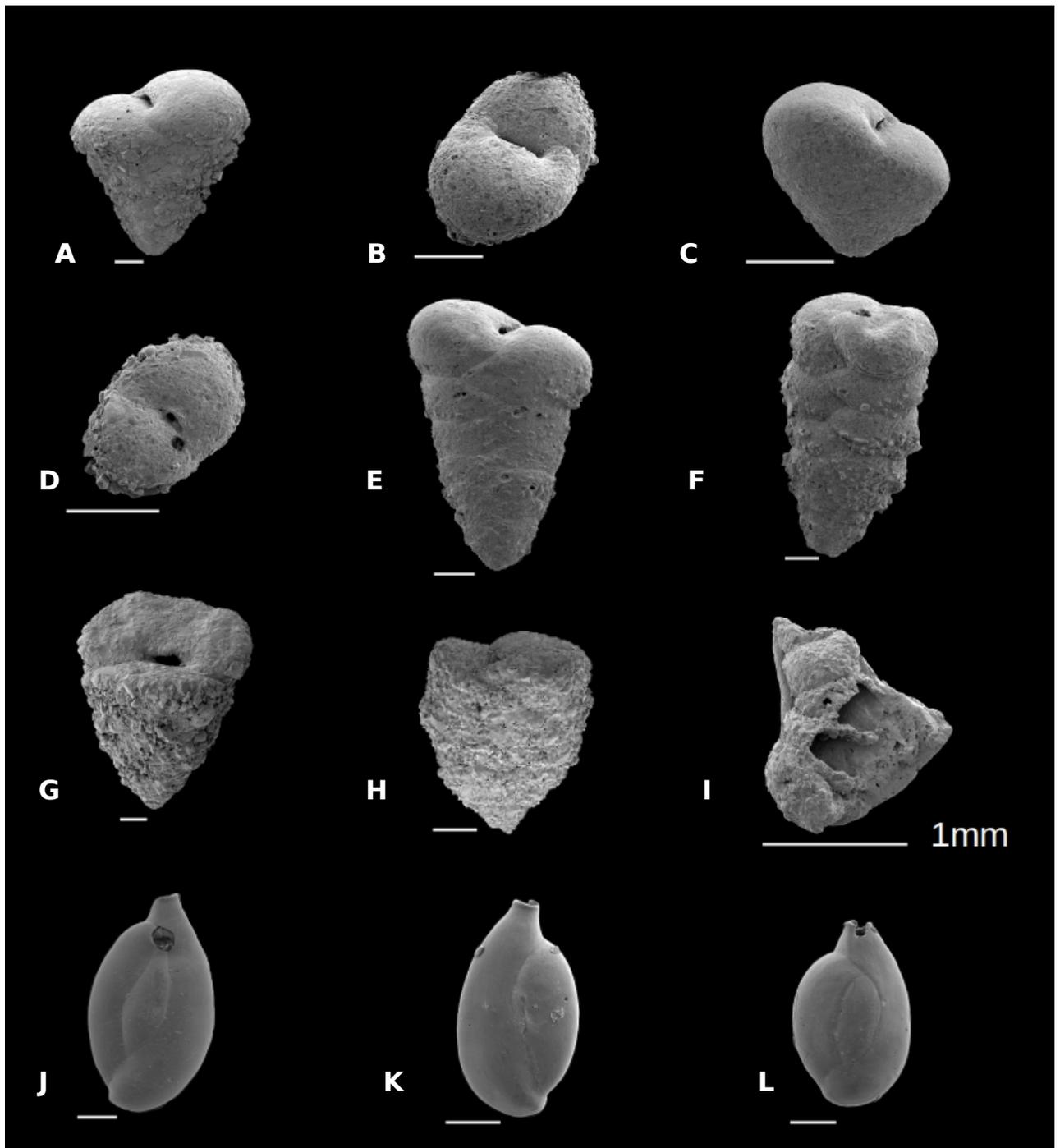
Familie: **SVRATKINIDAE** Burgrova, 1989

Svratkina tuberculata (Balkwill & Wright, 1885)

Bildtafel 13: G – H

bestimmt nach: *Sgarella et al., (1993)*

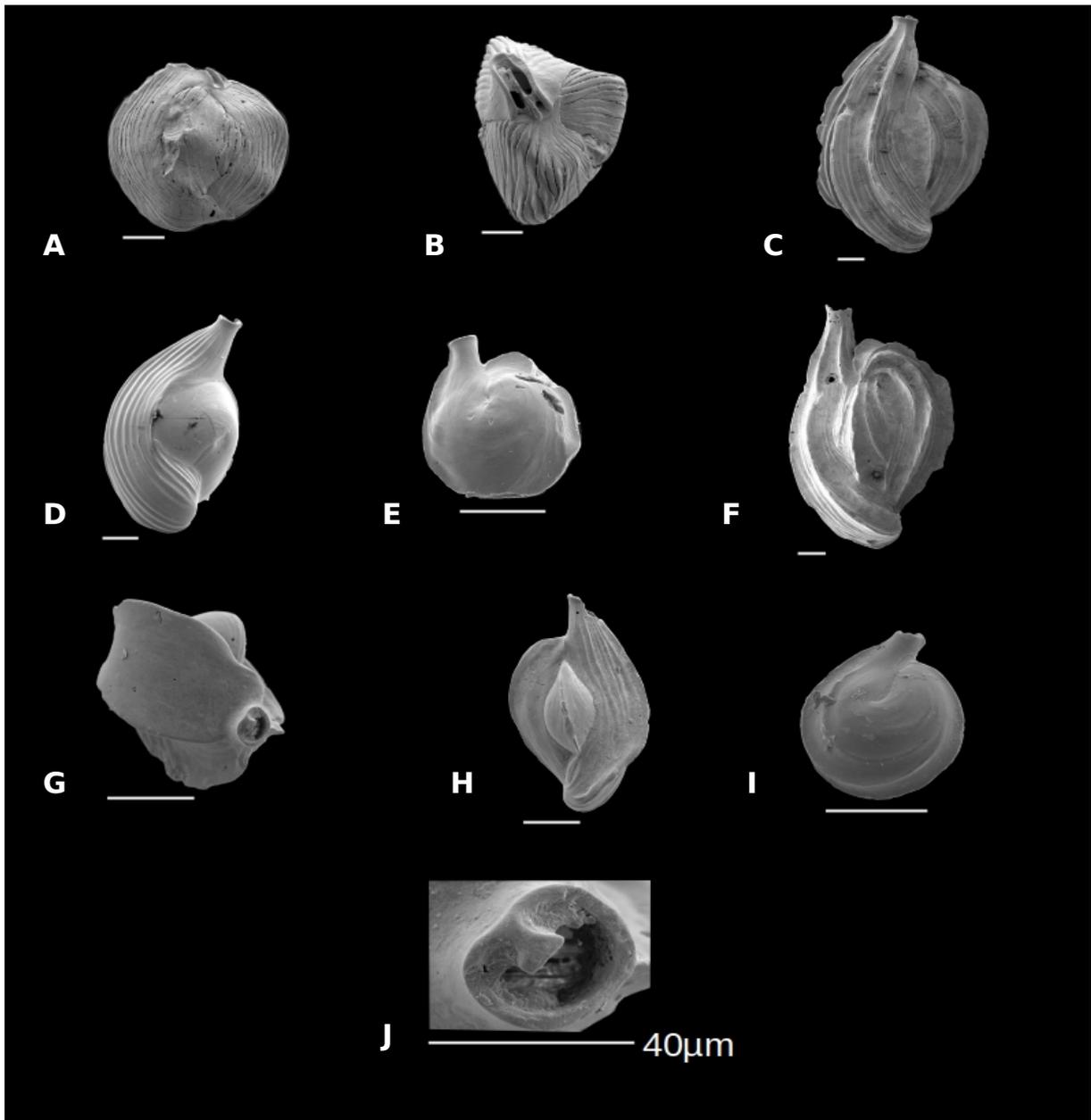
Bildtafel 1



1A - B) *Textularia bocki* 1C - D) *Textularia truncata* 1E) *Textularia sagittula*
1F) *Textularia* sp.1 1G - H) *Connemarella rudis* 1I) *Haddonina* sp.1
J - L) *Adelosina cliarensis*

Maßstab: 100 µm

Bildtafel 2



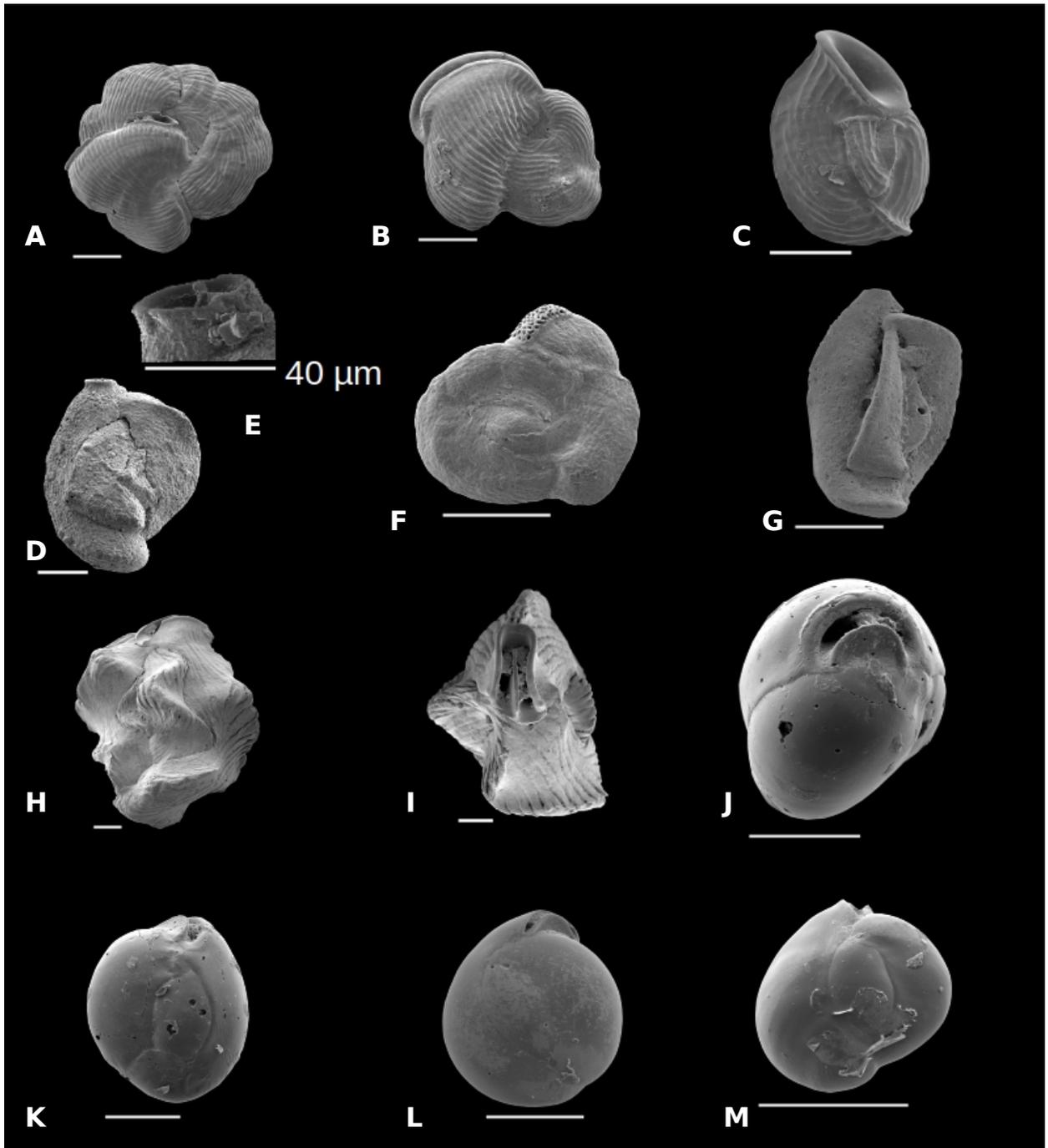
2A - B) *Adelosina bicornis* 2C) *Adelosina italica*

2D) *Adelosina mediterranensis* 2E) *A. mediterranensis* Juvenil

2F - H) *Adelosina pulchella* 2I) *A. pulchella* Juvenil 2J) *A. pulchella* Apertur

Maßstab: 100 µm

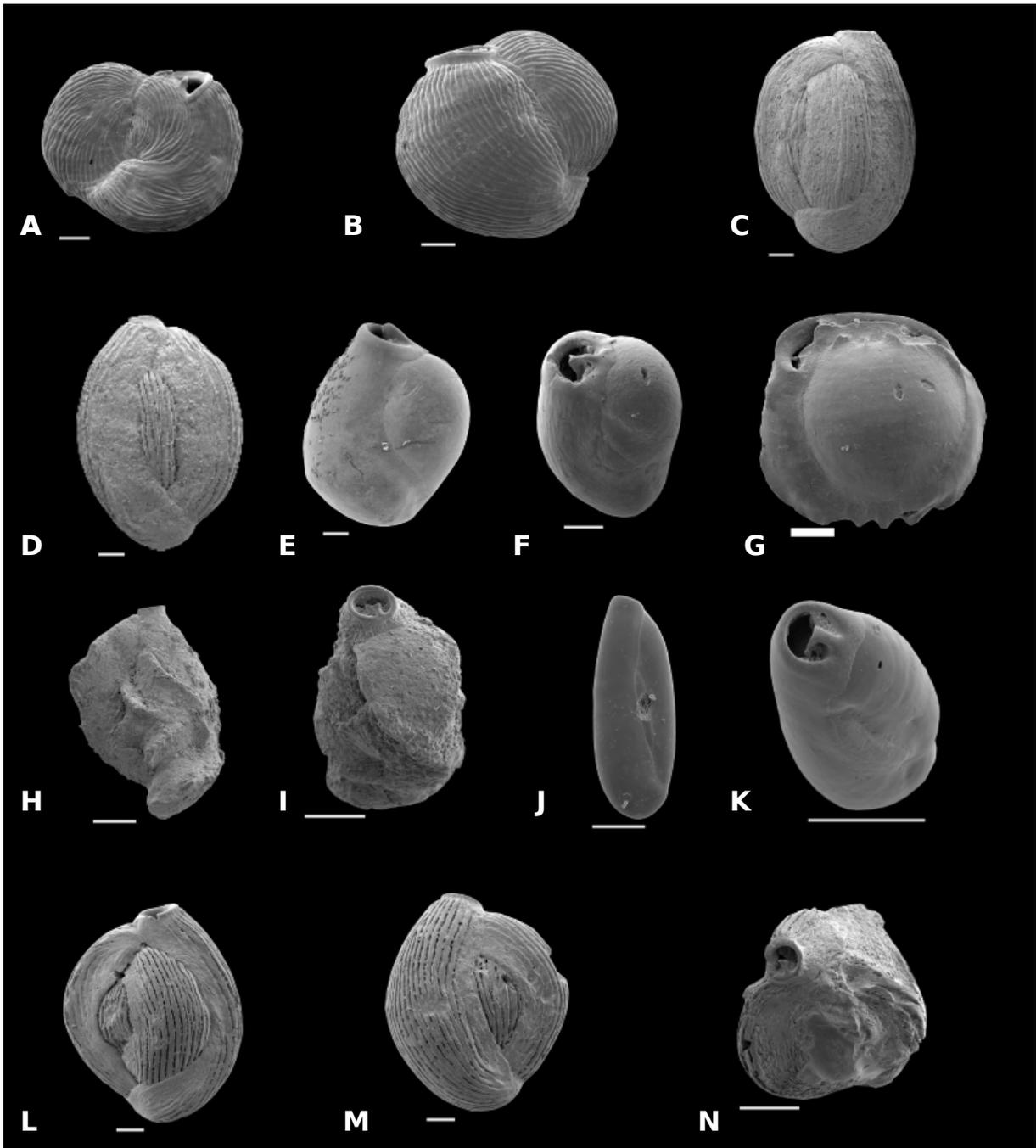
Bildtafel 3



3A - B) *Vertebralina striata* 3C) *Articulina mucronata* 3D) *Cycloforina contorta* 3E) *C. contorta* Apertur 3F) *Hauerina diversa* 3G) *Cycloforina tenuicollis* 3H - I) *Lachlanella undulata* 3J - M) *Miliolinella subrotunda*

Maßstab: 100 µm

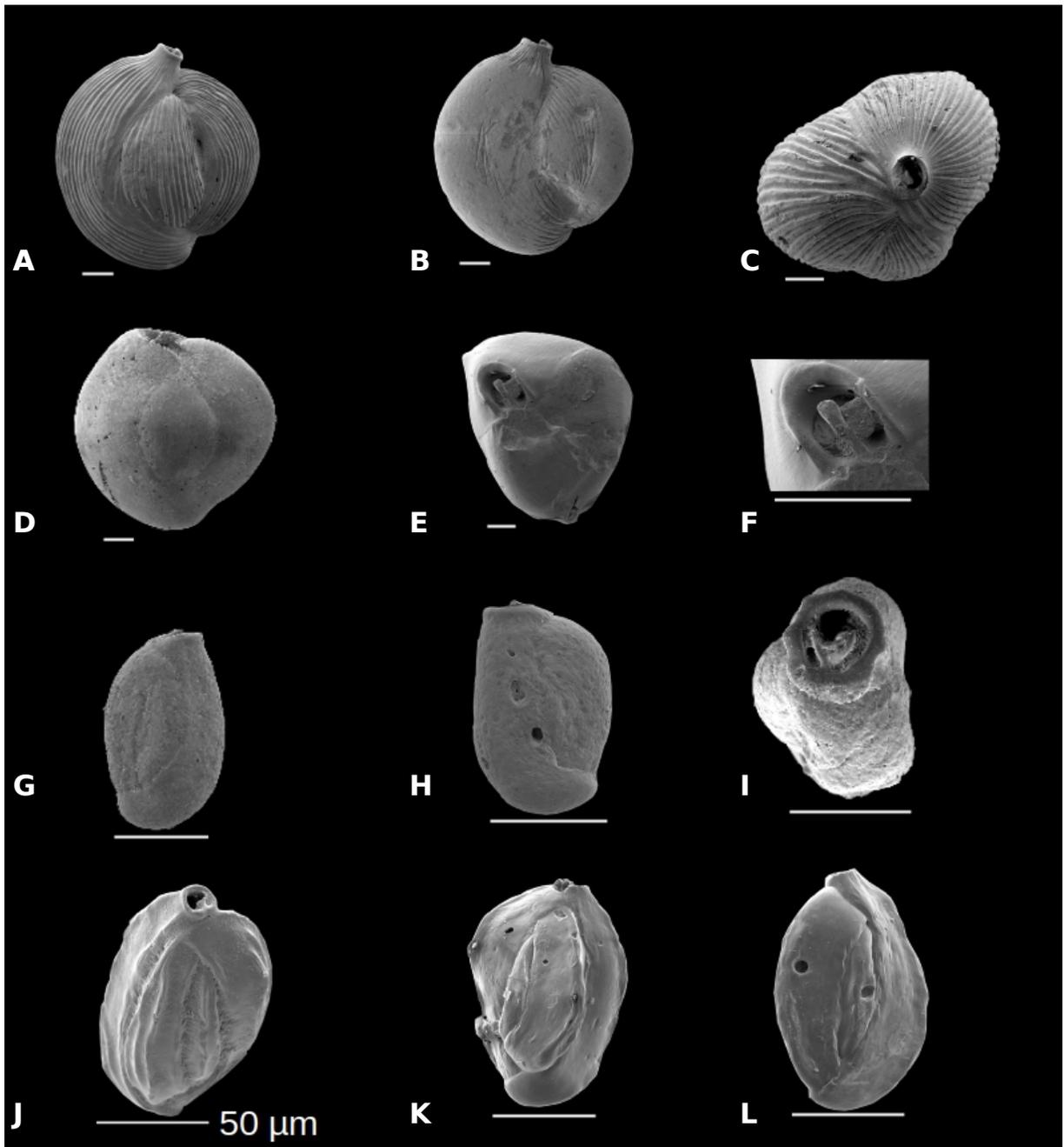
Bildtafel 4



4A - B) *Miliolinella webbiana* 4C - D) *Pseudotriloculina limbata*
4E - F) *Pseudotriloculina cf. rotunda* 4G) *Pyrgo denticulata*
4H - I) *Quinqueloculina berthelotiana* 4J - K) *Quinqueloculina bosciana*
4L - N) *Quinqueloculina disparillis*

Maßstab: 100 µm

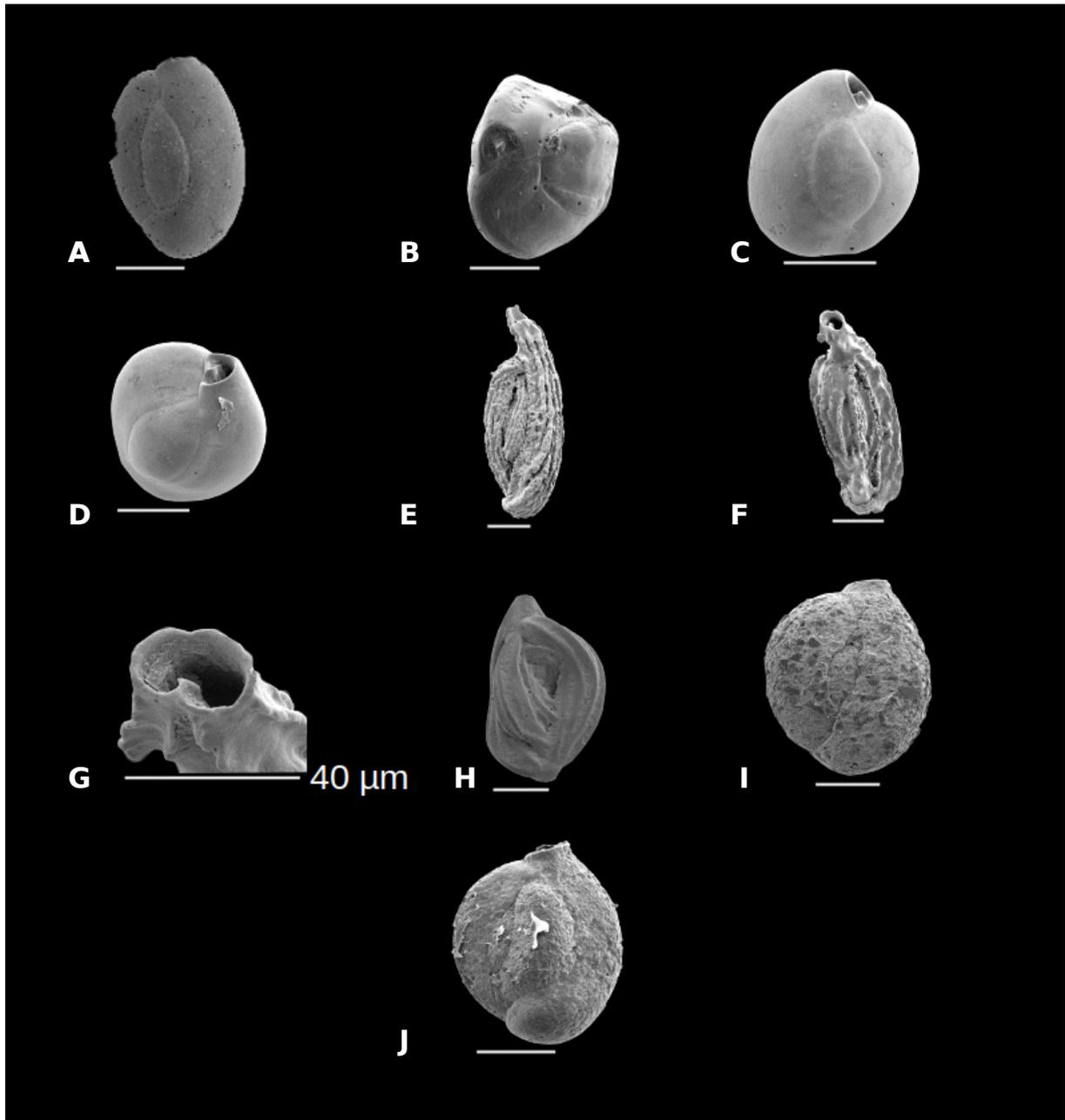
Bildtafel 5



5A - C) *Quinqueloculina duthiersi* 5D - E) *Quinqueloculina lamarckiana*
5F) *Q. lamarckiana* Apertur 5G - H) *Quinqueloculina parvula* 5I) *Q. parvula*
Apertur Ansicht 5J - L) *Quinqueloculina schlumbergeri*

Maßstab: 100 µm

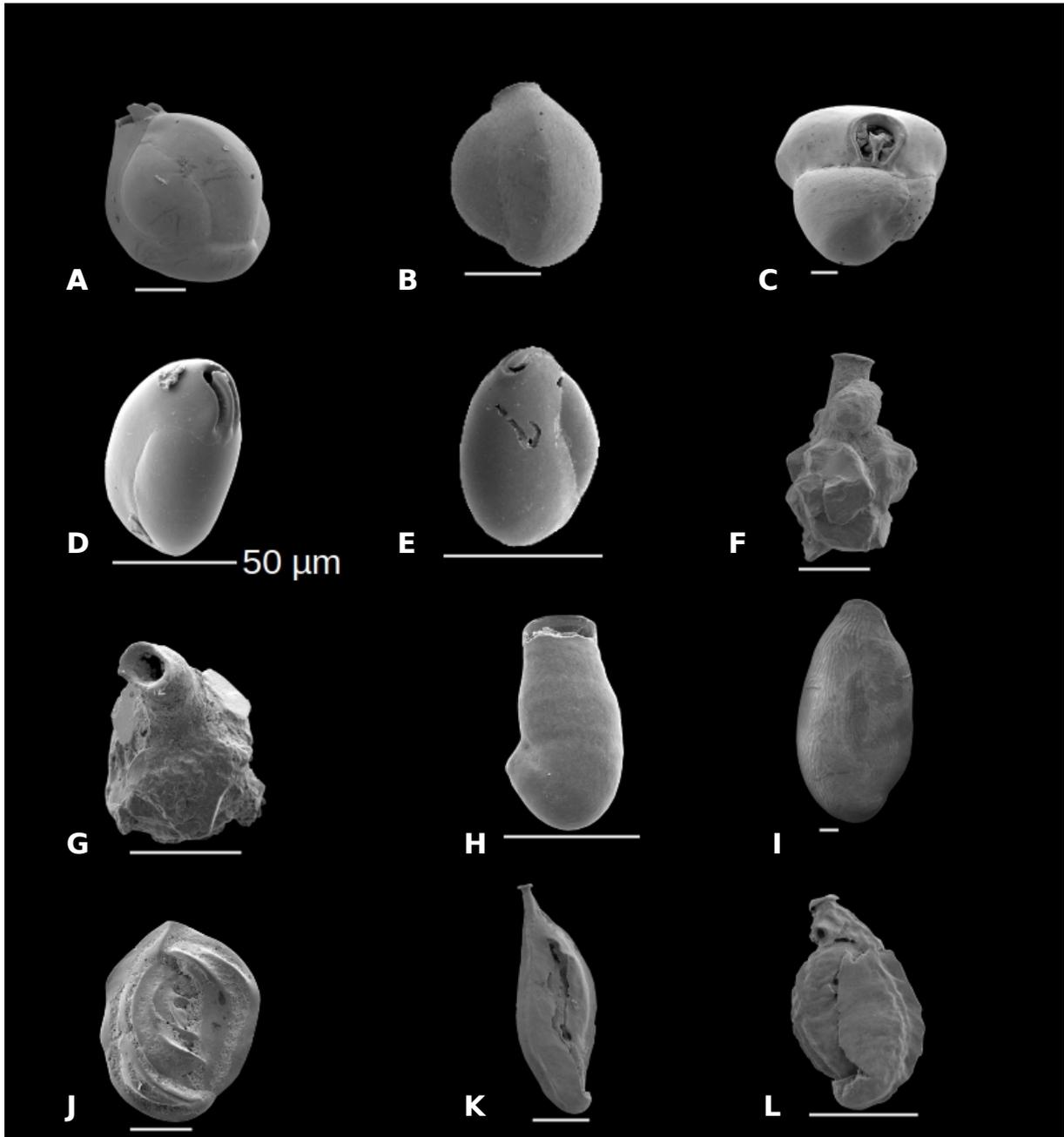
Bildtafel 6



6A - B) *Quinqueloculina seminula* 6C - D) *Quinqueloculina viennensis*
6E - F) *Sigmoilinita costata* 6G) *S. costata* Apertur 6H) *Sigmoilinita* sp.
6I) *Siphonaperta* aff. *aspersa* 6J) *Siphonaperta dilatata*

Maßstab: 100 µm

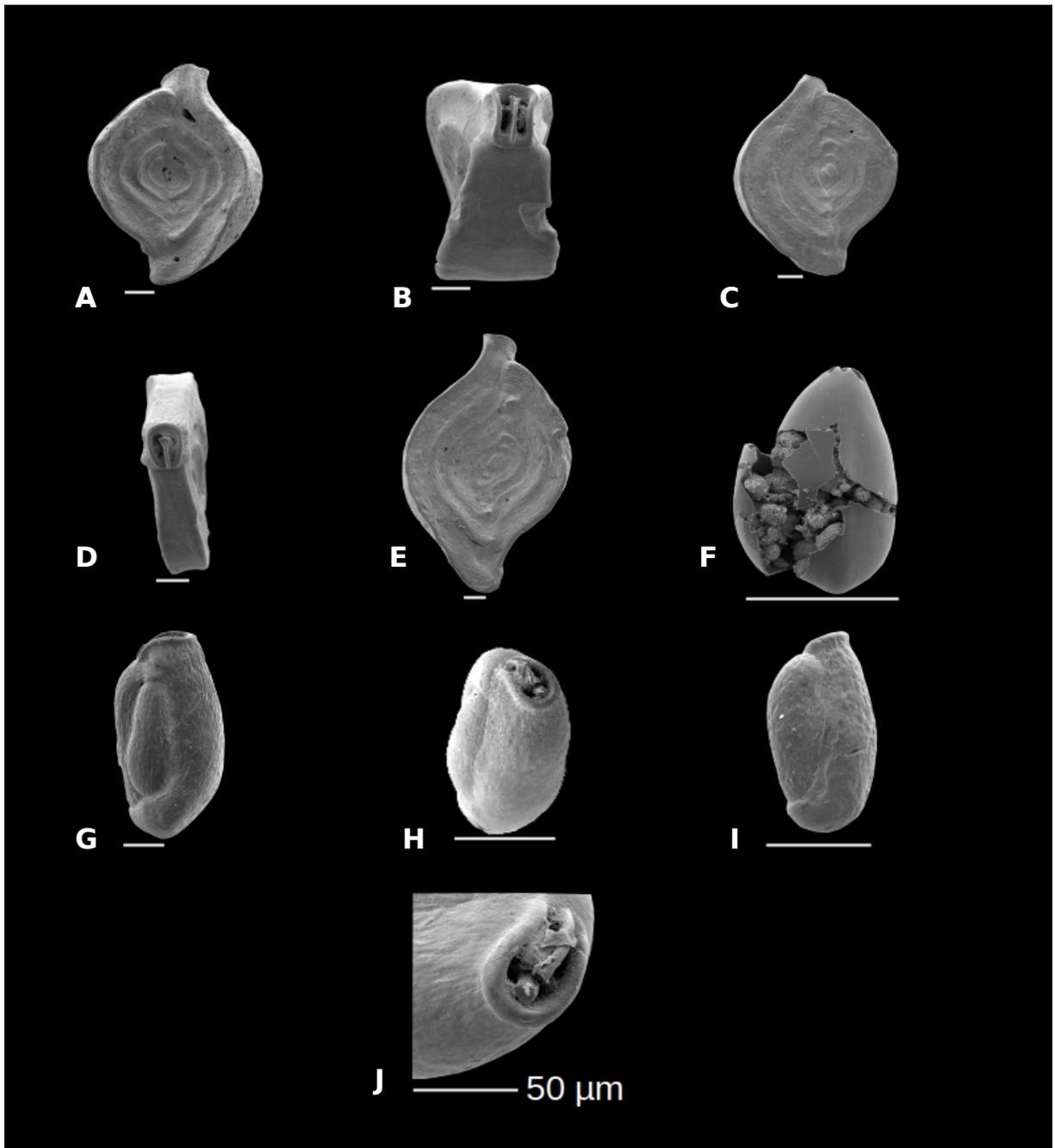
Bildtafel 7



7A - C) *Triloculina marioni* 7D - E) *Triloculina oblonga* 7F - G) *Calcituba* sp.
7H) *Nodophthalmidium* sp. Juvenil 7I) *Edentostomina* sp.
7J) *Spirothalmidium acutimargo* 7K) *Spirothalmidium* sp.1
7L) *Spirothalmidium* sp.2

Maßstab: 100 µm

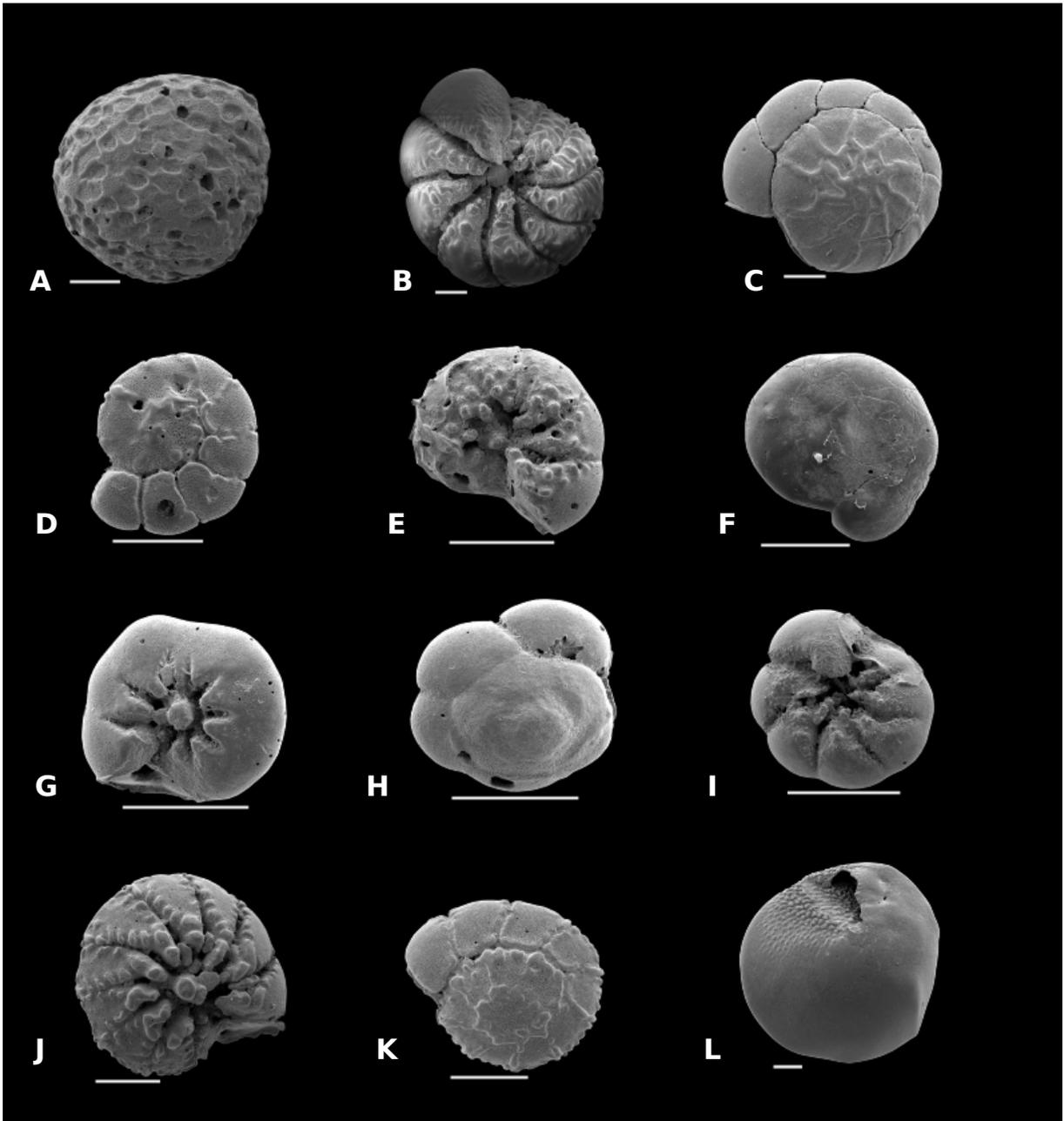
Bildtafel 8



8A - B) *Spiroloculina angulosa* 8C - D) *Spiroloculina dilatata*
8E) *Spiroloculina excavata* 8F) *Polymorphina* sp.
8G - I) *Affinetrina planciana* 8J) *A. planciana* Apertur

Maßstab: 100 µm

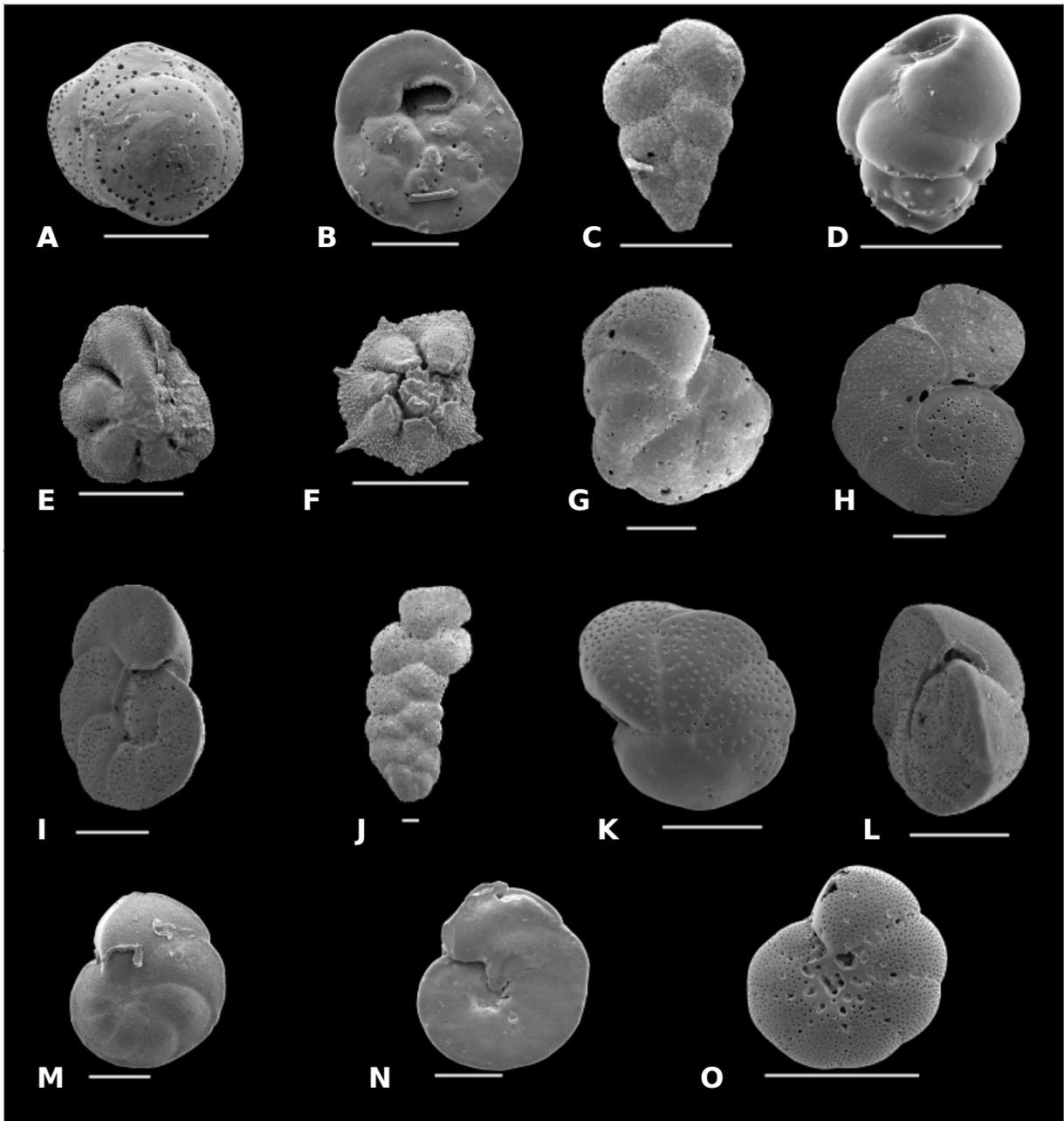
Bildtafel 9



9A) *Spaerogypsina globula* 9B - C) *Ammonia* cf. *compacta*
9D - E) *Ammonia inflata* 9F - G) *Ammonia parkensoniana*
9H - I) *Ammonia tepida* 9J - K) *Challengerella bradyi*
9L) *Amphistegina lobifera*

Maßstab: 100 µm

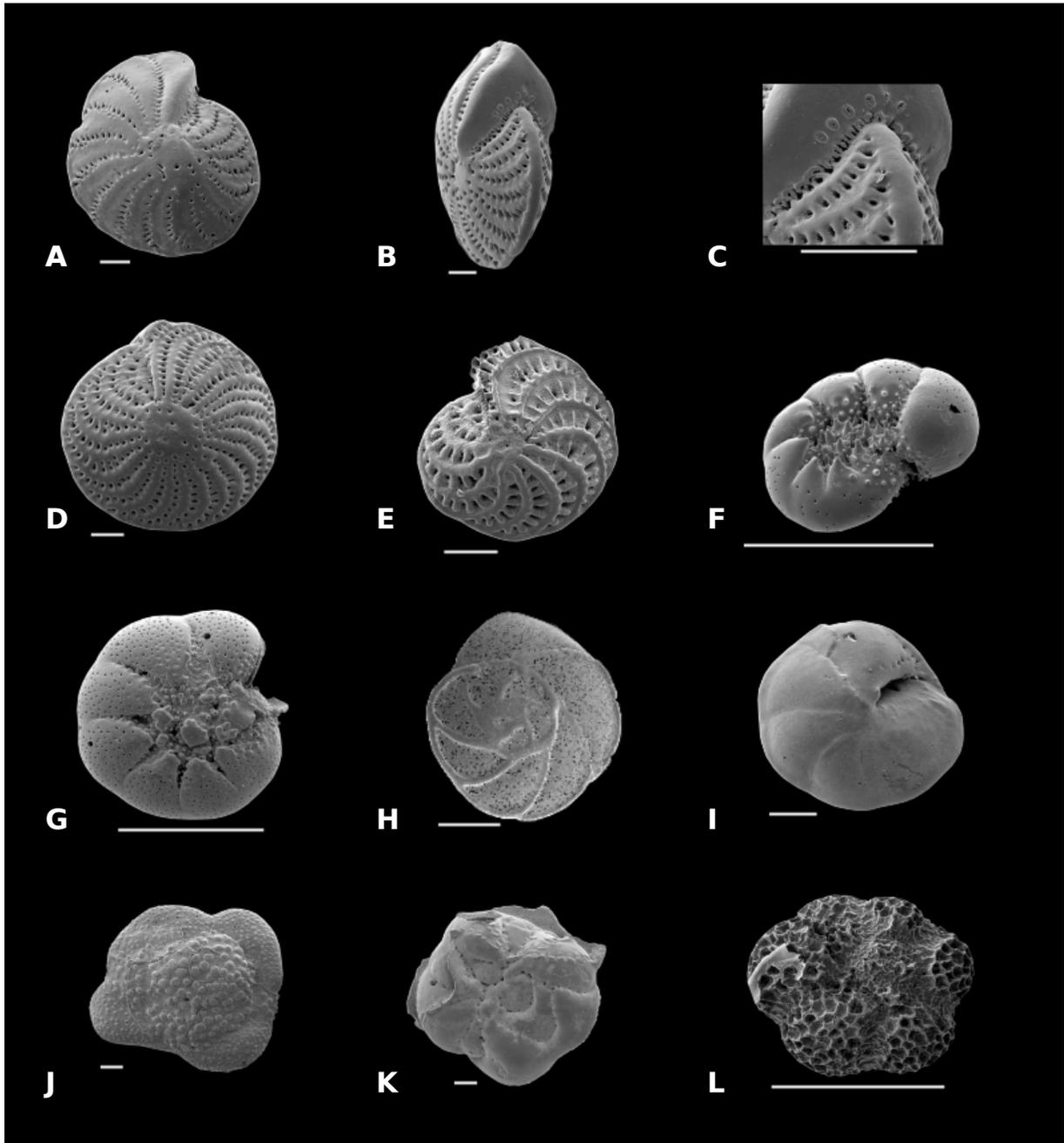
Bildtafel 10



- 10A - B) *Asterigerinata mamilla* 10C) *Bolivina variabilis*
10D) *Bulimina* cf. *aculeata* 10E) *Pararotalia calcariformata*
10F) *Pararotalia* sp. 1 G- I) *Lobatula lobatula* 10J) *Dyocibicides biserialis*
10K - L) *Paracibicides edomica* 10M - N) *Discorbinella bertheloti*
10 O) *Criboelphidium poeyanum*

Maßstab: 100 µm

Bildtafel 11



11A - B) *Elphidium advenum* 11C) *E. advenum* Apertur

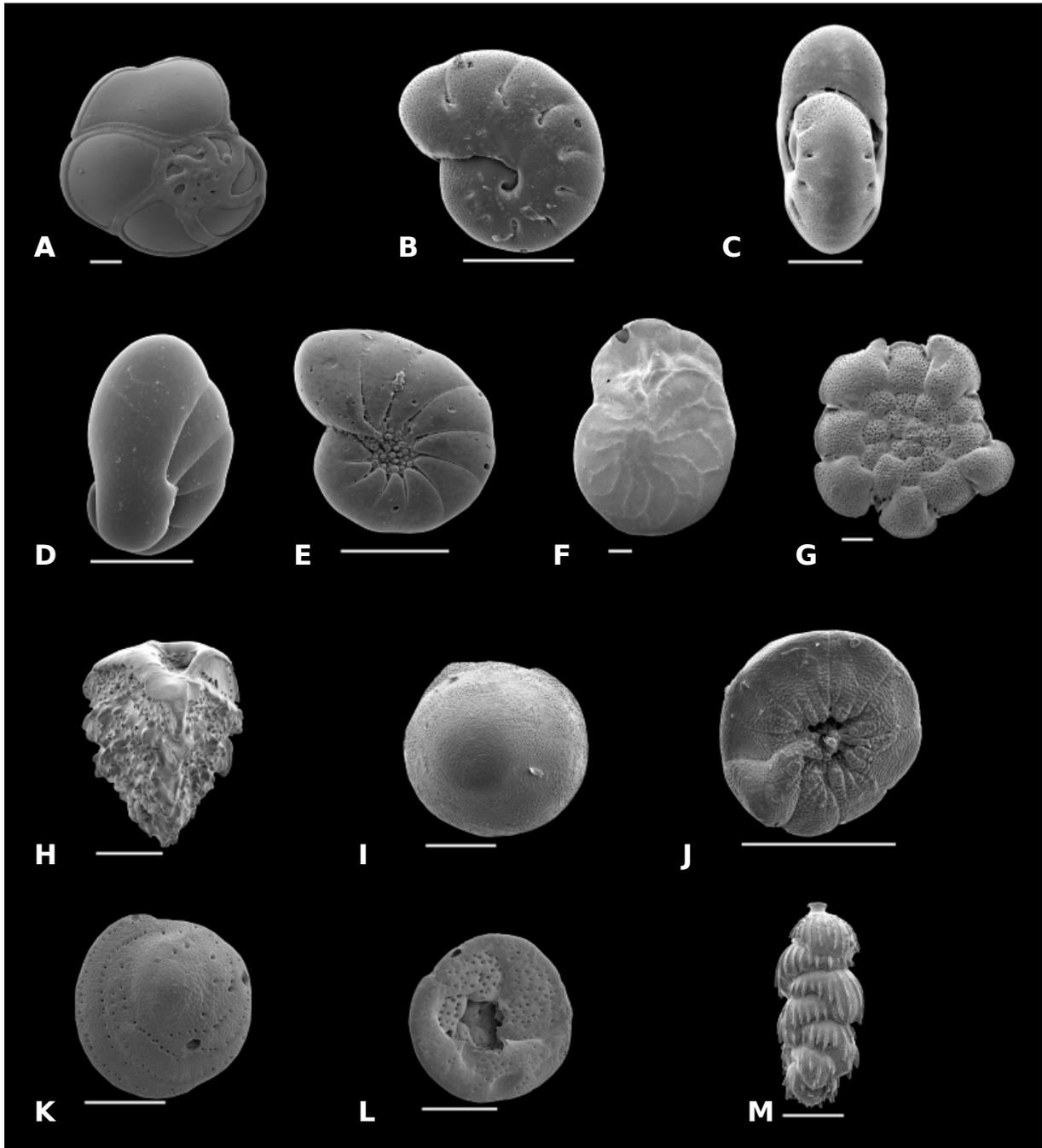
11D) *Elphidium crispum* 11E) *Elphidium macellum*

11F - G) *Porosononion granosum* 11H - I) *Eponides repandus*

11J - K) *Planopulvinulina dispansa* 11L) *Glabratella hexamerata*

Maßstab: 100 µm

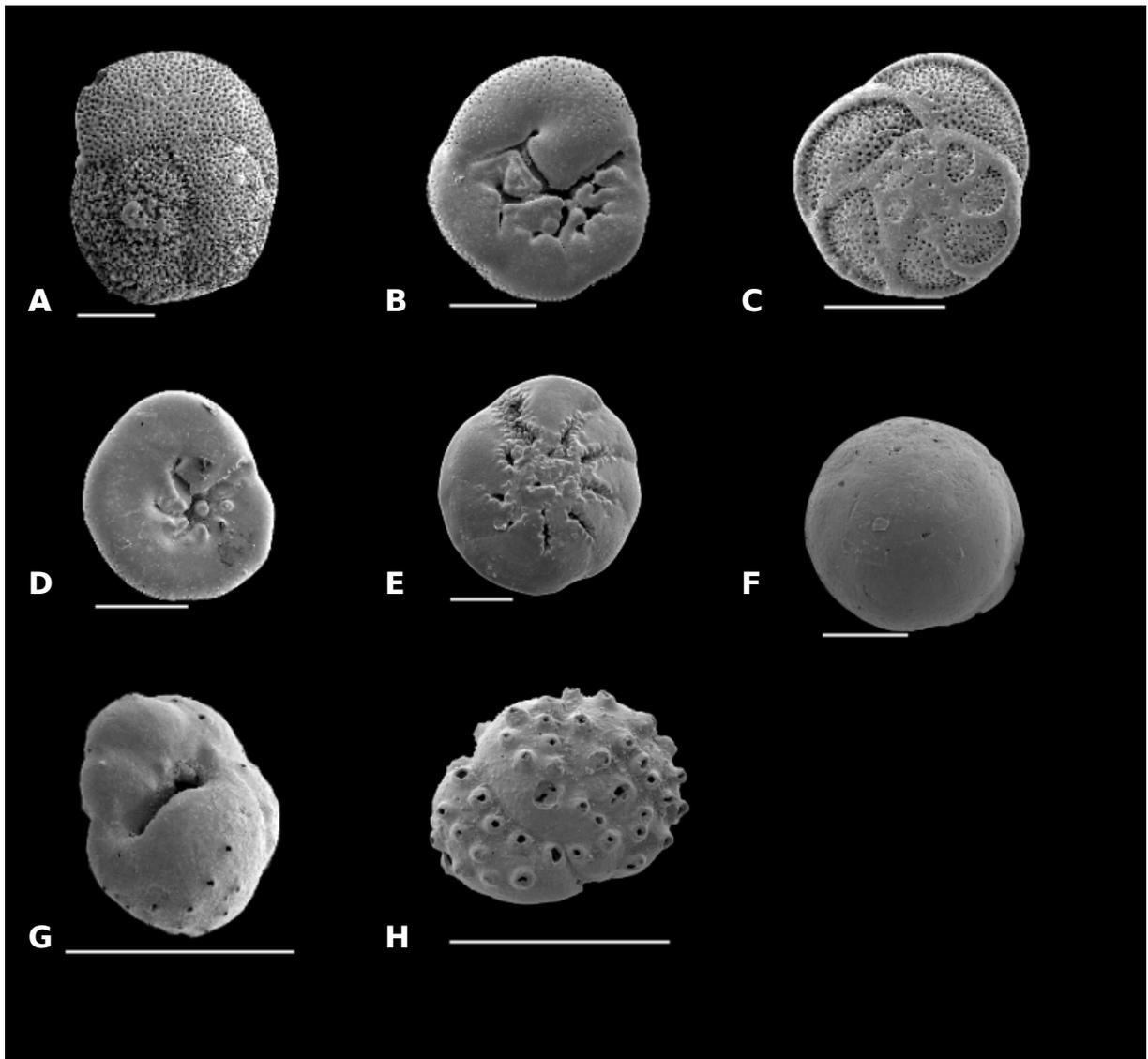
Bildtafel 12



12A) *Stormatorbina concentrica* 12B - C) *Astrononion stelligerum*
12D) *Nonioinides turgidus* 12E) *Haynesina depressula*
12F) *Heterostegina depressa* 12G) *Planorbulina mediterranensis*
12H) *Reusella spinulosa* 12I - J) *Pileolina patelliformis*
12K - L) *Neoconorbina terquemi* 12M) *Rectuvigerina phlegeri*

Maßstab: 100 µm

Bildtafel 13



13A - B) *Rosalina bradyi* 13C - D) *Rosalina macropora*

13E - F) *Buccella granulata*

13G - H) *Svratkina tuberculata*

Maßstab: 100 µm

4.2 SEDIMENTKORNGRÖSSENANALYSE

Die drei Sedimentfraktionen $> 500 \mu\text{m}$, $500\text{-}63 \mu\text{m}$ und $< 63 \mu\text{m}$ wurden, wie bereits in Punkt 3.3 erwähnt, nach dem Trocknen gewogen, um die Korngröße der Sedimentproben zu bestimmen. Die Sedimentzusammensetzung ist in Abbildung 3 dargestellt, wobei die Fraktion $> 500 \mu\text{m}$ als *grob*, die Fraktion $500\text{-}63 \mu\text{m}$ als *mittel* und $< 63 \mu\text{m}$ als *fein* bezeichnet wurde.

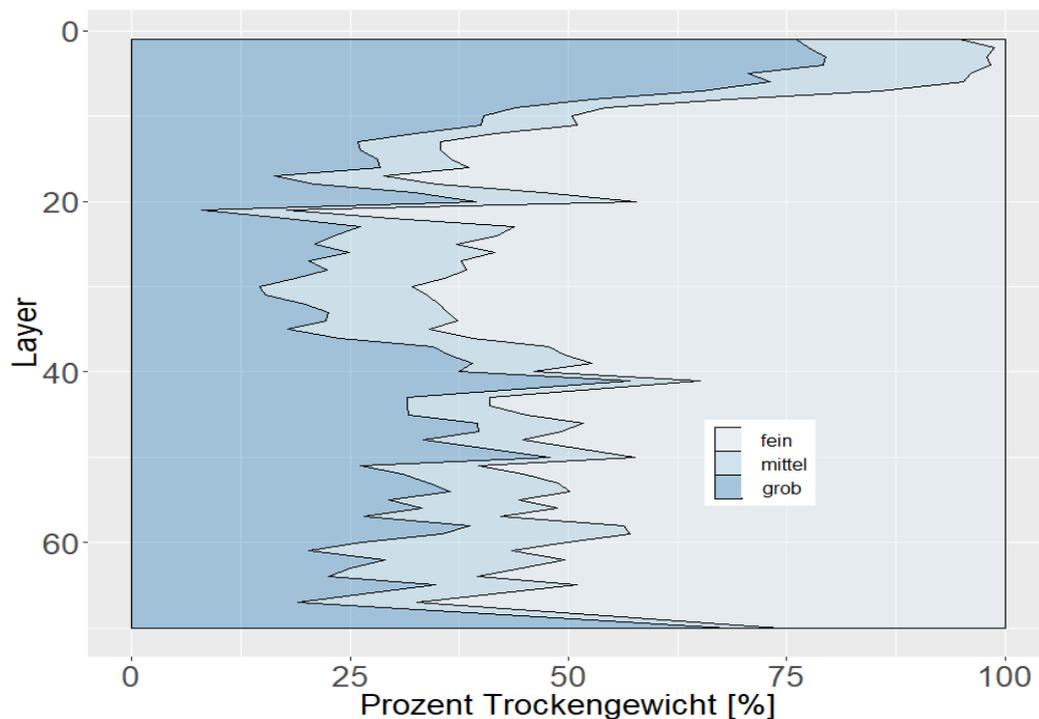


Abbildung 3: Anteil der Korngrößen über den gesamten Kern von Layer 1 bis 70 verteilt. Die Sedimentdaten des „älteren“ Kernabschnitts wurden der Arbeit von Nagy (2019) entnommen. Fraktion *fein* umfasst das Sediment $< 63 \mu\text{m}$; Fraktion *mittel* umfasst das Sediment $500\text{-}63 \mu\text{m}$; Fraktion *grob* umfasst das Sediment $> 500 \mu\text{m}$.

Was auf den ersten Blick zu erkennen ist, ist die starke Veränderung sowohl am Anfang, als auch am Ende des Kerns. Bei Layer 70 dominiert die Fraktion *grob*, mit beinahe 70 % des Sediments und geht dann aber steil zurück, bis sie bei Layer 60 ihr erstes Tief erreicht. Daraufhin bleiben die Schwankungen relativ stabil, ehe die *grob* Fraktion ab Layer 15 wieder rasant ansteigt und bei Layer 1 ihr absolutes Maximum mit 75 % Gewichtsanteil erreicht.

Im Gegenzug dazu spiegelt sie die Kurve der *fein* Fraktion, deren Massenanteil bei Layer 70 nur bei rund 25 % liegt, dann allerdings schwankend ansteigt und nach einigen Einbrüchen bei Layer 50 und 20, beinahe komplett zurückgeht. Das Minimum der *fein* Fraktion liegt bei Layer 5 mit knapp 5 %.

Die Korngrößenfraktion im Bereich *mittel* ist über den gesamten Kern relativ konstant und unterliegt nur geringen Schwankungen von wenigen Prozentpunkten.

4.2.1 KORRELATION FAUNISCHER DATEN MIT DER SEDIMENTKORNGRÖSSE

Die Korrelationsanalyse wurde zwischen den drei Fraktionsgrößen der Artenzahl und der drei Fraktionsgrößen der Individuenzahl durchgeführt. Außerdem wurden die drei Fraktionsgrößen der Artenzahl und Individuenzahl jeweils mit der Korngröße *grob* und *fein* des Sediments, in einer weiteren Korrelationsanalyse, korreliert. Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, korrelieren die beiden Fraktionen *gesamt* und *groß* negativ und signifikant (Kendall's Tau bei *gesamt*: -0,81; Kendall's Tau bei *groß*: -0,71) mit der *feinsten* Korngröße von < 63 µm. Das heißt bei Abnahme der feinsten Korngröße nimmt die Artenzahl in *gesamt* und *groß* zu.

In Fraktion *groß*, erkennt man auch eine positive signifikante Korrelation zwischen Artenzahl und der Korngröße *grob* (Kendall's Tau: 0,74). Das heißt, je gröber das Sediment wird, desto höher ist auch die Artenzahl in der Fraktion *groß*.

Die Fraktion *klein* (125µm - 63µm) weist keine signifikante Abhängigkeit von den Sedimentkorngrößen auf.

Wie in Tabelle 2 zu sehen ist, gibt es zwischen den Korngrößen des Sediments und der Individuenzahl nur zwischen der Foraminiferenfraktion *groß* und der Sedimentfraktion *mittel* eine positive und signifikante Korrelation. Jedoch konnte eine Korrelation zwischen der Artenzahl und Individuenzahl in der Fraktion *klein* festgestellt werden (Tabelle 3). Mit einem Wert für Kendall's Tau von 0,78 und einem p-Wert < 0,05 ist die Korrelation positiv signifikant ausgefallen, was bedeutet, dass mit Anstieg der Arten auch ein Anstieg der Individuenzahl zu vermerken ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Korrelationsanalyse in Bezug auf die Artenzahl, angegeben in Kendall's Tau. Die Werte von Kendall's Tau reichen von -1 bis +1, wobei Werte in der Nähe zu -1 auf eine negative und Werte in der Nähe von +1 auf eine positive Korrelation hinweisen. Eine signifikante Korrelation ($p < 0,05$) ist mit rot hervorgehoben.

	Sediment fein ($< 63 \mu\text{m}$)	Sediment mittel ($500-63 \mu\text{m}$)	Sediment grob ($> 500 \mu\text{m}$)
> 63 μm Fraktion Artenzahl (gesamt)	-0,81	0,52	0,62
> 125 μm Fraktion Artenzahl (groß)	-0,71	0,62	0,71
125-63 μm Fraktion Artenzahl (klein)	0,39	-0,39	-0,39

Tabelle 2: Ergebnisse der Korrelationsanalyse in Bezug auf die Individuenzahl, angegeben in Kendall's Tau. Die Werte von Kendall's Tau reichen von -1 bis +1, wobei Werte in der Nähe zu -1 auf eine negative und Werte in der Nähe von +1 auf eine positive Korrelation hinweisen. Eine signifikante Korrelation ($p < 0,05$) ist mit rot hervorgehoben.

	Sediment fein ($< 63 \mu\text{m}$)	Sediment mittel ($500-63 \mu\text{m}$)	Sediment grob ($> 500 \mu\text{m}$)
> 63 μm Fraktion Individuenzahl (gesamt)	-0,05	0,52	-0,14
> 125 μm Fraktion Individuenzahl (groß)	-0,24	0,71	0,05
125-63 μm Fraktion Individuenzahl (klein)	0,62	-0,14	-0,62

Tabelle 3: Korrelationsanalyse zwischen Artenzahl und Individuenzahl, angegeben in Kendall's Tau. Die Werte von Kendall's Tau reichen von -1 bis +1, wobei Werte in der Nähe zu -1 auf eine negative und Werte in der Nähe von +1 auf eine positive Korrelation hinweisen. Signifikante Korrelation ($p < 0,05$) ist mit rot hervorgehoben.

	Individuenzahl (gesamt)	Individuenzahl (groß)	Individuenzahl (klein)
Artenzahl	0,24 (> 63 μm)	0,33 (> 125 μm)	0,78 (125-63 μm)

4.3 ARTENVORKOMMEN UND SCHALENTYPEN

Die Identifikation benthischer Foraminiferen ergab im „jüngeren“ Teil des Kerns eine Gesamtartenanzahl von 156 Arten. Von diesen Arten kommen 24 % nur im „jüngeren“ Teil des Kerns vor. In diesen 24 % ist auffällig, dass ~13 % der Arten zwischen Layer 1 und 10 gefunden wurden. Die nur im „jüngeren“ Teil vorkommenden Arten sind vor allem *Cycloforina villafranca*, *Massilina secans*, die potentiell invasiven Foraminiferen *Pyrgo denticulata*, *Amphistegina lobifera*, *Heterostegina depressa* und *Hauerina diversa*, sowie einige Vertreter der Gattung *Adelosina* und *Spiroloculina*.

Bei der Verteilung der Arten, aufgeteilt nach ihre Schalentypen, kann man nur geringe Schwankungen über den „jüngeren“ Teil des Kerns hinweg beobachten. Insgesamt konnten ~4 % der Arten den Sandschalern, ~33 % den hyalinen Kalkschalern und ~63 % den Porzellanschälern zugeordnet werden. Die Schwankungsbreite zwischen den Layern ist dabei nur rund 2 - 4 % (Tabelle 4).

Die Verteilung der Individuen sieht anders aus: Layer 1 bis Layer 10 zeigen deutliche Unterschiede zu den anderen Layern. Das Verhältnis zwischen hyalinen Kalkschalern und Porzellanschälern verschiebt sich von einem vermehrten Auftreten von hyalinen Kalkschalern (Layer 30 - Layer 15) zu einem beinahe gleichen Verhältnis (Layer 10 - Layer 1) zwischen diesen beiden Gruppen (siehe Tabelle 5). Auch die Sandschaler nehmen in den jüngeren Layern zu. Man kann sagen, dass vom „älteren“ Teil des Kerns zum „jüngeren“ hin, eine Zunahme an Porzellanschälern und Sandschalern zu beobachten ist.

Tabelle 4: Relative Schalentypenverhältnisse der Arten über die „jüngere“ Hälfte des Kerns verteilt.

Schalentypen	Layer 1	Layer 5	Layer 10	Layer 15	Layer 20	Layer 25	Layer 30
Hyaline Kalkschaler	34,91 %	37,37 %	41,11 %	39,74 %	43,62 %	40,70 %	43,24 %
Porzellanschaler	61,32 %	56,57 %	54,44 %	55,13 %	53,19 %	55,81 %	54,05 %
Sandschaler	3,77%	6,06%	4,44%	5,13%	3,19%	3,49%	2,70%

Tabelle 5: Relative Schalentypenverhältnisse der Individuen über die „jüngere“ Hälfte des Kerns verteilt.

Schalentypen	Layer 1	Layer 5	Layer 10	Layer 15	Layer 20	Layer 25	Layer 30
Hyaline Kalkschaler	46,35 %	47,16 %	49,93 %	59,41 %	63,54 %	65,43 %	69,97 %
Porzellanschaler	46,62 %	47,10 %	46,72 %	36,01 %	34,17 %	30,32 %	26,80 %
Sandschaler	7,03%	5,75%	3,35%	4,57%	2,29%	4,26%	3,22%

4.4 DOMINANZANALYSE

Wie bereits in Punkt 3.5 erwähnt, wurde die Dominanzanalyse aufgrund von Diskrepanzen anders ausgewertet, als die vorausgegangenen und folgenden Analysen. Die Unterteilung wurde so gewählt, dass die Fraktionen $> 500 \mu\text{m}$ (*groß*), $500\text{-}125 \mu\text{m}$ (*mittel*) und $125\text{-}63 \mu\text{m}$ (*klein*) entstanden (vergleiche: in Punkt 4.4, 4.2 und 4.7 werden die Fraktionen in *gesamt* ($> 63 \mu\text{m}$), *groß* ($> 125 \mu\text{m}$) und *klein* ($125 - 63 \mu\text{m}$) unterteilt). Dies geschah, um eine Unterrepräsentation der besonders großen Individuen und somit auch der potentiell invasiven Arten, die oft in niedriger Individuenzahl vertreten waren, zu verhindern. Die großen Individuen wurden in einer eigenen Gruppe untersucht. Die Dominanzanalyse wurde für den gesamten Kern durchgeführt und umfasst somit auch die Ergebnisse von Nagy (2019).

Es wurde zuerst eine Liste erstellt, welche pro Layer die 10 häufigsten Arten erfasste. Danach wurden die Ergebnisse dieses Rankings verglichen und überprüft welche Arten in mindestens 11 der untersuchten 17 Layern (das entspricht 65%) unter den 10 häufigsten Arten zu finden gewesen waren. Dies resultierte in 8 dominante Arten der Fraktion *groß* und jeweils 9 dominante Arten der Fraktionen *mittel* und *klein*.

Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, sind $\sim 60\%$ der gefundenen Individuen in der Fraktion *groß* den neun dominante Arten zu zuordnen. *Elphidium*

crispum ist mit einem großen Abstand die individuenreichste Art im gesamten „jüngeren“ Kernabschnitt, darauffolgend sind *Eponides repandus*, *Quinqueloculina disparilis*, *Calcituba sp.*, *Planorbulina mediterranensis*, *Lobatulus lobatulus*, *Connemarella rudis*, *Sphaerogypsina globula* und *Rosalina bradyi* dominant.

Auffällig sind jedoch Layer 1 und Layer 5. In Layer 1 sind nur 4 der 9 dominanten Arten präsent, während in Layer 5 nur 5 der 9 dominanten Arten gefunden wurden. Betrachtet man die Daten von Layer 1 genauer, fällt auf, dass die dominante Art in diesem einen Layer *Challengerella bradyi* ist, doch nur in diesem Layer als am individuenstärksten auftritt. Auch *Heterostegina depressa* ist in diesem speziellen Layer unter den drei dominantesten Arten. Das ist besonders bemerkenswert, da *H. depressa* als invasive Art gilt (Zenetos, 2010). Die Abundanz von *Elphidium crispum* übersteigt sie jedoch nicht. Auch in Layer 5 ist sie unter den 10 dominantesten Arten, doch hier nur noch auf Platz 5 und danach ist sie in keinem Layer dominant. Die dominanteste Art in Layer 5 ist wieder *Challengerella bradyi*.

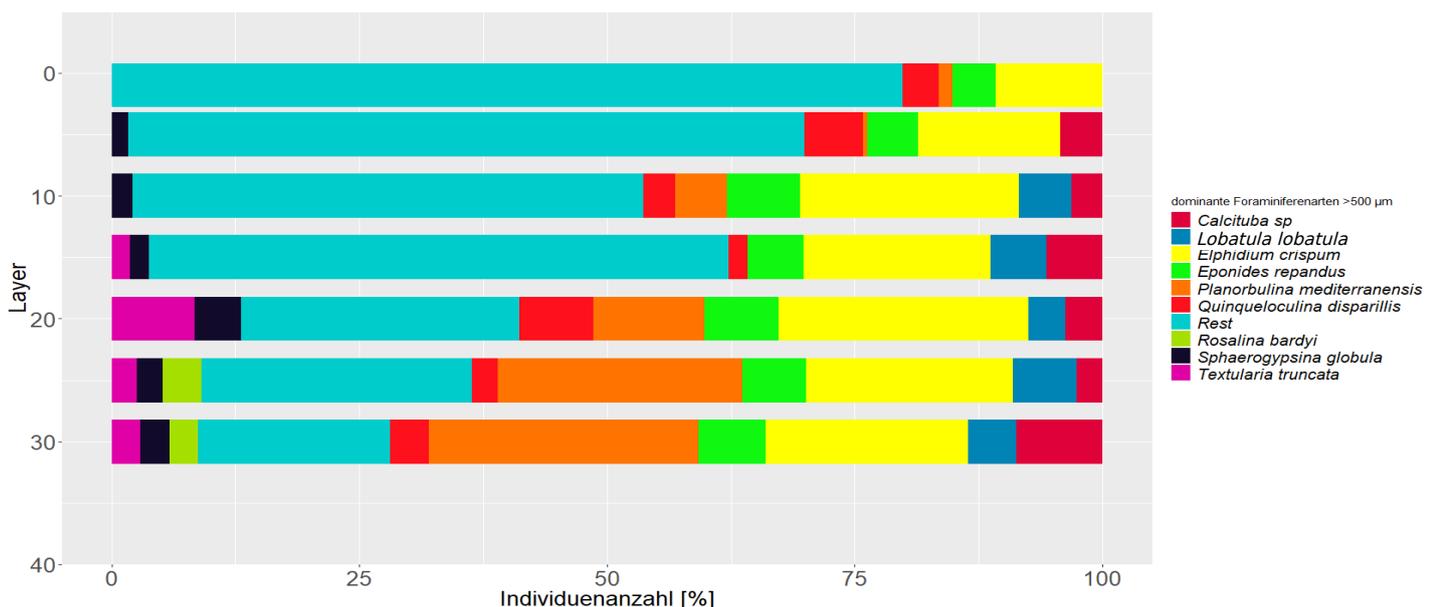


Abbildung 4: Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion > 500 µm im „jüngeren Kernabschnitt“

Bei den Individuen aus der Fraktion *mittel* verändert sich das Bild ein wenig (Abbildung 5). Hier sind es nur noch ~50 % der, welche den acht domi-

nanten Arten zugeordnet werden können. Die häufigste Art in dieser Fraktion ist *Asterigerinata mamilla*. Diese bildet die überwiegende Mehrheit an dominanten Individuen, im Kontrast zu den anderen in dieser Fraktion dominanten Arten, die eine geringere Abundanz aufweisen. Der Rest der dominanten Arten setzt sich zusammen aus *Textularia bocki*, *Triloculina marioni*, *Lobatula lobatula*, *Neoconorbina terquemi*, *Discorbinella bertheloti*, *Elphidium crispum* und *Adelosina mediterranensis*.

Auch in der Fraktion *mittel* kann man Unterschiede in der Dominanz zwischen Layer 1 und Layer 5 und den nachfolgenden Layern feststellen. In Layer 1 und Layer 5 zählen *Ammonia parkinsonia* und *Ammonia inflata* zu den drei dominantesten Arten (*Asterigerinata mamilla* bleibt die dominanteste Art). Danach werden diese beiden Arten jedoch nie wieder dominant.

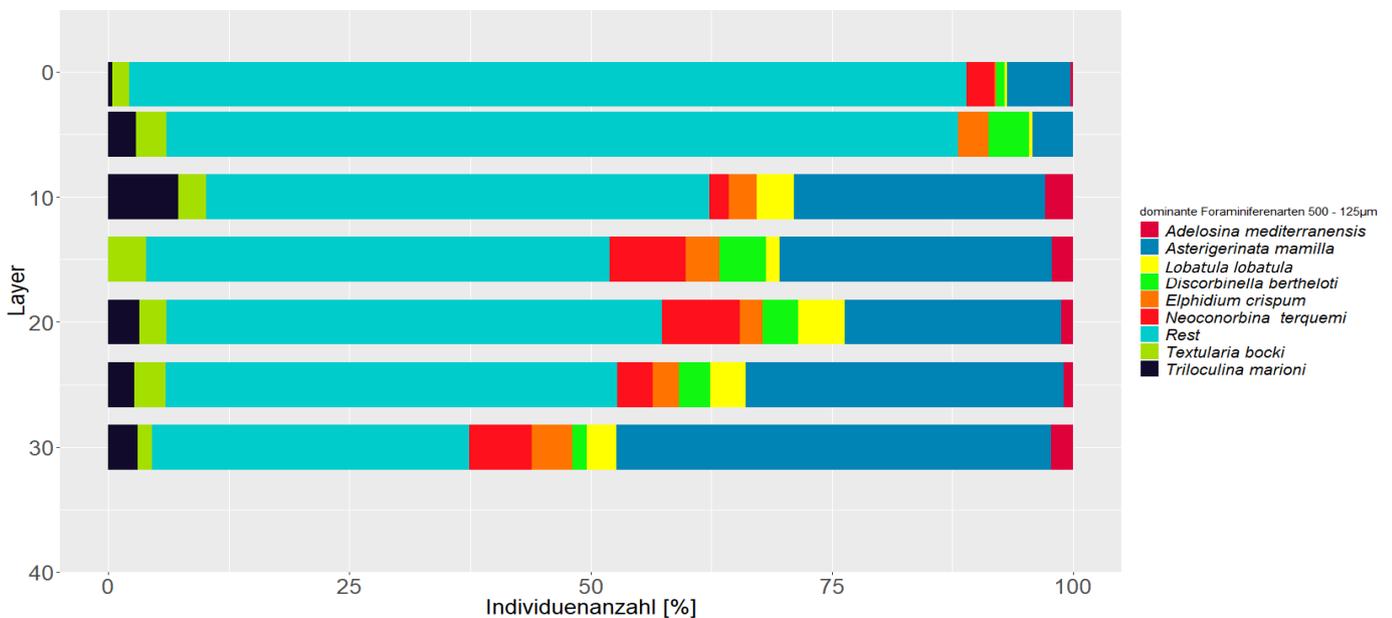


Abbildung 5: Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion 500 - 125 μm im „jüngeren Kernabschnitt“

Auf Abbildung 6 ist zu sehen, dass hier der Anteil der dominanten Arten an der Gesamtfaua *klein* noch um ein Stück zurück geht. In der Fraktion *klein* sind es nur noch rund 45 % der Individuen, die ausschließlich von dominanten Foraminiferen besetzt sind. Hierbei ist die individuenreichste Art genau wie in der Fraktion *mittel* *A. mamilla*, gefolgt von *Bolivina variabilis*, *Haynesina depressula*, *Miliolinella subrotunda*, *Quinqueloculina parvula*,

Quinqueloculina stelligera und *Discorbinella bertheloti*. Die Gruppe *Brizalina* spp. ist ebenso zu erwähnen, da ihr Individuenreichtum vergleichbar mit dem der vorher genannten Arten ist.

Im Vergleich mit der Fraktion *mittel* ist hier allerdings der Abstand zwischen der individuenreichsten Art (*A. mamilla*) und den anderen dominanten Arten nicht mehr ganz so deutlich und geht im Verhältnis zu den anderen dominanten Arten stark zurück.

Wie bei Fraktion *mittel* kann man auch in der Fraktion *klein* sehen, dass *Ammonia parkinsonia* und *Ammonia inflata*, im Gegensatz zu allen anderen Layern, in Layer 1 und Layer 5 zu den zehn dominantesten Arten zählen.

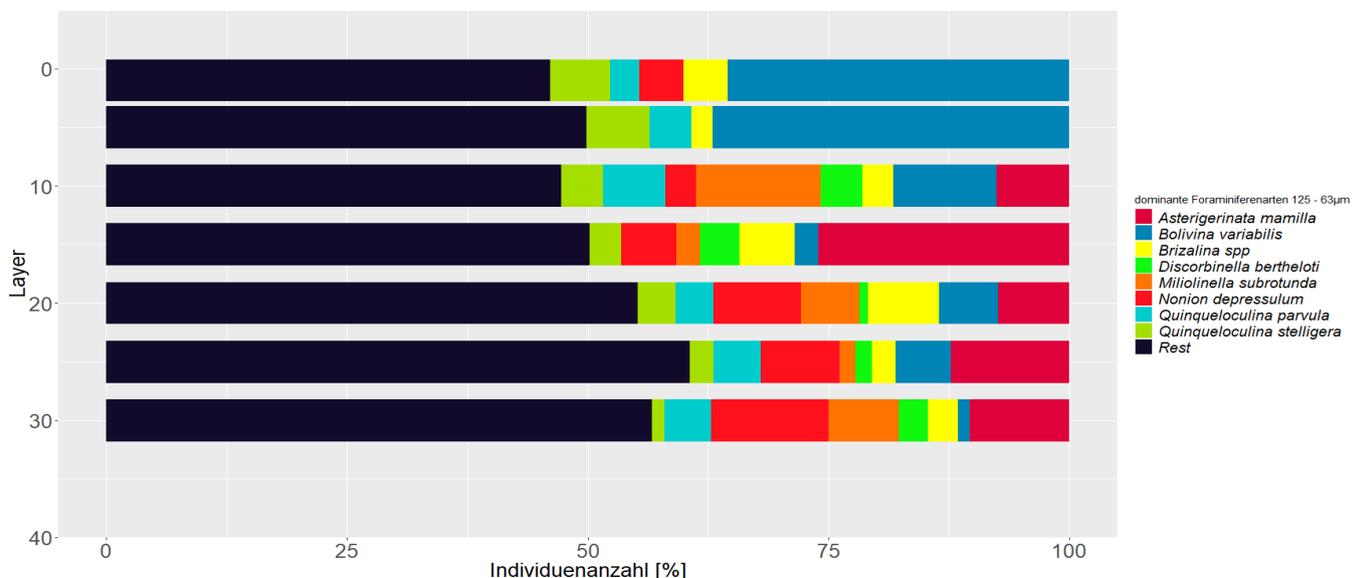


Abbildung 6: Relative Häufigkeiten der neun dominanten Arten der Größenfraktion 500 - 125 µm im „jüngeren Kernabschnitt“

4.4.1 DOMINANZ DER INVASIVEN ARTEN

Um die Veranschaulichung der dominanten Arten ein wenig hervorzuheben wurden hier separat vom Rest des Kerns nur die „jüngeren“ Layer 1 - 30 genauer analysiert.

Von den insgesamt vertretenen invasiven Arten (siehe Punkt 4.5) scheint allerdings nur *Heterostegina depressa* in den Rankings der dominanten Arten auf. Ihr Vorkommen als dominante Art beschränkt sich auf Layer 1 und 5 und scheint in den späteren Listen nicht mehr (als dominante Art) auf.

4.5 DIVERSITÄTSINDIZES

Auch hier wurden die Layer 1 bis 30 jeweils in drei Kategorien untersucht. Wie zuvor schon sind diese Kategorien *gesamt* > 63 µm, *groß* > 125 µm und *klein* 125-63 µm. Analysen wurden für die Artenzahl, die Anzahl an Individuen, den Shannon Index, die Evenness und die Dominanz getätigt.

4.5.1 ARTENZAHL UND INDIVIDUENZAHL

Insgesamt wurden 156 Arten in der „jüngeren“ Kernhälfte bestimmt.

Zu beachten gilt hier, dass die Artenzahl und Individuenzahl auf 10g Trockengewicht genormt wurde, um Arten mit einer geringen Individuenzahl auch repräsentieren zu können.

Wie auf Abbildung 7 zu erkennen ist, verlaufen die Trends von *gesamt* und *groß* parallel. Generell ist ein starker Anstieg an Arten vom „älteren“ zum „jüngeren“ Sediment zu erkennen. Während in *gesamt* bei Layer 30 nur rund 80 Arten aufscheinen, sind bei Layer 1 knapp 100 Arten verzeichnet. Die Höchstwerte liegen bei beiden Kurven bei Layer 20 und Layer 1, mit nur einem, dafür aber drastischen, Einbruch bei Layer 15, in welchem die Artenzahl beinahe wieder auf den Ausgangswert bei Layer 30 zurückgeht. Um Layer 1 herum erreicht die Artenzahl ihr Maximum. Im Gegensatz dazu zeigt sich ein absinkender Trend in der Artenzahl der Fraktion *klein* vom „älteren“ Teil des Kerns zum „jüngeren“. Zwar kann man einen kleinen Zuwachs an Arten von den anfänglich rund 35 auf 40 bei Layer 20 vermerken, doch danach nimmt die Artenzahl der *klein* Fraktion kontinuierlich ab, bis sie bei Layer 5 ein absolutes Tief mit nur rund 10 Arten erreicht.

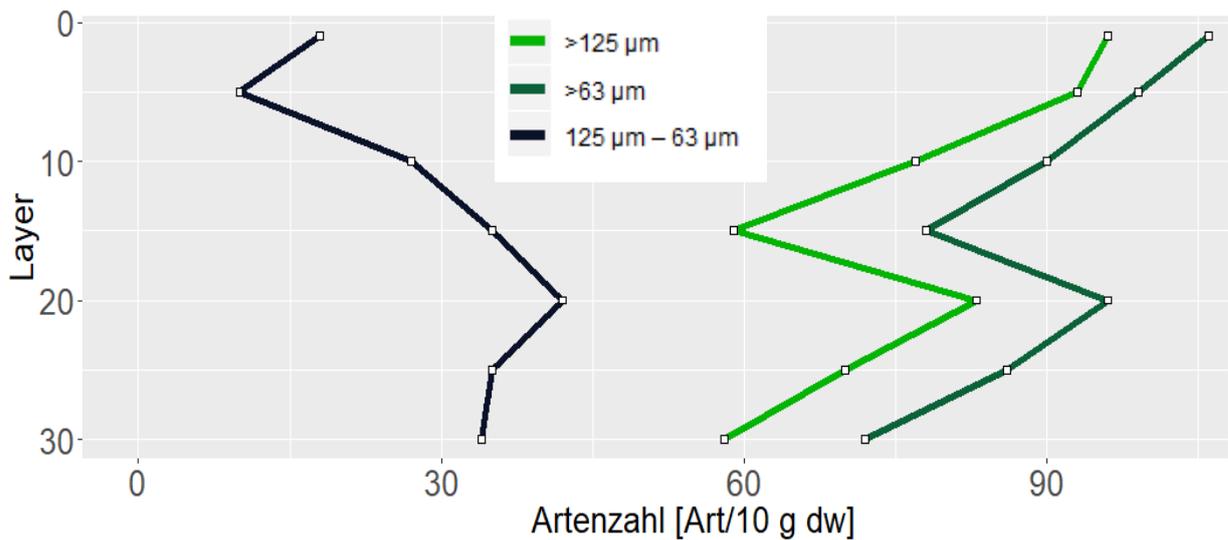


Abbildung 7: Analysen der Artenzahl aus den Layern 1 bis Layer 30.

Betrachtet man die Verteilung der Individuenanzahl, bemerkt man größere Schwankungen (Abbildung 8). Ein in Richtung „jüngere“ Layer zunächst abnehmender Trend wird durch ein großes Maximum bei Layer 20 unterbrochen. In allen Fraktionen findet man hier Zunahmen in der Individuenanzahl, sodass die Fraktion *gesamt* auf einen Wert von 9165 Individuen/10 g Sediment ansteigt, bevor sie wieder stark absinkt und bis Layer 10 nicht über 3000 Individuen/10 g Sediment hinaus geht. Bei einem Wiederanstieg von Layer 10 auf Layer 5 erreicht die Individuenzahl ein weiteres Maximum mit fast 8000 Individuen/10 g Sediment in der Fraktion *gesamt*, doch bleibt damit unter dem Wert von Layer 20, da die Anzahl an Individuen vor allem bei der Fraktion *klein* nur noch sehr gering steigt. Dieses Maximum ist jedoch auch der Umkehrpunkt des sinkenden Trends. Durch den von Fraktion *groß* vollzogenen starken Anstieg, kann man in den „jüngsten“ Layern des Kerns von einer hohen Abundanz an Foraminiferen sprechen.

Bis Layer 15 verhält sich der Trend in Fraktion *groß* und Fraktion *klein* parallel, ab diesem Punkt entsteht jedoch ein großer Unterschied in der Individuenzahl. Fraktion *klein* fällt stärker ab und kommt nicht mehr über 1000 Individuen/10 g Sediment hinaus, während die *große* Fraktion nicht unter 2000 Individuen/10 g Sediment fällt.

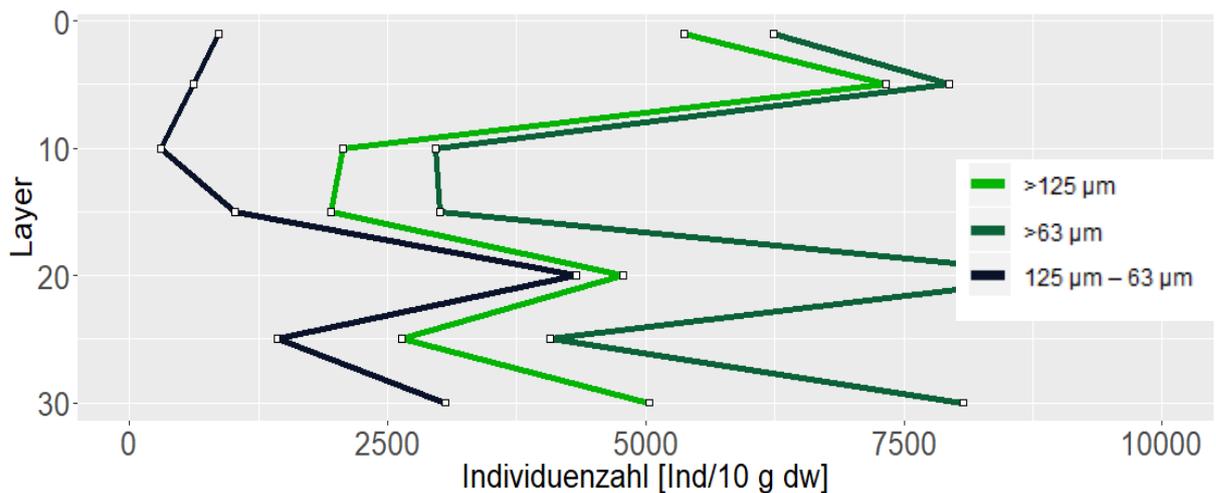


Abbildung 8: Analysen der Individuenzahl aus den Layern 1 bis Layer 30.

4.5.2 DOMINANZ ALS INDEX D

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse des Indexwertes der Dominanz. Gegenstand der Untersuchung waren das Verhältnis der dominanten Arten zu der Anzahl der seltenen Arten. Die Analyse ergab nur eine geringe Schwankung des Indexwertes. Die Dominanz kommt nicht über einen Wert von 0,25 hinaus, was das Vorhandensein vieler seltener Arten widerspiegelt. Überwiegend schwankt der Dominanzwert um einen Wert zwischen 0,025 und 0,09. Von der „älteren“ zur „jüngeren“ Kernhälfte hin kann man bei Fraktion *groß* und *gesamt* von einem leicht sinkenden Trend sprechen. Die Fraktion *klein* weist in der selben Richtung einen leicht steigenden Trend auf, wobei der Anstieg in den beiden „jüngsten“ Layern am stärksten ist.

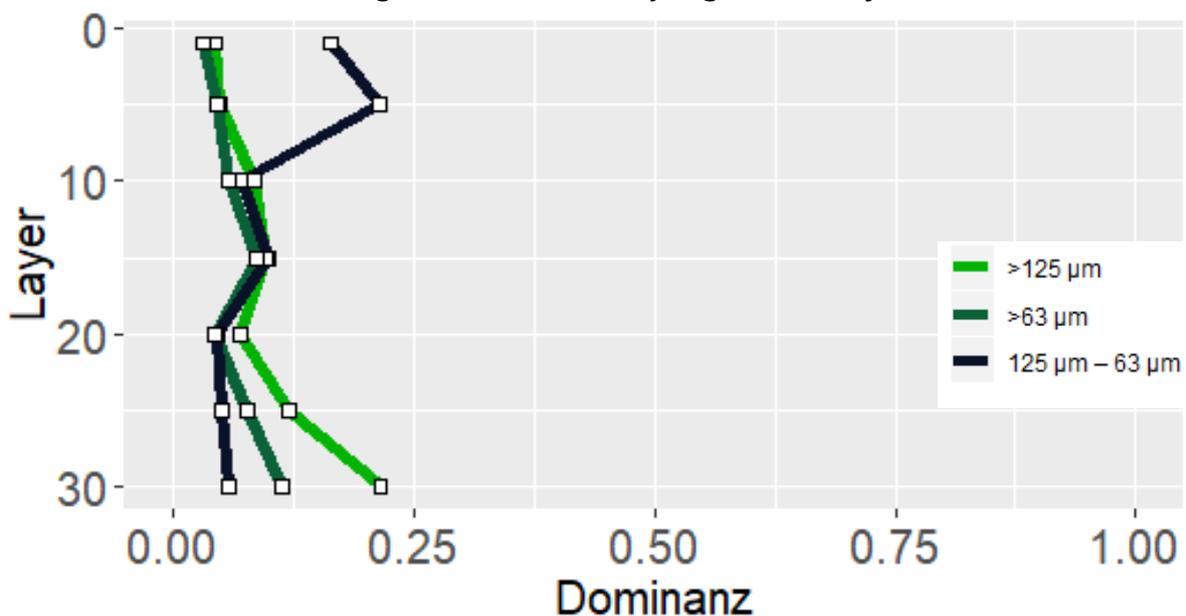


Abbildung 9: Analysen zur Dominanz D aus den Layern 1 bis Layer 30.

4.5.3 EVENNESS E

Abbildung 10 zeigt den errechneten Verlauf der Evenness über die „jüngere“ Kernhälfte verteilt. Auch hier gibt es nur geringe Schwankungen. Auffällig ist, dass sich die Werte der Evenness der beiden Fraktionen *groß* und *klein* jedoch stark voneinander unterscheiden. Die Fraktion *groß* zeigt einen vom „älteren“ Teil des Kerns zum „jüngeren“ Teil des Kerns weitgehend gleichbleibenden Trend, mit leicht steigender Tendenz. Die errechneten Werte schwanken hier und in Fraktion *gesamt* zwischen 0,25 und 0,45. Die Individuenzahl ist bei diesen Fraktionen ungleichmäßiger auf die Artenzahl verteilt, als bei Fraktion *klein*.

Fraktion *klein* weist einen weitaus höheren Evenness Wert auf. Hier wurden Werte errechnet, die sich fast zwischen 0,75 und 0,52 befinden. Die Evenness schwankt in der *kleinen* Fraktion auch stärker mit einem Minimum bei Layer 15 und zeigt einen leicht vom „älteren“ Teil des Kerns zum „jüngeren“ Teil des Kerns absteigenden Trend.

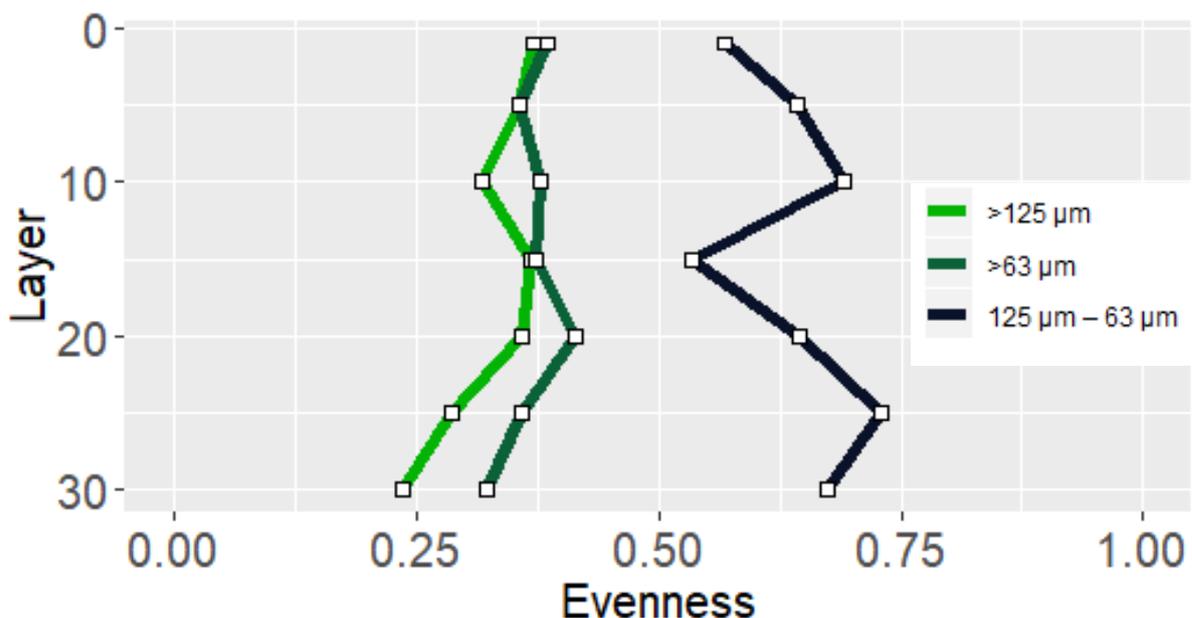


Abbildung 10: Analysen zur Evenness E aus den Layern 1 bis Layer 30.

4.5.4 DIVERSITÄT SHANNON-WIENER INDEX H'

Die Diversität (Artenvielfalt) in der Fraktion *gesamt* im untersuchten Kernabschnitt, zeigt einen steigenden Trend zu den „jüngsten“ Layern hin, wie

auf Abbildung 11 zu erkennen ist. Sie beginnt bei einem Wert von knapp über 3,1 und erlebt zwei Höhepunkte bei Layer 20 (3,681) und Layer 1 (3,703). Layer 15 ist von einem Tiefstwert gekennzeichnet (3,37). Dennoch weisen diese Werte nur eine geringe Schwankung auf, mit einem leicht steigenden Trend der Diversität vom „älteren“ zum „jüngeren“ Teil des Kerns.

Die Fraktion *groß* ist der Fraktion *gesamt* erneut sehr ähnlich, der generelle Trend ist auch hier steigend mit Höhepunkten bei den Layern 20 (3,393) und 1 (3,573) und auch hier ist ein Einbruch bei Layer 15 (3,079) zu vermerken.

Bei Fraktion *klein* erkennt man zwar auch einen Trend, doch dieser steht im Gegensatz zu dem der beiden anderen Fraktionen. Hier nimmt die Diversität stark vom „älteren“ zum „jüngeren“ Teil der Kernhälfte ab. Fraktion *klein* startet bei Layer 30 mit knapp 3,2, steigt dann zu ihrem Maximum bei Layer 25 (3,3) und sinkt dann allerdings kontinuierlich bis sie bei Layer 5 mit einem Wert von 1,8 einen absoluten Tiefpunkt erreicht, ehe sie wieder ein wenig steigt.

Auffällig ist also, dass in den „jüngsten“ Layern des Kernabschnittes (Layer 1 und 15) die Diversität stark in den Fraktionen unterscheidet. Während die Fraktion *groß* eine hohe Diversität aufweist, hat die Fraktion *klein*, im Vergleich dazu, nur noch eine geringe Diversität.

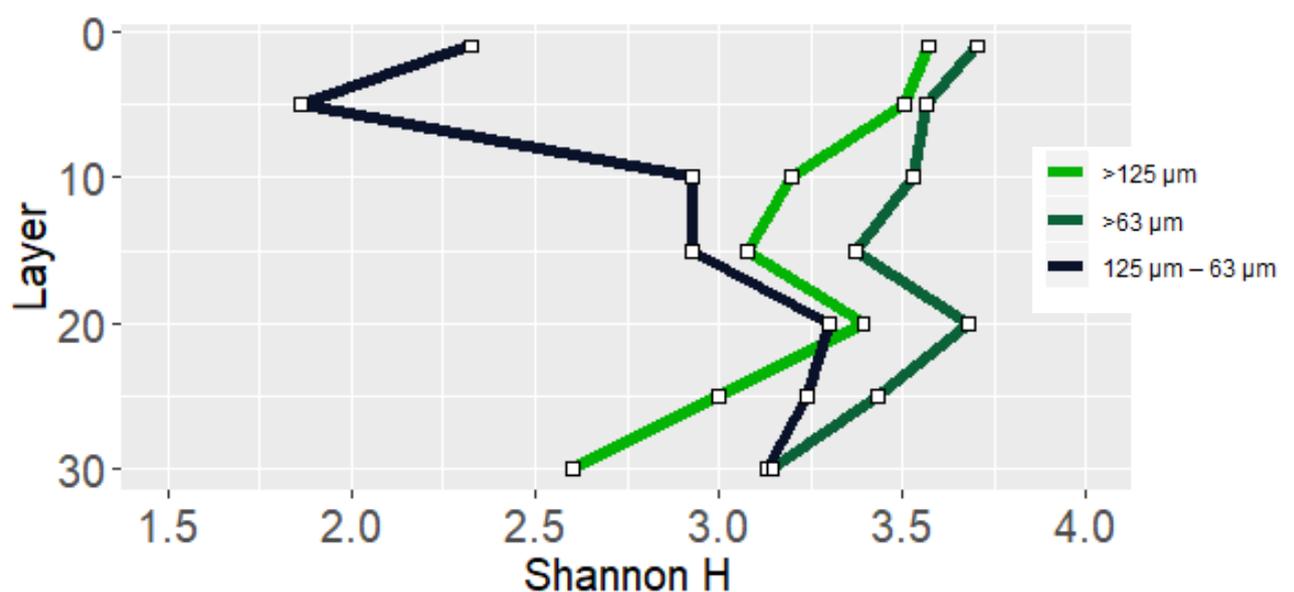


Abbildung 11: Analysen zum Shannon Index H aus den Layern 1 bis Layer 30.

4.6 NON-METRIC MULTIDIMENSIONAL SCALING ANALYSIS (NMDS)

Um die Ähnlichkeit der analysierten Layer zu überprüfen und Aussagen über die Artenzusammensetzung zu tätigen, wurde eine nMDS Analyse durchgeführt. Die Analysen fanden fraktionsabhängig statt und wurden in den drei Fraktionsgrößen *gesamt* ($> 63 \mu\text{m}$), *groß* ($> 125 \mu\text{m}$) und *klein* ($125\text{-}63 \mu\text{m}$) durchgeführt.

Anhand der Position der Layer auf der x-Achse, kann man die Fraktion *gesamt* in drei Gruppen aufteilen. In Abbildung 12 ist zu sehen, dass Layer 1 und 5 eine Gruppe bilden. Layer 10, 15, 25 und 30 bilden ebenso eine näher verbundene Gemeinschaft und Layer 20 stellt die letzte Gruppe da, wobei beachtet werden muss, dass die Distanz der Gruppe 1 (Layer 1 und 5) zu den anderen beiden Gruppen größer ist, als die zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3.

Abbildung 13 zeigt die Gruppierungen der Layer in der Fraktion *groß*. Wieder bilden Layer 1 und Layer 5 die erste Gruppe. Auffällig ist, dass die Ähnlichkeit dieser beiden Layer kleiner ist, als in der Fraktion *gesamt*. Der Rest lässt sich in einer Gruppe zusammenfassen, da keine auffälligen Gruppierungen unter den restlichen Layern feststellbar sind.

In Abbildung 14 wird das Ergebnis der nmMDS Analyse der Fraktion *klein* dargestellt. Es setzt sich das Schema für Layer 1 und 5 fort, sie bilden zusammen mit Layer 15 die Gruppe 1. Alle anderen Layer lassen sich sehr deutlich in eine Gruppe 2 zusammen fassen und zeigen kleine Distanzen zueinander und eine große Distanz zu der Gruppe 1.

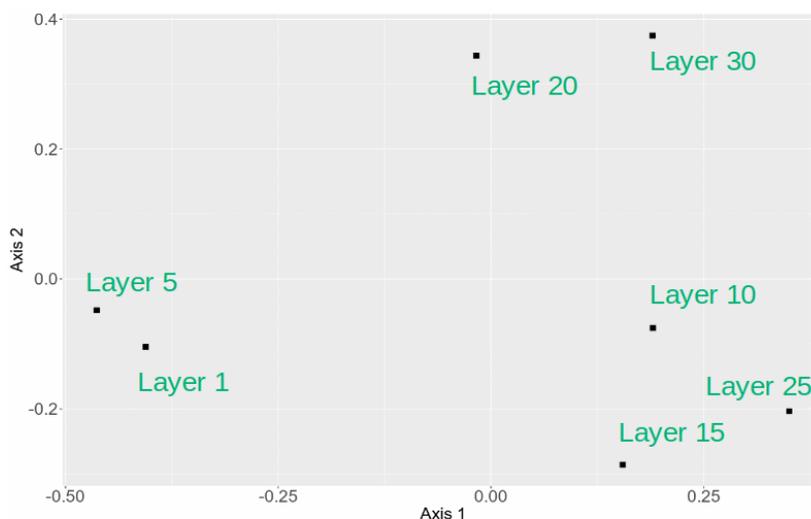


Abbildung 12: nmMDS Analyse der Fraktion *gesamt* ($> 63 \mu\text{m}$) von Layer 1 bis Layer 30.

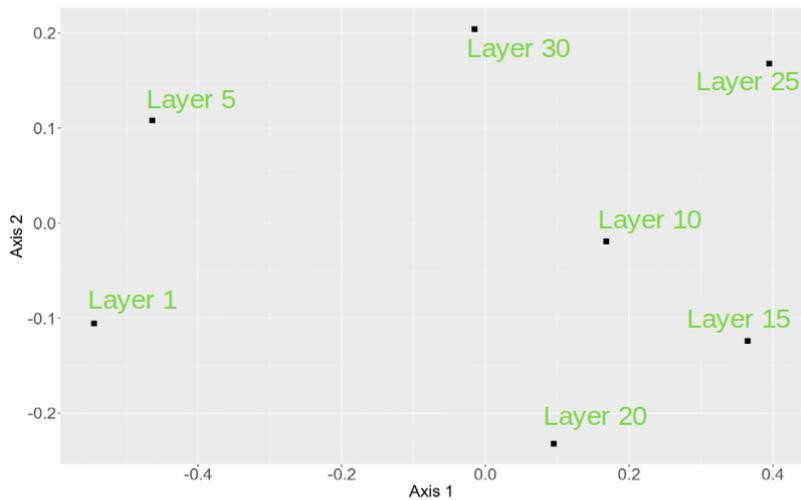


Abbildung 13: nmMDS Analyse der Fraktion *klein* (125 - 63 μm) von Layer 1 bis Layer 30.

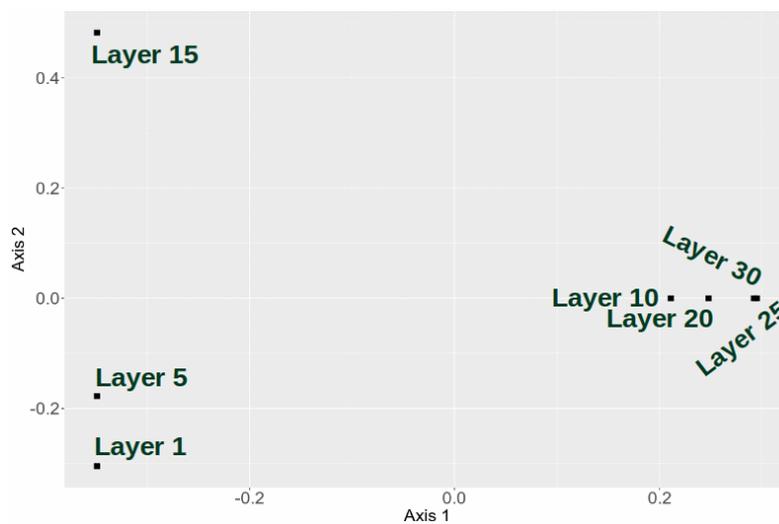


Abbildung 14: nmMDS Analyse der Fraktion *groß* (> 125 μm) von Layer 1 bis Layer 30.

4.7 INVASIVE ARTEN

Im „jüngeren“ Kernabschnitt wurden folgende acht potentiell invasiven Foraminiferen gefunden: *Amphistegina lobifera*, *Haddonina* sp., *Nodopthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Heterostegina depressa*, *Pyrgo denticulata* und *Pararotalia calcariformata*, *Pararotalia* sp., *Pseudomassilina australis*, *Edentostomina cultrata*. Die individuenstärksten Arten sind *Hauerina diversa* und *Heterostegina depressa* (siehe Abbildung 14). Ebenfalls sichtbar in Abbildung 15 ist, dass die invasiven Foraminiferen größtenteils in den rezentesten drei Layer (Layer 1, Layer 5 und Layer 15) auftreten.

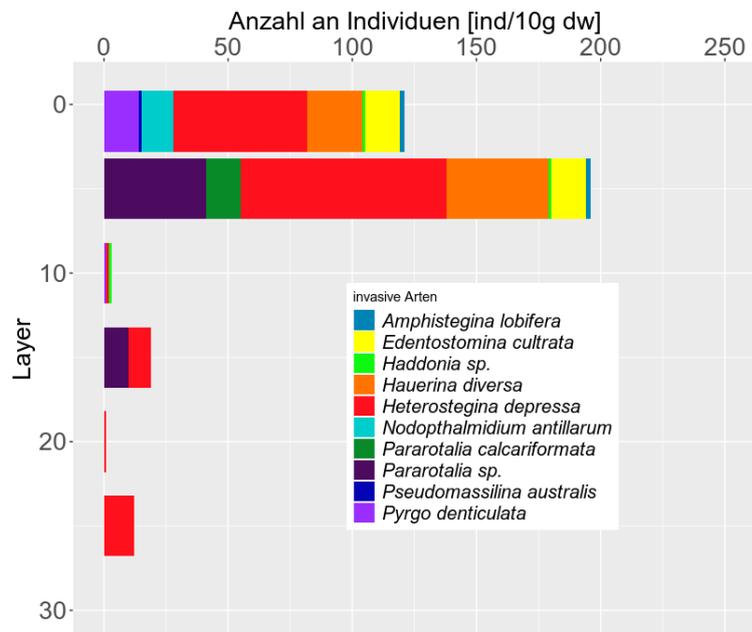


Abbildung 15: Die Abbildung zeigt die Abundanzverteilung der invasiven Foraminiferenarten des „jüngeren“ Kernabschnitts (Layer 30 - Layer 1)

5. INTERPRETATION

5.1 DAS PROBLEM MIT DEN FEHLENDEN PARAMETERN

Bei der Interpretation der erarbeiteten Ergebnissen hat sich die lückenhafte Datenlage als größtes Problem hervorgetan. Eine sinnvollen Einordnung der Resultate in den Kontext anderer Arbeiten, die sich mit invasiven Foraminiferen befassen (beispielsweise *Olafz, 2006; Hyams-Kaphzan, 2008; Meric et al., 2010, 2011, 2014b*), ist erst dann zu bewerkstelligen, wenn eine Datierung der einzelnen Layer vorliegt. Vor allem der Invasionsprozess, doch auch Schwankungen in der Arten- und Individuenzahl und daraus folgend der Diversitätsindizes können nur verstanden werden, wenn der zeitliche Kontext, indem sich die Veränderungen zugetragen haben, bekannt ist.

Neben der Datierung fehlen jedoch auch andere Parameter, die eine Interpretation vervollständigen würden. *Armstrong et al. (2005)*, nannte mehrere, die kleine, benthische Foraminiferenarten im marinen Milieu beeinflussen können: Salinität, Sedimentzusammensetzung, Lichtverfügbarkeit, Nährstoffzufuhr, Substrat, Sauerstoffkonzentration und Nahrungsverfügbarkeit. Von diesen konnte nur die Sedimentzusammensetzung erfasst werden. Eine vielfältige Analyse der Schwankungsursachen von Arten- und Individuenzahl ist somit nicht möglich.

Für eine höhere Aussagekraft und ein vollständigeres Bild, wurde der Datensatz mit den erarbeiteten Daten von *Nagy (2019)* und *Zimmermann (2020)* für die Interpretation ergänzt. Somit konnte auch der „ältere“ Teil des Kerns mit einbezogen werden. Dieses Bild des Kerns, ist jedoch trotz vereinter Datensätze nicht lückenlos, da der „ältere“ Teil des Kerns nur einen groben Überblick gibt (nur jeder fünfte Layer wurde untersucht). Für eine höhere Auflösung, wie die im „jüngeren“ Teil des Kerns, müssten noch mehr Daten erhoben werden.

Vor allem die Bestimmung der Arten wurde in enger Kooperation mit M. Nagy durchgeführt, um die Ergebnisse einheitlich zu gestalten. *Zimmermann (2020)* zeigt in ihrer Arbeit, dass auch hier eine engere Kooperation

nötig gewesen wäre, da teils Abweichungen in der Bestimmung einzelner Arten deutlich werden.

5.2 DIE SCHWANKUNGEN IN DER FAUNENZUSAMMENSETZUNG

An den Küsten des östlichen Mittelmeeres wurden bereits zahlreiche Studien zu dem Thema der invasiven Foraminiferen durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass besonders Arten wie *Amphistegina lobifera* ihr Verbreitungsgebiet von Port Said aus, bis an die Küsten von Zypern und der Türkei ausgedehnt hat (Meric et al., 2002). An manchen Stellen wurde beobachtet, dass sich *A. lobifera* im östlichen Mittelmeer so erfolgreich ausbreitet, dass es zu lokalen Ablagerungen toter Schalen kommt, die eine Mächtigkeit von 30 - 60 cm aufweisen können (Meric 2002, 2004; Yokes, & Meric, 2004). Eine Veränderung der Faunenzusammensetzung durch Lessepsische Migranten ist einhergehend.

Doch die Faunenzusammensetzung kann sich auch durch andere Parameter verändern. Benthische Foraminiferenvergesellschaftungen müssen sich sechs Hauptumwelteinflüssen anpassen, die jedoch nicht alle gleich viel Einfluss auf lokale Populationen aufweisen. Der Einfluss der Lichtversorgung wird in dem hier untersuchten „jüngeren“ Teil des Kerns, als gering eingestuft, da es sich um Flachwasserbedingungen handelt und Lichtverfügbarkeit erst mit steigender Wassertiefe zu einem Problem wird. Die Annahme, dass über den „jüngeren“ Teil des Kerns genug Licht vorhanden war, zeigen auch die Funde einer großen Individuenzahl an Großforaminiferen wie *Amphistegina lobifera*, *Heterostegina depressa* und *Hauerina diversa*, die stark auf eine ausreichende Lichtkonzentration angewiesen sind, da sie in Symbiose mit photoautotrophen Algen stehen (Armstrong & Braiser, 2005).

Die Salinität- und Temperaturschwankungen, haben in Flachwassergebieten jedoch einen umso größeren Einfluss (Jannink, 2001). Diese Parameter können aber durch die fehlende Datenlage nur indirekt in die Interpretation mit einbezogen werden. Eine starke Dominanz von Miliolida zeigt zumindest in äquatorialen Gewässern, das Vorhandensein von relativ hohen Temperaturen und daraus resultierendem, höheren Salzgehalt. Es wird ver-

mutet, dass der Aufbau der Porzellanschale das Zytoplasma vor der schädigenden Wirkung starker UV Strahlung schützt, indem die Strahlung stärker gestreut wird, als in den Schalen der hyalinen Kalkschaler (*Armstrong & Braiser, 2005*). Durch das Fehlen von Poren in den Schalen der Miliolida, wird weiters eine höhere Toleranz gegenüber einer relativ starken Salzkonzentration im Außenmilieu vermutet (*Armstrong & Braiser, 2005*).

In den hier untersuchten Sedimenten, lässt sich ein leichter Trend der Verteilung der Individuenzahl zwischen Porzellanschälern und hyalinen Kalkschälern erkennen. Die anfängliche Individuenstärke der hyalinen Kalkschälern (~70 % der Individuen wurden der Gruppe der hyalinen Kalkschälern, ~27 % der Gruppe der Porzellanschälern in Layer 30 zugeordnet), nimmt in Richtung des „jüngsten“ Teil des Kerns hin kontinuierlich ab. Zwischen Layer 10 und Layer 1 ergibt sich ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen den Individuenzahlen der Porzellanschälern und den der hyalinen Kalkschälern (bei Layer 1: 46,35 % Individuen der Gruppe hyaline Kalkschaler, 46,62 % der Individuen Porzellanschaler). Dieser Trend passt gut zu den Erkenntnissen, dass das Mittelmeer durch die klimatische Veränderung des Planeten, sowohl wärmer, als auch salziger wird (*Raitsos et al., 2010*), doch kann er nur dann vollständig erklärt werden, hätte man durch eine Datierung der Layer die Veränderungen mit zeitgleichen Daten der Salinität und Temperatur vergleichen können. Eine Verfälschung dieses Ergebnisses, könnte das bessere Erhaltungspotential der Foraminiferenschalen in den rezenteren Layern darstellen. Es wurden jedoch keine Analysen (beispielsweise organic Linings) im Rahmen dieser Masterarbeit gemacht, um diese systematischen Fehler der Untersuchung auszuschließen.

Auch die Nährstoffzufuhr und die Sedimentzusammensetzung spielen in den oligotrophen Flachwasserregionen, eine erhebliche Rolle (*Jannink et al., 2001*). Die Anzahl der Individuen einer benthischen Foraminiferenpopulation schwankt im rezenten Flachwasser der israelischen Küste mit den saisonalen Veränderungen der Nährstoffzufuhr (*Jannink et al., 2001*). Stürme im Herbst führen dort zu einem Eintrag von organischem Kohlenstoff und in weiterer Folge zu einer Blüte an Phytoplankton, das vielen Foraminiferen als Nahrung dient. Mit dem Anstieg an Phytoplankton, steigt auch die

Anzahl der Individuen über den Winter. Wird es im Frühjahr wärmer, stratifiziert die Wassersäule und lässt besonders in Tiefen von 40 m keine ausreichende Menge an frischen Nährstoffen zu den benthischen Foraminiferen durch (Jannink et al., 2001). Eine Studie von Abu-Zied und Kollegen (2007) unterstützt die Interpretation, dass es nicht nur rezent zu Schwankungen in der Nährstoffversorgung des östlichen Mittelmeeres gekommen war. Die von Abu-Zied und Kollegen (2007) untersuchten Tiefseesedimente zeigen einen graduellen Abfall an Nährstoffen, von den ältesten Schichten der genommenen Kerne (etwa 30 ka BP), bis etwa 10,2 ka BP. Und dies sowohl im Levantinischen Meer, als auch in der Ägäis. Dieser Trend wird immer wieder von kleinen Schwankungen unterbrochen, die als saisonale Einflüsse auf die Nährstoffverfügbarkeit interpretiert werden und die mesothropischere Bedingungen darstellen. Eine große Unterbrechung dieses oligotrophen Trends ist die Jungen Dryas (12,8 - 11,5 ka BP), die eine signifikant höhere Nährstoffproduktion aufweist. In weiterer Folge wird gezeigt, dass sich ein schneller Wechsel im Levantinischen Meer zu einem oligotrophen Tiefseemilieu ereignete. Dies soll nur exemplarisch darstellen, dass die Bedingungen für den Eintrag von Nährstoffen auch in der Vergangenheit nicht stabil waren, auch wenn man diese Werte, durch die fehlende Datierung, nicht mit den Schwankungen des hier beschriebenen Kerns vergleichen kann. Die Erkenntnisse, dass in den rezenten Flachwasserbedingungen der israelischen Küste die Nährstoffzufuhr einen großen Einfluss auf die Anzahl an Individuen hat und es auch in der Vergangenheit bereits Schwankungen derselbigen nachweisbar sind, wird auch als Erklärungsmodell für die schwankenden Individuenzahlen des hier beschriebenen Kerns verwendet. Auch wenn der Gehalt des totalen organischen Kohlenstoffs in den Sedimenten nicht gemessen werden konnte und somit keine direkte Korrelation möglich ist.

Die Individuenzahl schwankt sehr stark. Betrachtet man alle Korngrößen zusammen ($> 63 \mu\text{m}$) zeigt sie ihr Maximum bei Layer 20 und kommt dort auf fast 10000 Individuen/10 g Sediment. Sie fällt über Layer 15 und Layer 10, hier ist auch das Minimum und die Fraktion *gesamt* fällt auf unter 3000 Individuen/10 g Sediment zurück. Die starken Schwankungen werden von

der Fraktion *groß* ($> 125 \mu\text{m}$) im selben Ausmaß vollzogen, nur die Fraktion *klein* ($125 \mu\text{m} - 63 \mu\text{m}$) unterscheidet sich vom allgemeinen Trend. Die Individuenzahl liegt in allen Layern unter der Anzahl der *großen* Fraktion, doch der Abstand der beiden zueinander vergrößert sich stark bei Layer 15 und die Fraktion *klein* findet ihr Minimum bei Layer 10. Danach setzt sich ein steigender Trend fort (Layer 5 und Layer 1), während bei der *großen* Fraktion die Anzahl an Individuen in Layer 5 schon wieder sinkt.

Eine Korrelationsanalyse zwischen der Individuenzahl und dem Parameter der Korngröße des Sediments, konnte keine Korrelation feststellen, also können die Schwankungen auch nicht durch Veränderungen in der Korngröße erklärt werden. Der unstete Eintrag an Nährstoffen wird also als Erklärung für die Veränderungen der Individuenzahlen über die Zeit herangezogen. Ein Trend kann nicht festgestellt werden, doch das wellenförmige Zu- und Abnehmen der Individuenzahlen kann durch Saisonalität der Nährstoffverfügbarkeit und Konkurrenzverhalten erklärt werden. In instabilen Habitaten sind viele benthische Foraminiferen r-Strategen (*Armstrong & Braiser, 2005*), die eine geringe Konkurrenzdichte ausnutzen, um die Populationsdichte bei Nährstoffverfügbarkeit rasch wieder zu erhöhen, bis die nächste Schwankung im System (in diesem Fall ein Rückgang von Nährstoffen), die Population wieder zusammenbrechen lässt. Eine genaue Analyse ist jedoch aufgrund des Datenmangels nicht möglich.

Bei der Artenzahl ist eine noch größere Diskrepanz zwischen den beiden Größenfraktionen *groß* ($> 125 \mu\text{m}$) und *klein* ($125 \mu\text{m} - 63 \mu\text{m}$) festzustellen. Die Fraktion *groß* folgt einem steigenden Trend. Nur bei Layer 15 gibt es einen Abfall der Artenzahl und sie liegt wieder bei knapp unter 60 Arten, so wie am Anfang des „jüngeren“ Teil des Kerns (Layer 30). Danach steigt sie steil, bis zu ihrem Maximum bei Layer 1. Dort konnten über 90 Arten identifiziert werden. Eine Korrelationsanalyse mit den Korngrößen der Sedimente, zeigte eine signifikante, positive Korrelation (Tau = 0,71) zwischen der Sedimentkorngröße *grob* ($> 500 \mu\text{m}$) und der Foraminiferenfraktion *groß* ($> 125 \mu\text{m}$). Das Minimum bei Layer 15 wird durch einen Abfall der *grogen* Korngröße an Sediment erklärt und der steigende Trend der

Artenzahl, geht mit dem steigenden Masseanteil an *grobem* Sediment einher.

Die Fraktion *klein* weist einen sinkenden Trend auf. Sie kommt nie über 50 Arten hinaus und hat ihr Minimum bei Layer 5, bei dem nur rund 10 Arten gefunden wurden. Die Korrelation mit der *groben* Sedimentkorngröße zeigte eine signifikante, negative (Tau = -0,71) Korrelation zwischen der Artenzahl der *kleinen* Fraktion und der Korngröße. So kann der sinkende Trend der Artenzahl dieser Fraktionsgröße erklärt werden.

Betrachtet man alle Foraminiferenfraktionen zusammen, wird diese signifikant und negativ (Tau = - 0,81) von der Sedimentkorngrößenfraktion *fein* (< 63 µm) beeinflusst. Vergleicht man die Tau-Werte, ist der Einfluss der *feinen* Fraktion des Sediments am größten. Ein Erklärungsmodell dafür sind die vielen epifaunalen Formen (beispielsweise 75% der dominanten Arten in der Größenfraktion *mitte*). Es wurde bereits in mehreren Studien ein Zusammenhang zwischen der Dominanz epifaunaler Formen und grobem Sediment vermutet (siehe hierzu beispielsweise *Diz et al., 2004; Romano et al., 2013*). Epifaunale Foraminiferen leben meistens festgewachsen an härterem Substrat, oder auf sandigem Sediment. Tonige oder Siltige Sedimente sind vermutlich keine geeigneten Unterlagen, um sich bei Strömung zu verankern, oder das Verschütten durch feine Partikel zu verhindern. Es liegt also nahe, eine erhöhte Dominanz epifaunaler Foraminiferenarten, mit gröberem Sediment in Verbindung zu bringen.

Durch die fehlende Datierung lässt sich die Veränderung in der Zusammensetzung der Korngrößen des Sediments nicht mit Ereignissen der Vergangenheit korrelieren. Dennoch kann man den Einflusspatrick des Nils und dessen Stauung durch den Assuan Damm auch nicht unerwähnt lassen. Vor dem Erbauen des Assuan Damms transportierte der Nil im Jahreschnitt ein Süßwasservolumen von $34 \times 10^9 \text{ m}^3$ (*Sharf El Din, 1977*) bis $43 \times 10^9 \text{ m}^3$ (*Azov, 1991*) in das Mittelmeer, vor allem in der saisonalen Hochwasserperiode von August bis November (*Sharaf El Din, 1977*). Durch das Stauen dieser enormen Menge an Süßwasser, wurden seit 1964 bereits zahlreiche Veränderung an dem Nährstoffbudget des Levantinischen Meeres und vor allem der Sedimentfracht, die durch den Nil transportiert wor-

den war, beobachtet (*Sharaf El Din, 1977*). Das östliche Mittelmeer ist, durch seine besonders trockenen Verhältnisse an Land und seiner Lage, höchst oligotroph, in dem ohnehin schon nährstoffarmen Mittelmeer (*Azov, 1991*). Vor allem die israelische Küste lässt sich mit den am meisten oligotrophen Regionen der Ozeane vergleichen (*Azov, 1991*). Dadurch, dass das Mittelmeer ein beinahe geschlossenes Becken darstellt, ist ein Wasseraustausch beinahe nur durch die 50 km breite Straße von Gibraltar möglich. Das eintretende Atlantikwasser wird durch starke Evaporations-effekte im östlichen Mittelmeer in einer Strömung von Gibraltar, die Nordküste von Afrika entlang, in einem Bogen bis zur Küste von Südeuropa gespült (*Hopkins, 1978*). Doch es werden keine nährstoffreichen atlantischen Wasserschichten aus der Tiefsee dabei transportiert, sondern nur die nährstoffarmen Oberflächenschichten (*Miller, 1983*). Das Mittelmeer selbst hat keine signifikanten Upwelling Gebiete (*Azov, 1991*) und ist somit auf einen terrestrischen Eintrag an Nährstoffen angewiesen.

Der Nil alleine steuerte vor seiner Stauung 140 Millionen Tonnen an Schlamm und Silten als Eintrag bei und damit den größten Anteil an der Nährstoffzufuhr (*Azov, 1991*). Die Stauung des Nils hat demnach dramatische biochemische und biologische Effekte im Levantinischen Meer (*Gerges, 1976*), da sich der Eintrag an Sedimenten nun nur mehr im Winter ereignet, wenn Hochwasser den Fluss über den Damm steigen lässt (*Azov, 1991*). Das Volumen des Eintrags wird nun auf $4 - 5 \times 10^9 \text{ m}^3$ im Jahr geschätzt (*Al-Kholy & El Waleel, 1975*), was nur noch ein Zehntel des ursprünglichen Volumens darstellt.

Der fehlende Eintrag an neuen Sedimenten bringt auch eine Verschiebung im Gleichgewicht der Ablagerung. Da sich das Nildelta vor Ägypten nicht weiter aufbauen kann, erodiert die vom Atlantik kommende Strömung das vorhandene Delta und transportiert die Sedimente entlang der afrikanischen und in weiterer Folge israelischen Küste. Abtragungsraten werden auf 20 - 40 m/Jahr geschätzt (*El-Asmara, 2002*). Der Einfluss der Erosion ist noch bis zur Bucht von Haifa messbar (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Vor Süd- und Zentralisrael werden in Folge davon rezente Sedimentationsraten von 55 cm /1000 Jahren in einer Wassertiefe von 33 - 36 m gemessen (*Tapiero,*

2002). Ab der Bucht von Haifa nimmt der Einfluss aber rapide ab und die Sedimente stammen dann weiter nördlich von den lokalen Flüssen (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Die Sedimente des hier untersuchten Kerns liegen also noch gerade in dem Einflussgebiet des erodierten Nildeltas und so könnte sich eine Verschiebung der Korngrößen in den untersuchten Layern von feinem ($< 63 \mu\text{m}$) Schlamm zu grobem Sand ($> 500 \mu\text{m}$) ab Layer 15 erklären. Um diesen Erklärungsversuch abzusichern, wäre jedoch eine Datierung der Sedimente nötig.

Die Parameter der Diversität (Dominanz, Evenness und der Shannon Index) zeigen keine großen Schwankungen. Die geringen Schwankungen lassen auf stabile Umweltbedingungen schließen, die keine deutlichen Veränderungen in der Faunenzusammensetzung verursachen. Die Dominanz bewegt sich über den gesamten „jüngeren“ Kernabschnitt hinweg zwischen 0,05 und 0,24 und liegt somit im unteren Viertel des Möglichen (Fraktion *gesamt*). Ein geringer Dominanzwert beschreibt eine Faunenzusammensetzung mit vielen seltenen Arten und nur wenig dominanten Arten. Dieses Ergebnis wird auch durch die Dominanzanalyse unterstützt, bei der der Anteil an Individuen dominanter Arten an der Faunenzusammensetzung vom „älteren“ zum „jüngeren“ Kernstück hin immer weiter abnimmt. Wenn man in den Größenfraktionen *groß* ($> 500 \mu\text{m}$) und *mittel* ($500 - 125 \mu\text{m}$) alle Individuen dominanter Arten gruppiert und diese Gruppe allen Individuen der seltenen Arten in der Fauna gegenüber stellt, wird deutlich, dass Layer 15, 10, 5 und 1 einen Anteil dominanter Arten an dem Rest der Probe von $< 50 \%$ haben. Wobei Layer 5 und Layer 1 dabei besonders wenig Individuen dominanter Arten aufweisen (*groß* Layer 5: $\sim 40 \%$ Individuen dominanter Arten, Layer 1: $< 25 \%$ Individuen dominanter Arten; *mittel* Layer 5: $\sim 28 \%$ Individuen dominanter Arten, Layer 1: $< 25 \%$ Individuen dominanter Arten). In anderen Worten: Die vielen seltenen Arten machen noch immer $> 50 \%$ der Individuen aus. Nur in Fraktion *klein* ($125 - 63 \mu\text{m}$) ist das Verhältnis ausgeglichen. Die Evenness zeigt stärkere Schwankungen und eine auffällige Diskrepanz zwischen den beiden Größenfraktionen *groß* ($> 125 \mu\text{m}$) und *klein* ($125 - 63 \mu\text{m}$). Die Fraktion *groß* zeigt geringere Werte

für die Evenness, sie schwankt zwischen 0,2 und 0,4. Die Fraktion *klein* zeigt hingegen hohe Werte zwischen 0,5 und 0,75.

Mit diesen Ergebnissen, unterstützt auch die Evenness die Aussage der Dominanzanalyse, da sie die Gleichverteilung der Individuen auf die identifizierten Arten anzeigt und somit deutlich macht, dass die *kleinere* Fraktion ein ausgeglicheneres Verhältnis zwischen Individuen und der Artenzahl aufweist, als die *große* Fraktion. Diese Diskrepanz lässt sich durch die unterschiedliche Korrelation der Artenzahlen mit dem Sediment erklären. Die Schwankungen der Artenzahl der *großen* Fraktion wird in signifikanter Weise von den Schwankungen des *groben* Sediments (Kendall's Tau = 0,71) und des *feinen* Sediments (Kendall's Tau = -0,71) beeinflusst. Das Sediment zeigt in der Korrelationsanalyse, jedoch keinen Einfluss auf die *kleine* Fraktion. Ihre Artenzahl wird durch andere Parameter beeinflusst und somit ergeben sich unterschiedliche Trends in den Schwankungen der Artenzahl, was eine Diskrepanz in der Analyse der Evenness zur Folge hat. Betrachtet man die Evenness fraktionsabhängig, lässt sich weder bei der *großen*, noch bei der *kleinen* Fraktion ein Trend zeigen, was auf stabile Bedingungen hinweist.

Der Shannon-Index zeigt von allen Diversitätsparametern die größten Schwankungen, da die Diversität den Schwankungen der Artenzahl und der Individuenzahl unterliegt. Die Fraktion *groß* zeigt den Verlauf des „jüngerer“ Kernabschnitts folgend einen leicht steigenden Trend der Diversität, der durch die positive Korrelation der Artenzahl der *großen* Fraktion mit der Zunahme an *groben* Sediment erklärbar ist. Auch die Individuenzahl nimmt in der *großen* Fraktion bis zu Layer 1 hin zu. In der *kleinen* Fraktion zeigen beide Parameter einen eher sinkenden Trend und damit auch der Shannon-Index. Dies kann nicht durch die Schwankungen der Korngrößenzusammensetzung erklärt werden, da die Fraktion *klein* nicht signifikant mit dem Sediment korreliert. Andere, noch unbekannte Umwelteinflüsse führen im „jüngerer“ Kernabschnitt zu einer Abnahme an Arten und Individuen und somit der Diversität.

Die non metric-multidimensional Scaling Analysis (nMDS) zeigt über alle untersuchten Fraktionen hinweg (*gesamt*, *groß* und *klein*) dass sich Layer

1 und Layer 5, auf die x-Achse bezogen, stets in einer Gruppe mit großem Abstand zu den anderen Layern befinden. Vor allem in der Fraktion *klein* ist diese Gruppierung sehr auffällig, zusammen mit Layer 15 befinden sich diese drei Layer in großem Abstand auf der x-Achse zu Layer 10, 20, 25 und 30. Der Rest der Layer gruppiert auffallend eng zusammen und lässt darauf schließen, dass sich diese in der Fraktion *klein* sehr ähnlich sind. Durch die Korrelation mit dem Sediment sind diese Gruppenverhältnisse jedoch nicht zu erklären, da weder die Artenanzahl, noch die Anzahl der Individuen in Fraktion *klein* mit den ermittelten Korngrößen korrelieren. Die Foraminiferenvergesellschaftung wird hier von einem nicht erfassten Parameter stark beeinflusst. Durch das Fehlen von Daten über andere Parameter, die eine benthische Foraminiferenvergesellschaftung beeinflussen können, ist es nicht möglich Aussagen darüber zu treffen, ob die Gruppierung von Layer 1 und 5 in den beiden anderen Fraktionen *groß* und *gesamt*, durch den selben unbekannt Parameter erklärt werden kann, oder nicht. Durch die Korrelationsanalyse zeigt sich jedoch, dass die Korngröße einen Einfluss auf die Artenzahlen bei diesen Größen und somit auch indirekt die Artenzusammensetzung hat. Daher lässt sie sich nicht als Erklärung für die Ähnlichkeit von Layer 1 und Layer 5 und für die Distanz in der Ähnlichkeit zu dem Rest der Layer ausschließen.

5.3 EIN VERGLEICH MIT DEM „ÄLTEREN“ TEIL DES KERNS

Kombiniert man die Daten des „jüngeren“ Kernabschnitts mit den Daten von Nagy (2019), erhält ein Bild über den gesamten Kern (Layer 70 – Layer 1). Dies zeigt in allen Diversitätsparametern (Artenzahl, Individuenzahl, Shannon Index, Evenness und Dominanz) starke Schwankungen über den Kern verteilt. Die Artenzahl zeigt keinen eindeutigen Trend. Wie Nagy (2019) in seiner Masterarbeit beschreibt, schwankt sie stark im „älteren“ Teil des Kerns und nimmt im oberen Bereich des „älteren“ Kernabschnitts in allen Fraktionen (*gesamt* >63µm, *klein* 125 – 63µm und *groß* >125 µm) leicht ab (Abbildung 16 A, B). Im hier beschriebenen „jüngeren“ Teil des Kerns kehrt sich dieser Trend jedoch um, die Artenzahl nimmt tenden-

ziell in Fraktion *gesamt* und *groß* wieder zu und erreicht ihr absolutes Maximum bei Layer 1. Ihr Minimum zeigt die Artenzahl in Fraktion *gesamt* bei Layer 35 im „älteren“ Abschnitt des Kerns, die Minima der Fraktion *groß* zeigen vergleichbar niedrige Werte für Layer 55 im „älteren“ Kernabschnitt und Layer 15 im „jüngeren“ Kernabschnitt. Die Fraktion *klein* weist über den gesamten Kern hinweg eine starke Diskrepanz zu den anderen beiden Fraktionen auf und hat ihr absolutes Minimum der Artenzahl bei Layer 5. Ihr Maximum ist bei Layer 45 im „älteren“ Kernabschnitt zu finden. Vergleicht man die Arten der beiden Kernhälften, wird deutlich, dass im „jüngeren“ Teil des Kerns ein Zuwachs an Arten von 13,73% zu beobachten ist. In diese Gruppe von Arten, die nur im hier beschriebenen, „jüngeren“ Abschnitt des Kerns zu finden sind, fallen hauptsächlich invasive Arten und diese konzentrieren sich vor allem auf die „jüngsten“ Layer (Layer 10 – Layer 1). Die Trendumkehr von einem fallenden Trend der Artenzahl im „älteren“ Abschnitt des Kerns, zu einem Zuwachs im „jüngeren“ kann nicht nur durch das Hinzukommen der invasiven Arten erklärt werden, da diese Umkehr bereits bei Layer 30 stattfindet, sondern muss zumindest noch andere Ursachen haben. Die Artenzahl korreliert im „älteren“ Teil des Kerns in keiner Fraktion mit den Sedimentkorngrößen (Nagy, 2019). Der Einfluss des Sediments ist also nur in der hier beschriebenen „jüngeren“ Kernhälfte für die Schwankungen in der Artenzahl verantwortlich. Durch den Mangel an alternativen Daten können die Schwankungen im „älteren“ Teil des Kerns nicht erklärt werden (Nagy, 2019), der stärkere Einfluss des Sediments auf die Artenzahl im „jüngeren“ Teil des Kerns, weist jedoch auf eine Änderung der Gesamtbedingungen hin. Vor allem werden die jüngsten Layer (Layer 1 – 15) stärker von den Korngrößen des Sediments beeinflusst (Zimmermann, 2019).

Die Individuenzahl über den gesamten Kern verteilt zeigt eine noch größere Schwankung. Das absolute Maximum liegt in der Fraktion *gesamt* im „älteren“ Kernabschnitt (in Layer 45) und sinkt ab da wieder in Richtung des „jüngeren“ Teil des Kerns stark ab, bevor sich die Individuenzahl bei Layer 20, 5 und 1 weitere Peaks zeigt, die jedoch nicht mehr die Höhe von Layer 45 im „älteren“ Teil des Kerns erreichen. Vergleicht man exempla-

risch allgemein den „ältesten“ Layer des Kerns (Layer 70) mit dem „jüngsten“ Layer des Kerns (Layer 1), kann man einen Anstieg der Individuenzahl, in der Fraktion *gesamt*, von 1867 Individuen pro 10 g Trockengewicht Sediment auf eine Individuenzahl von 6275 Individuen pro 10 g (Nagy, 2019) Trockengewicht Sediment erkennen. Einen steigenden Trend aus diesen Daten heraus zu lesen, wäre jedoch trügerisch, denn die in Abbildung 16 B gezeigten Schwankungen zwischen „ältestem“ und „jüngstem“ Ende des Kerns, lassen keinen deutlichen Trend erkennen. Eine Verfälschung des Signals ist durch eine schlechtere Erhaltung der Individuen im „älteren“ Kernabschnitt möglich. Es wurde im „älteren“ Kernabschnitt jedoch kein Verfahren zur Prüfung der Erhaltung angewendet (zum Beispiel die Suche nach zurückbleibenden organic Linings, wie in Murray, 2006 beschrieben), weshalb diese Erklärungsmöglichkeit nicht bewiesen oder widerlegt werden kann. Das Maximum der Individuenzahl, das im „älteren“ Kernabschnitt liegt, unterstützt diese Erklärung jedoch nur, wenn man starke Durchmischung des Sediments durch eine Datierung beweisen kann. Natürlich beeinflussen die starken Unterschiede in der Arten- und Individuenzahl der beiden Kernhälften auch die drei Diversitätsindizes Shannon Index, Dominanz und Evenness (Abbildung 17, A-C). Der Shannon Index schwankt über den gesamten Kern verteilt stark. Sein Minimum zeigt sich in allen Fraktionen im „jüngeren“ Kernabschnitt. Bei den Fraktionen *groß* bei Layer 30 und in der Fraktion *klein* bei Layer 5. Das Maximum ist jedoch auch im „jüngeren“ Abschnitt des Kerns zu finden. Über den gesamten Kern verteilt lässt sich beim Shannon Index kein klarer Trend erkennen. Die Evenness und die Dominanz schwanken über den gesamten Kern nur gering und zeigen ebenso keinen deutlichen Trend, doch weisen auf vergleichsweise stabile Bedingungen hin.

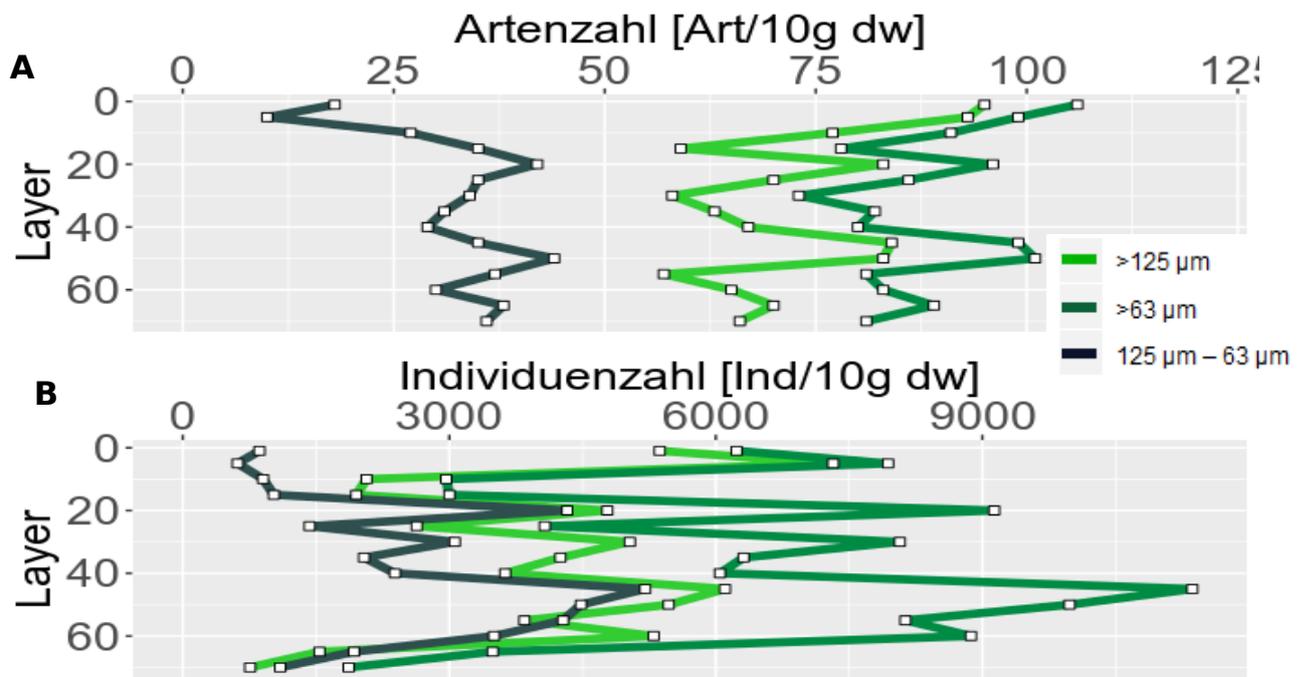


Abbildung 16 : Artenzahl (A) und Individuenzahl (B) über den Kern verteilt (Layer 1 - 70). Werte für den „älteren“ Teil des Kerns (Layer 35 - 70) wurden der Arbeit von Nagy (2019) entnommen.

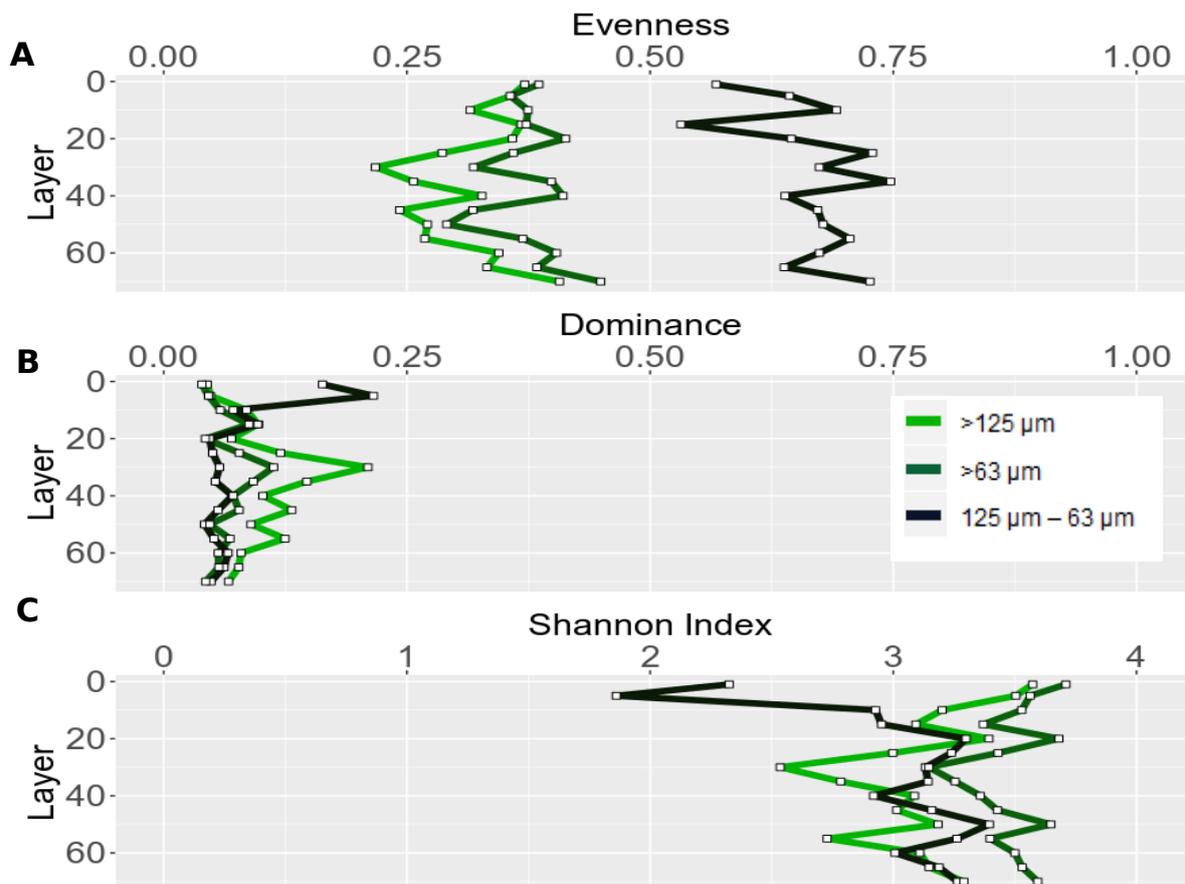


Abbildung 17: Evenness (A), Dominanz (B) und Shannon Index (C) über den Kern verteilt (Layer 1 - 70). Werte für den „älteren“ Teil des Kerns (Layer 35 - 70) wurden der Arbeit von Nagy (2019) entnommen.

5.4. DIE INVASIVEN ARTEN

In dem hier untersuchten Kernabschnitt wurden zehn invasive Foraminiferanarten gefunden: *Amphistegina lobifera*, *Haddonina* sp., *Nodophthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Heterostegina depressa*, *Pyrgo denticulata* und *Pararotalia calcaiformata*, *Pararotalia* sp., *Pseudomassilina australis*, sowie *Edentostomina cultrata*. Die höchste Individuendichte erreichen sie in den „jüngsten“ Layern (Layer 1 - Layer 10), doch einige wenige Individuen von *Heterostegina depressa* wurde auch noch bis Layer 25 gefunden. In der „älteren“ Kernhälfte tritt die Art *Haddonina* sp. jedoch auch noch in Layer 48 - 50 auf (Nagy, 2019). Der Status als invasiv ist jedoch nicht eindeutig (siehe Diskussion Nagy, 2019). Eine Erklärung für diesen Umstand muss erst gefunden werden, wobei das Durchführen einer Datierung der Sedimente unterstützend wirken würde. Auch wenn besonders *Hauerina diversa* und *Heterostegina depressa* in den jüngsten Layern (Layer 10 - 1) auf eine durchschnittliche Individuenzahl über 102 Individuen/10 g Sediment kommen, sind sie dennoch in keinem Layer die dominanteste Art.

5.5. EIN VERGLEICH MIT ANDEREN STUDIEN

Um die hier erhaltenen Ergebnisse in einen größeren Kontext zu setzen, wurde die „jüngere“ Kernhälfte mit anderen Studien aus dem Mittelmeer verglichen. *Hyams-Kaphzan und ihre Kollegen* veröffentlichten 2008 eine weitläufige Studie, deren Forschungsgebiet die gesamte israelische Küste bis Akhziv abdeckte. Der Süden der israelischen Küste hat einen hohen Anteil an quarzreichen Flussablagerungen, die von der Erosion des Nildelta stammen, während der Norden von lokalen Süßwasserquellen der levantinischen Ebene beeinflusst wird und aus kalkreichen, steinigen Sedimenten zusammen gesetzt ist (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Die Haifa-Bay bildet eine Grenzregion zwischen diesen beiden Einflusszonen (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Der Vergleich mit der von den Autoren beprobten Messstation Tira bietet sich an, da sie nur etwas südlich von der hier beschriebenen Probenahmestelle liegt und ebenso die Messwerte aus ~40 m Wassertiefe zeigt. Die Proben aus Tira wurden dem Sedimenttyp *siltischer Sand* zugeordnet und hatten einen Calciumcarbonat - Anteil von 12,1%, was von den Auto-

ren als, relativ zu nördlicheren Probenahmestellen, niedrigen Wert dargestellt wird (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Im Vergleich zu den nördlichen Teilen der israelischen Küste wird der Nil beeinflusste Süden als Region mit weniger stabileren Bedingungen eingeschätzt, da die starke Saisonalität zu Fluktuationen führt (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Die Autoren erklären, dass dies allgemein zu einer (relativ zum nördlichen Teil) niedrigen Artenzahl, Anzahl an Individuen und Evenness führt und in Folge zu einer erhöhten Dominanz. Hierbei muss jedoch der Tiefengradient berücksichtigt werden, den die Studie aufzeigt. Die Dominanz sinkt stark mit der Tiefe und alle 40 m Stationen (auch die in Tira) haben den niedrigsten Wert der Dominanz und den Höchsten Wert der Evenness. Dies wird durch stabilere Bedingungen in tieferem Wasser erklärt (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Auch ein Süd-Nord Gradient bei Artenzahl und Anzahl an Individuen ist zu beobachten (*Hyams-Kaphzan, 2008*).

Konkret ergaben die Analysen in Tira eine Artenzahl von 108 Arten pro Probe und eine Individuenzahl von 1021,2 Individuen/1 g Sediment (*Hyams-Kaphzan, 2008*). Zum Vergleich wurden die Werte von Layer 1 und 5, der Fraktion *gesamt*, der in dieser Masterarbeit untersuchten Proben des „jüngeren“ Kernabschnitts, ebenso auf 1 g Sediment herunter gerechnet und über alle Layer hinweg gemittelt (arithmetisches Mittel). Gerundet wurde kaufmännisch. Das Ergebnis dieser ersten 5 cm, des hier untersuchten Kerns, ergab eine Individuenzahl von durchschnittlich 711 Individuen/1 g Sediment. Vergleicht man diesen Wert mit der Tira Probe, passen diese Werte gut zueinander. Doch ist zu bedenken, dass die Studie von *Hyams-Kaphzan und ihren Kollegen* nur die Fraktion $>150 \mu\text{m}$ berücksichtigte, während in dieser Masterarbeit die gesamte Fraktion $> 63 \mu\text{m}$ herangezogen wurde. Die Diversitätsindizes (Shannon Index, Evenness, Dominanz) lassen sich aber dennoch gut mit denen von Tira vergleichen. Der Shannon Index liegt in den Tiraproben bei 3,5 (*Hyams-Kaphzan, 2008*) und deckt sich somit genau mit dem durchschnittlich errechneten Wert für den „jüngeren“ Teil des hier untersuchten Kerns, dessen Shannon Index bei 3,6 liegt. Die Tira Evenness mit 0,31 und Dominanz mit 10,7% (*Hyams-Kaph-*

zan, 2008) liegen ebenso nahe bei den hier errechneten Durchschnittswerten für Evenness (0,4) und Dominanz (4,3%).

Hyams-Kaphzan und ihre Kollegen (2008) definierten 27 Arten als dominant (über 5% der Probe ausmachend). In den Tiraproben waren 18 davon zu finden. Auch in dem hier untersuchten Kernabschnitt konnten fast alle dieser Arten gefunden werden, nur zwei waren nicht vorhanden.

Ammonia beccari und *Nubeculina divaricata* wurden in den hier untersuchten Layern nicht gefunden. *Ammonia beccari* hat jedoch eine sehr hohe morphologische Ähnlichkeit mit *Chellangerella bradyi* die durchaus häufig im „jüngeren“ Teil des Kerns identifiziert wurde (vergleiche dazu *Avnaim-Katav et al. 2013*). Eine falsche Identifizierung ist daher nicht auszuschließen, da ein Vergleich mit der Morphologie von *Ammonia beccari*, so wie sie sich in den Tiraproben darstellt, auf Grund der fehlenden bildlichen Dokumentation, nicht möglich ist. Auffällig ist auch, dass *Elphidium crispum*, die in dem hier untersuchten „jüngeren“ Teil des Kerns sehr häufig vorkommt (in Fraktion *gesamt* und *groß* ist sie unter den dominanten Arten und in Fraktion *gesamt* ist sie sogar die dominanteste Art, in den zum Vergleich mit Tira interessantesten Layern 5 und 1) in der Liste der 27 häufigsten Arten der Tiraproben gar nicht aufgenommen wurde. *Elphidium crispum* wird oft, wie andere epifaunale littorale Foraminiferen, mit dem Auftreten von Phytoplanktonblüten assoziiert, die das Wachstum und die Reproduktion dieser Foraminiferenart steuern (*Mayers, 1943*). Da die Blüten von Phytoplankton oft lokal und uneinheitlich auftreten, kann das zur Folge haben, dass die Abundanz von *Elphidium crispum* und anderen Foraminiferenarten ihrerseits lückenhaft und ungleichmäßig ausfällt (*Matera & Lee, 1972*). Dies kann ein Indikator dafür sein, dass es, im Verhältnis zu den Tiraproben, zu quantitativ größeren, oder regelmäßigeren Algenblüten in der Region des hier untersuchten Sedimentkerns kam. Vier andere Arten können in der hier untersuchten „jüngeren“ Kernhälfte gefunden werden, die jedoch zwar in der Liste der häufigsten Foraminiferenarten von *Hyams-Kaphzan und ihren Kollegen (2008)* vorkommen, doch nicht in den Tiraproben gefunden wurden. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um die potentiell invasiven Arten: *Amphistehina lobifera*, *Heterostegina depressa* und

Hauerina diversa, sowie der Gruppe *Reophax* spp., die im Mittelmeer heimisch ist.

Es ist bekannt, dass sich lessepsche Migranten im Mittelmeer langsam nach Nordwesten ausbreiten (*Langer et al., 2012*) und manche Gebiete von ihnen quantitativ schwerer betroffen sind als andere. Die Annahme, dass 2008 diese Wanderung noch nicht so fortgeschritten war, wie bei der Probenahme vor Antlit 2014 und sich deshalb in den Tiraprobe noch keine invasiven Foraminiferenarten finden lassen, ist jedoch ein Trugschluss. Die Daten der hier untersuchten Proben zeigen, dass man potentiell invasive Arten bereits in „älteren“ Layern als Layer 1 und Layer 5 finden kann. Durch die besonderen Ansprüche an Umweltparameter (besonders Sediment) lässt sich das Fehlen dieser Arten in den Tiraprobe besser erklären. Man findet dort sandig-siltiges Sediment (*Hyams-Kaphzan et al., 2008*), während die beschriebenen invasiven Arten Hartsubstrat mit einem hohen Karbonatanteil bevorzugen (*Hyams et al., 2002*).

Eine weitere Studie lässt Vergleiche mit dem hier untersuchten „jüngeren“ Teil des Kerns zu und zeigt, dass die in dieser Arbeit erhobenen Daten, nicht unüblich für das levantinische Meer sind. *Avnaim-Katav und Kollegen (2013)* analysierten Sedimente aus der Haifa Bay, welche sich etwas nördlicher als die hier untersuchten Probenahmeestelle befindet. Die Wassertiefe liegt bei 40m genau in dem Bereich, indem der Kern dieser Masterarbeit genommen worden war. Es wurden wieder nur die Oberflächenproben analysiert (die ersten 5 cm) und nur die Größenfraktion >150 µm untersucht. Dies führt wie beim Vergleich mit *Hyams-Kaphzan und ihren Kollegen (2008)* zu einer Ungenauigkeit, die man nicht vergessen darf, dennoch passen die in der Haifa Bay gefundenen 67 Arten (*Avnaim-Katav, 2013*), gut zu den hier beschriebenen 88 Arten. Die Evenness wurde auf 0,42 berechnet und die Dominanz auf 12,5% (*Avnaim-Katav, 2013*). Auch diese Werte weichen nur gering von den hier errechneten Werten für den „jüngeren“ Kernabschnitt ab und lassen darauf schließen, dass man den hier untersuchten Kern ohne Auffälligkeiten in den größeren Kontext des östlichen Mittelmeers setzen kann.

6. FAZIT

Die Untersuchung der Layer 30 bis 1 ergab den Fund von insgesamt 156 Arten. Eine Aufteilung auf die drei Schalentypen Sandschaler, hyaline Kalkschaler und Porzellanschaler, ergab, als Durchschnittswert über die gesamte „jüngere“ Kernhälfte gerechnet, einen Prozentsatz von 4% Sandschaler, 63% Porzellanschaler und 33% hyaline Kalkschaler. Zuwächse an dem prozentuellen Anteil der Individuenzahl in der Gruppe der Porzellanschälern, kann von dem „älteren“ Layer der Kernhälfte (Layer 30) zu den „jüngsten“ Layer (Layer 1) beobachtet werden. Dies geht mit der messbaren Erwärmung des Mittelmeers in der jüngeren Vergangenheit einher, das den Porzellanschälern bessere Lebensbedingungen in ihrem Habitat ermöglicht. Die Individuenzahl allgemein erreicht ein Maximum bei Layer 20 und zeigt in der Fraktion *gesamt* ($>63\mu\text{m}$) einen Wert von ~ 8000 Individuen/10 g Sediment. Die Anzahl der Individuen beschreibt starke Schwankungen über die gesamte „jüngere“ Kernhälfte hinweg und zeigt keinen eindeutigen Trend. Nach einem Vergleich mit anderen Studien aus der selben Region (*Jannink et al., 2001; Abu-Zied et al., 2007*) konnte die Nährstoffkonzentration als wichtiger Einflussfaktor festgemacht und die Schwankungen somit indirekt erklärt werden. Die Artenzahl erreicht in Fraktion *gesamt* bei Layer 1 ihr Maximum, mit einem Wert von knapp über 100 Arten/10g Sediment. Der allgemeine Trend zeigt eine steigende Tendenz der Artenzahl und diese konnte mit den Schwankungen der Korngrößen des Sediments korreliert werden. Eine positive signifikante Korrelation konnte zwischen der Artenzahl der Fraktion *groß* ($>125\mu\text{m}$) und der Korngrößenfraktion *grob* ($>500\mu\text{m}$) des Sediments festgestellt werden. Das Gegenteil, eine negative signifikante Korrelation, ergab die Datenlage aus der Artenzahl der *gesamten* Foraminiferenfraktion und der Korngrößenfraktion *fein* ($<63\mu\text{m}$) des Sediments. Ebenso verhielt es sich mit der Korngrößenfraktion *fein* und der Artenzahl der *großen* Foraminiferenfraktion. Die Schwankungen der Artenzahl über den Kern verteilt kann folglich mit der Veränderung des Sediments erklärt werden. Die Faunenzusammensetzung und die Diversitätsparameter sind vergleichbar mit anderen Studien aus dieser Region und der Wassertiefe von 40 m (*Hyams-Kaphzan, 2008; Avnaim-Katav,*

2013). Die Dominanz schwankt zwischen 0,05 und 0,24. Diese Werte zeigen eine Faunenzusammensetzung mit vielen seltenen und wenig dominanten Arten. Dies wird durch die Evenness unterstützt, die durchschnittlich bei 0,38 über die „jüngere“ Kernhälfte gemittelt liegt. Die Diversität, der Shannon Index, liegt durchschnittlich bei 3,5 und ist damit in einem typischen Bereich für das Mittelmeer.

Die Artenzusammensetzung wurde in einem nMDS analysiert mit dem Ergebnis, dass Layer 1 und Layer 5 in jeder Fraktionsgröße (>500µm, 500 – 125µm, 125 – 63µm) von den anderen Layern abwichen und miteinander eine Gruppe bildeten. Es wurden zehn Foraminiferenarten identifiziert, die als invasiv eingestuft werden können. Diese sind: *Amphistegina lobifera*, *Haddonina* sp., *Nodophthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Heterostegina depressa*, *Pyrgo denticulata* und *Pararotalia calcaiformata*, *Pararotalia* sp., *Pseudomassilina australis* und *Edentostomina cultrata*. Die höchste Abundanz zeigen die invasiven Arten in den „jüngsten“ Layern des Kerns (Layer 1 – Layer 10), doch einige wenige Individuen von *Heterostegina depressa* wurde auch noch bis Layer 25 gefunden. Die invasiven Arten, die in dieser Arbeit beschrieben wurden, lassen sich auch in den Studien anderer Autoren finden (*Zenetos et al., 2005; Hyams-Kaphzan, 2008; Zenetos et al. 2008; Zenetos et al., 2010; Zenetos et al., 2012*). Allgemein lässt sich sagen, dass die Foraminiferengesellschaft durch Nährstoffverfügbarkeit und der Beschaffenheit des Sediments beeinflusst wurde. Vor allem die Ursache für die deutliche Änderung der Korngröße in den „jüngsten“ Layern kann nur durch eine Datierung der Layer näher analysiert werden. Bekannt ist jedoch, dass der Bau des Assuan Staudamms in dieser Region einen großen Einfluss auf die rezente Ablagerung von Sedimenten und auf die Nährstoffverfügbarkeit ausübt und große Auswirkungen auf das Ökosystem mit sich brachte (*Sharaf El Din, 1977; Azov, 1991; Hyams-Kaphzan, 2008*). Foraminiferengesellschaften sind wie jeder andere Teil eines Ökosystems empfindlich bezüglich Änderungen der Umweltparameter, sei es Temperatur, Nährstoffzufuhr, Sedimenteigenschaften oder die Konkurrenz durch invasive Arten. Die Erforschung der Veränderungen der Foraminiferenvergesellschaftung in Bezug auf den Bau des Suez-Kanals und auch den Bau des

Assuan Staudamms, ist erst wenige Dekaden alt. In diesen wenigen Jahren konnte jedoch bereits eine große Einflussnahme invasiver Arten auf die levantinischen Foraminiferen bewiesen werden. Es ist wichtig die Untersuchungen weiter auszuweiten und einen Vergleich zwischen nativer und invasiver Fauna herzustellen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Abu-Zied R.H., Rohling E.J., Jorissen F.J., Fontanier C., Casford J.S.L., Cooke S., **2008** Benthic foraminiferal response to changes in bottom-water oxygenation and organic carbon flux in the eastern Mediterranean during LGM to Recent times, *Marine Micropaleontology* 67, pp. 46 – 68

Al-Kholy A.A., El Waleel S.K., **1975** Fisheries of the South Eastern Mediterranean Sea along the Egyptian coast, *Bull. Inst. Oceanographic Fish. A.R.A.*, Vol. 5, pp. 3 – 280

Armstrong H.A., Brasier M.D., **2005** *Microfossils*, Second Edition, Blackwell Publishing, Cornwall, pp. 142 – 188

Avnaim-Katav S., Almogi-Labi A., Sadler A., Sivan D., **2013** Benthic foraminifera as palaeoenvironmental indicators during the last million years in the eastern Mediterranean inner shelf, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 386, pp. 512 – 530

Azov Y., **1991** Eastern Mediterranean – A marine desert?, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 23, pp. 225 – 232

Ben-Tuvia A., **1966** Red Sea Fishes Recently Found in the Mediterranean, *Copeia* Vol. 1966, No. 2, pp. 254 – 275

Béthoux J.-P., Gentili B., Raunet J., Tailliez D. **1998** Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect, *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No.7, pp. 1023 – 1026

Bianchi C.N., Morri C., **2000** Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems, and prospects for future research. *Mar Pollut Bull* 40:367–376

Breithaupt H., 2003 Aliens on the shores. Biodiversity and national economies are being threatened by the invasion of non-native species. EMBO reports, Vol. 4, No. 6, pp. 547-550

Carlton J.T., 1989 Man's role in changing the face of the ocean: Biological invasions and implications for conservation of near-shore environments. Conservation Biology 3, pp. 265 - 273

Carlton J.T., Ruiz G.M., 2005 Vector science and integrated vector management in bioinvasion ecology: conceptual frameworks, Mooney HA, Mack R.N., McNeely J.A., Invasive alien species; a new synthesis, Washington, DC: Island Press

Cimerman F., Langer M.R., 1991 Mediterranean Foraminifera, Ljubljana, published as a common publication by the Slovenian Academy of Sciences and Arts, the Swiss Academy of Natural Sciences and the Scientific Research Center of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, ISBN 86 - 7131 - 053 - 1, pp. 210

Crall A.W., Meyerson L.A., Stohlgren T.J. 2006 Show me the numbers: what data currently exist for non-native species in the USA? Front Environ 4, pp. 414 - 18

De Biasi A. M., Aliani, S., 2003 Shallow-water hydrothermal vents in the Mediterranean sea: stepping stones for Lessepsian migration? in: Jones M.B., Ingólfsson A.; Ólafsson, E.; Helgason, G.V.; Gunnarsson, K.; Svavars-son, J. (eds) Migrations and Dispersal of Marine Organisms. Developments in Hydrobiology, Vol. 174, Springer, Dordrecht, pp. 37-44

Diz P, Francés G., Costas S., Souto C., Alejo I., 2004 Distribution of benthic foraminifera in coarse sediments, Ría de Vigo, NW Iberian Margin, Journal of Foraminiferal Research, Vol. 34, No. 4, pp. 258 - 275

El-Asmar H.M., 2002 Short term coastal changes along Damietta-Port Said coast northeast of the Nile Delta, Egypt, Journal of Coastal Research, Vol. 18, pp. 433 – 441

Fanos A.M., 1995 The Impact of Human Activities on the Erosion and Accretion of the Nile Delta Coast, Journal of Coastal Research 11(3), pp. 821 – 833, Fort Lauderdale (Florida), ISSN 0749-0208

Fröch L., 2020 Foraminifera assemblages from different hard substrates from the Eastern Mediterranean Sea, Israel – with a special focus on the distribution of non-indigenous species, Masterarbeit der Universität Wien

Galil B., 2008 Taking stock: inventory of alien species in the Mediterranean sea; Biological invasions, February 2009, Volume 11, Issue 2, pp 359-372

Galil B.S., Zenetos A., 2002 A sea changes - exotics in the Eastern Mediterranean Sea. Invasive Aquatic Species in Europe. Distribution, Impacts and Management p.325-336 E. Leppakoski, S., Gollasch & S. Olenin (Eds.), Dordrecht, Boston, London. Kluwer Academic Publishers

Gallmetzer I., Haselmair A., Stachowitsch M., Zuschin M., 2016 An innovative piston corer for large – volume sediment samples, Limnology and Oceanography – Methods, Vol. 10., pp. 698 – 717

Gerges M.A., 1976 The damming of the Nile River and its effects on the hydrographic conditions and circulation pattern in the Southeastern Mediterranean and the Suez canal, Symposium in the Eastern Mediterranean, IBP/PM UNESCO, pp. 177 – 191

Golani D., 2001 Impact of Red Sea Fish Migrants through the Suez Canal on the Aquatic Environment of the Eastern Mediterranean, Yale F& ES Bulletin, 103

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D., **2001** PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis, *Palaeontologia Electronica*, Vol. 4. No. 1, pp. 9

Hopkins T.S., **1978** Physical processes in the Mediterranean basins, *Estuarine Transport Processes*, *Marine Science*, No. 7

Hottinger L., Halicz E., Reiss Z., **1993** Recent foraminifera from the Gulf of Aqaba, Red Sea, *Academia Scientiarum et Artium Slovenica, Classis IV: Historia Naturalis*, Vol. 33, Ljubljana, pp. 179, 230 Bildtafel

Hyams O., Almogi-Labin A., Benjamini C., **2002** Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to fall-off of Nile-derived siliciclastics, *Israel Journal of Earth Science*, Vol. 51, 169-179

Hyams-Kaphzan O., Almogi-Labin A., Sivan D., Benjamini C **2008** Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to fall-off of Nile-derived siliciclastics, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, Stuttgart, Vol. 248, No. 3, pp. 315 – 344,

IUCN, **2003** An Assessment of Progress 2002: The IUCN Programme, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK., pp. 64

Jannink N.I., van der Zwaag G.J., Meulenkaam J.E., Almogi-Labin A., **2001** Seasonality, biodiversity and microhabitats in benthic foraminiferal communities, *Geologica Ultraiectina Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht* No. 203, pp. 182

Jorissen D.J., de Stigter H.C., Widmark J.G.V., **1995** A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats, *Marine Micropaleontology*, Vol, 26, Issues 1 – 4, pp. 3 – 15

Jorissen F.J., 1999 Benthic foraminifera microhabitats below the sediment-water interface, *Modern Foraminifera*, Springer, Dordrecht, ISBN 978-0-412-82430-2

Kenkel N.C., Orlóci L., **1986** Apply Metric and Nonmetric Multidimensional Scaling to Ecological Studies: Some New Results, *Ecology*, Vol. 67, pp. 919 – 928

Koukousioura O., Mimiza M.D., Triantaphyllou M.V., **2010** Alien foraminifera from Greek coastal areas (Aegean Sea, Eastern Mediterranean), *Mediterranean Marine Science*, 11(1), pp- 155 – 172

Kovalev A. V., 2006 On the problem of Lessepsian migrations of zooplanktonic organisms, *Mediterranean Marine Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 67-71

Kucera M., Siye L., Weiner A.K.M., Darling K., Lübbe B., Holzmann M., Pawlowski J., Schönfeld J., Morard R., **2017** Caught in the act: anatomy of an ongoing benthic-planktonic transition in a marine protist, *Journal of Planktonic Research*, Vol. 39, Issue 3, pp. 436 – 449

Langer M. R., Weinmann A. E., Lötters S., Rödder D, **2012** “Strangers” in Paradise: Modeling the biogeographic range expansion of the foraminifera *Amphistegina* in the Mediterranean Sea, *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 234 – 244

Loeblich A.R. Jr., Tappan H., **1988** Foraminiferal Genera and their Classification, Van Nostrand Reinhold Company, New York, Band 1: pp. 970, Band 2: 847 Bildtafel

Lui J.Y., 2008 Checklist of marine biota of China Seas, Science Press Beijing, ISBN 978 – 7 – 03 – 023722 – 4, pp. 1267

Matera N.J., Lee J.J., **1972** Environmental factors affecting the standing crop of foraminiferal in sublittoral and psammolittoral communities of a Long Island salt marsh, *Marine Biology*, Vol 14, pp. 89 – 103, Springer

Mayers E.H., **1943** Life Activities of Foraminifera in relation to marine ecology, *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 86, No. 3, pp. 439 – 458, JSTOR

Meric E., Acsar N., Bergin F., Yokes B., **2002** The proliferation of *Amphistegina* (Lessepsian migrants) population in the Three-Islands (Ücadalar, Antalya), a new observation from the Turkish Coast, *Workshop on Lessepsian Migration Proceedings*, No. 9, pp. 27 – 34

Meric E., Acsar N., Yokes B.M., Dincer F., **2014 a** Atlas of Recent Benthic Foraminifera from Turkey, *Micropaleontology*, Vol. 60, No. 3 – 4, pp. 211 – 398

Meric E., Avsar N., Yokes B., Brut I., Tas S., Eryılmaz M., Dincer F., Bircan C., **2014 b** Opinions and comments on the benthic foraminiferal assemblage observed around the mineral submarine spring in Kusadasi (Aydin, Turkey), *Marine Biodiversity Records*, Vol. 7., e103, p. 1

Meric E., Yokes M.B., Avsar K.N., Kirki-Elmas E., Dincer F., Karhan S.U., Kalkan E., Demir V., **2013** First report of *Pararotalia calcariformata* from the Hatay coastline (Turkey-north-eastern Mediterranean), *Marine Biodiversity Records*, Vol. 6, e31

Meric E., Yokes M.B., Avsar N., **2011** A new guest in Ilica Bay (Cesme-Izmir-Turkey), *Conscinospira acicularis*, *Marine Biodiversity Record*, 4:e94

Meric E., Yokes M.B., Avsar N., Bircan C., **2010** An oasis for alien benthic Foraminifera in the Aegean Sea, *Aquatic Invasions*, Vol. 5, Issue 2, pp. 191 – 195

Meric E., Yokes M.B., Avsar N., Dincer F., **2015** New Observations of Alien Foraminifera on the Turkish Coast of the Aegean Sea, International Journal of Environment and Geoinformatics, Vol 2, No 2, pp. 77 - 57

Merkado, G., Holzmann, M., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Pawlowski, J., Abdu, U., Almogi-Labin, A., Hyams-Kaphzan, O., Bakhrat, A., Abramovich, S., **2013** Molecular Evidence for Lessepsian Invasion of Soritids (Larger Symbiont Bearing Benthic Foraminifera), PloS ONE 8(10): e77725

Metcalf I., F.C.P. Spiller, B. Liu, H. Wu, K. Sashida **1999** The Palaeo-Tethys in East Asia, GEOSEA '98 Proceedings, Geol. Soc. Malaysia Bull. 43, pp. 131 - 143

Milker Y., Schmiedl G., **2012** A taxonomic guide to modern benthic shelf foraminifera of the western Mediterranean Sea, Palaeontologia Electronica, Vol. 15, Issue 2, 16A, pp. 134

Miller A.R., **1983** The Mediterranean Sea, Physical Aspects, Ecosystems of the world, Vol. 26, Estuaries and Enclosed Seas, Elsevier Scientific Publications, pp. 219 - 238

Molnar J. L., Ganboa R. L., Revenga C., Spalding M. **2008** Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity, The Ecological Society of America; Front Ecol Environ, 6(9): 485-492, doi:10.1890/070064; pp 485-492

Murray J.W., **1991** Ecology and paleoecology of Benthic Foraminifera, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, pp. 341

Nagy M., **2019** Untersuchung der benthischen Foraminiferenfauna im Zusammenhang mit der Lessepsschen Invasion: Analyse eines Sedimentkerns an der Mittelmeerküste Israels, Masterarbeit der Universität Wien

Nir Y., 1984 Recent sediments of the Israel Mediterranean continental shelf and slope, Ph.D. Dissertation, Göteborg University, Sweden, pp. 149

Nykjaer L., 2009 Mediterranean Sea surface warming 1985 - 2006 Climate Research. Vol. 39: 11 - 17, doi: 10.3354/cr00794

Olafz S.A., 2006 Taxonomy and distribution of the benthic foraminifera in the gulf of Iskebderun, Eastern Mediterranean, A Master Thesis Submitted to the graduate School of natural and applied Sciences of Middle East Technical University, pp. 306

Perslin A., Kit E., 1999 Longshore sediment transport on the Mediterranean coast of Israel, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, pp. 80 - 87

Por F. D., 2010 Climate Optimum rejuvenates the Mediterranean marine world, Integrative Zoology, Vol. 5, pp. 112 - 121

Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P., 1992 Numerical recipes in C: The art of Scientific computing, Second Edition, Cambridge University Press, pp. 994

Raitsos D.R., Beaugrand G., Georgopoulos D., Zenetos A., Pancucci-Papadopoulou A. M., Theocharis A., Papathanassiou E. 2010 Global climate change amplifies the entry of tropical species into the Eastern Mediterranean Sea, Limnol. Oceanogr., Vol. 55, No.4, pp. 1478 - 1484

Ricciardi A., 2004 Assessing species invasions as a cause of extinction. Trends Ecol Evol 19:619

Rilov G., Galil B. **2009** Marine bioinvasions in the Mediterranean Sea - History, distribution and ecology. Biological invasions in marine ecosystems ecological studies. Rilov, G. & Crooks, J. A. (Eds). Berlin, Springer-Verlag. pp. 549 - 575

Rohrlich, V., Goldsmith, V., **1984** Sediment transport along the southeast Mediterranean: a geological perspective. *Geo Mar. Lett.* 4, 99-103

Romano E., Bergamin L., Magno M.C., Ausili A., **2013** Sediment characterization of the highly impacted Augusta harbour (Sicily, Italy): modern benthic foraminifera in relation to grain-size and sediment geochemistry, *Environmental Science Processes & Impacts*, DOI: 10.1039/c3em30824c

Rstudio Team, **2016** Rstudio: integrated Development for R. Rstudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

Samir A.M., Abdou H.F., Zazou S.M., El-Menhawey W.H., **2003** Cluster analysis of recent benthic foraminifera from the northwestern Mediterranean coast of Egypt, *Éditions scientifiques et médicales Elsevier, Revue de micropaléontologie*, Vol. 46, pp. 111 - 130

Sgarella F, Zei M., **1993** Benthic foraminifera in the Gulf of Neapales (Italy): systematics and autoecology, *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 32, pp. 154 - 264

Sharaf El Din S.H., **1977** Effects of the Aswan High Dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast, *Limnology and Oceanography*, V. 22, No.2

Spellerberg I. F., Fedor P. J., **2003** A tribute to Claide Shannon (1916 - 2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the `Shannon - Wiener `Index, *Global Ecology & Biogeography*, Vol 12, pp. 177 - 179

Tapiero I., 2002 High-resolution paleoecologic and paleoclimatic changes of the Holocene, based on benthic foraminifera and sediments from the Mediterranean inner shelf, Israel - (English abstract) Master Thesis, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel, pp. 130

Thresher R.E., Kuris A.M., 2004 Options for managing invasive marine species, *Biol Invas* 6: pp. 295 - 300

Vergés A., Steinberg P.D., Hay M.E., Poore A.G.B., Campbell A.H., Ballesteros E., Heck K.L., Booth D.J., Coleman M.A., Feary D.A., Figueira W., Langlois T., Marzinelli E.M., Mizerek T., Mimby P.J., Nakamura Y., Roughan M., van Sebille E., Gupta A.S., Smale D.A., Tomas F., Wernberg T., Wilson S.K., **2014** The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts, *Royal Society*, Volume 281, Issue 1789

Wickham H., 2016 ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis, Springer-Verlag Newyork, pp. 276

Yanko V., Ahmad M., Kaminski M., **1998** Morphological deformations of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: Implications for pollution monitoring, *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 28., No. 3, pp. 177 - 200

Yokes M.B., Meric E., Avsar N., **2007** On the presence of alien foraminifera *Amphistegina lobifera* Larsen on the coast of the Maltese Island, *Aquatic Invasions*, Vol.2, Issue 4, pp. 439 - 441

Yokes M.B., Meric E., Avsar N., **2004** Expanded populations of *Amphistegina lobifera* from the Southwestern coast of Turkey, 4th International Congress `Enviromental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology`, pp. 232 - 233

Zenetos A., Cinar M., Pancucci-Papadopoulou M., Harmelin J., Furnari G., Andaloro F., Bellou N., Streftaris N., Zinrowius H., **2005** Annotated list of marine alien species in the Mediterranean with records of the worst invasive species Mediterranean Marine Science, Vol. 6, No. 2, pp. 63 - 118

Zenetos A., Gofas S., Russo G., Templado J., **2003** CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean, Volume 3: Molluscs. F. Briand (Ed.). Monaco: CIESM Publishers, 376p.

Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Cinar M.E., Garcia Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bileceno M., Froglija C., Siokou I., Violanti. D., Sfriso A., San Martin G., Giangrande A., Katagan T., Ballesteros E., Ramos-Espala A.A., Mastrototaro F., Ocana O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. 2010 Alien species in the Mediterranean Sea by **2010**. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial Distribution Mediterranean Marine Science, Vol. 11, 381 pp.

Zenetos, A., Gogas S., Morri C., Rosso A., Violanti D., Carcia Raso J.E., Cinar M.E., Almogi-Labin A., Ates A.S., Azzurro E., Ballesteros E., Bianchi C.N., Bilecenoglu M., Gambi M.C., Giangrande A., Gravili C., Hyams-Kaphzan O., Karachile P.K., Katsanevaskis S., Lipej L., Mastrototaro F., Mineur F., Pancucci-Papadopoulou M.A., Ramos Espalá A., Lipej L., Mastrototaro F., Mineur F., Pancucci-Papadopoulou M.A., Ramos Espalá A., Salas C., Dan Martín G., Sfriso A., Streftaris N., Verlaque M, 2012 Alien species in the Mediterranean Sea by **2012**. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways Mediterranean Marine Science, Vol. 13, No. 2, pp. 328 - 352

Zenetos, A., Meric E., Verlaque M., Galli P., Boudouresque C.-F., Giangrande A., Cinar M.E., Bilecenoglu M. **2008** Additions to the annotated list of marine alien biota in the Mediterranean with special emphasis on Foraminifera and Parasites Mediterranean Marine Science, Volume 9, No.1, pp. 119-165

Zhu C., Yu J., **2009** Nonmetric Multidimensional Scaling Corrects for Population Structure in Association Mapping With Different Sample Types, Genetics, Vol. 182, No. 3, pp. 875 - 888

Zimmermann K., **2019** Sedimentäre Veränderungen und ihr Einfluss auf die Foraminiferen des östlichen Mittelmeeres im zeitlichen Bezug zur Öffnung des Suezkanals, Masterarbeit der Universität Wien

Zvieli D., Kit E., Klein M., **2007** Longshore sand transport estimates along the Mediterranean coast of Israel in the Holocene, Marine Geology, Vol 238, pp. 61 - 73

8. ANHANG

8.1. KURZFASSUNGEN

8.1.1. KURZFASSUNG IN DEUTSCHER SPRACHE

Zahlreiche Studien belegen, dass durch den Bau des Suez-Kanals im Jahr 1869, eine Einwanderung von Organismen aus dem Roten Meer in das Mittelmeer möglich wurde. Die klimatischen Veränderungen, hervorgerufen durch die globale Erderwärmung, begünstigen diesen Faunenaustausch heutzutage zusätzlich. Auch Foraminiferen sind unter diesen einwandernden Organismen. Untersuchungen über die Ausbreitung und Etablierung von Lessepsschen Foraminiferen sind jedoch erst in den vergangenen Jahren aufgekommen. Es zeigte sich, dass die Einwanderung lessepsscher Arten ein fortlaufender Prozess ist. Der rezente Abschnitt dieses Prozesses soll in der hier vorliegenden Arbeit untersucht werden. Hierzu wurde ein Sedimentkern von der Israelischen Küste, nahe der Haifa Bay, aus 40 m Wassertiefe untersucht. Der Kern wurde in etwa 1 cm dicke Abschnitte unterteilt (Layer). Die „jüngere“ Hälfte dieses Kerns (Layer 30 – Layer 1) war hierbei der Abschnitt von Interesse, bei dem die Faunenzusammensetzung der benthischen Foraminiferen und ihr Zusammenhang mit dem einbettenden Sediment analysiert werden sollte. In grober Auflösung (nur jeder 5. Layer wurde untersucht), sollte ein Überblick über den aktuellen Stand des Einwanderungsprozesses gegeben werden. Hierfür wurde die gesamte Foraminiferenzusammensetzung untersucht (lebend und tot), bis zu einer Korngröße von $> 63 \mu\text{m}$. Die Parameter, die analysiert wurden, waren: Die Artenzahl pro Layer, die Anzahl an Individuen pro Layer, die Diversitätsindizes Dominanz, Evenness und der Shanon Index pro Layer sowie die Korngröße des Sediments. Das Ergebnis dieser Untersuchungen zeigte eine natürliche Veränderung der Faunenzusammensetzung, die signifikant durch die Veränderungen in den Korngrößenfraktionen des Sediments beeinflusst wird. Die Veränderungen in der Individuenzahl wurde durch Schwankungen in der Nährstoffverfügbarkeit erklärt. Es wurden insgesamt 156 Arten in dem hier untersuchten Kernabschnitt gefunden. Die Artenzahl schwankte stark und hat ihr Maximum mit knapp 100 Arten/10 g Sediment bei Layer

1, dem rezentesten Teil des Kerns. Hier wurden auch die meisten nicht heimischen Arten gefunden. Diese waren: *Amphistegina lobifera*, *Haddonina* sp., *Nodopthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Heterostegina depressa*, *Pyrgo denticulata*, *Pararotalia calcaiformata*, *Pararotalia* sp., *Pseudomassilina australis* und *Edentostomina cultrata*. Nicht heimische Arten kommen von Layer 1 bis Layer 25 vor, wobei sie zwischen Layer 1 und Layer 10 ihre maximalen Abundanzen erreichen. Die Lessepsschen Einwanderer sind in keinem Layer dominant, man kann also in der Wassertiefe von 40 m, nahe der Haifa Bay, noch nicht von einer Verdrängung heimischer Arten sprechen. Die Artenzahl insgesamt hat einen steigenden Trend mit zunehmend jüngeren Schichten. Die Individuenzahl schwankt stärker und lässt keinen Trend erkennen. Ihr Maximum hat sie bei Layer 20 mit ungefähr 8000 Individuen/10 g Sediment. Die Dominanz zeigt eine Faunenzusammensetzung mit vielen seltenen und wenig dominanten Arten. Sie schwankt zwischen 0,005 und 0,24. Die Evenness hat einen Durchschnittswert von 0,38 und der Shannon Index von 3,5 und zeigt dadurch eine diverse Fauna an. Die Ergebnisse der Diversitätsindizes sind mit denen anderer Studien vergleichbar. Das Verhältnis zwischen den Großgruppen Sandschalern, Porzellanschälern und Kalkschälern zeigt eine Zunahme der Porzellanschaler hin zu den „jüngsten“ Layern des Kerns, was sich mit den Beobachtungen anderer Studien deckt und vermutlich mit steigenden Temperaturen und dem Salzgehalt des Mittelmeers zusammenhängt.

Da vor der Fertigstellung dieser Arbeit noch keine Datierung der Sedimente vorlag, ist es nicht möglich, die starken Schwankungen in der Zusammensetzung der Sedimentkorngrößen zu erklären. Die Möglichkeit des Einflusses des Assuan Staudamms auf Sedimentablagerungen des Nil kann ohne Datierung nicht überprüft werden. Fest steht aber, dass die Veränderungen des Sediments den größten messbaren Einfluss auf die Foraminiferenzusammensetzung des untersuchten Kerns hat.

8.1.2. ABSTRACT IN ENGLISH

Numerous studies have shown that the construction of the Suez Canal in 1869 made it possible for multiple kinds of organisms to immigrate from the Red Sea to the Mediterranean Sea. The climatic changes in the Mediterranean Sea, caused by global warming, increase this exchange of fauna additionally. Foraminifera are among those immigrating groups. Only few studies have been conducted so far on the spread and establishment of Lessepsian foraminifera, and the ones that were published don't reach further than the last decade. However, it has already been shown that the immigration process of foraminifera is already far advanced. The aim of this work is to examine the recent stage of this ongoing process. For this purpose, a sediment core from the Israeli coast, near Haifa Bay, was analysed. The core was taken from a water depth of 40 m and divided into approximately 1 cm thick sections (layers). The "more recent" half of this core (layer 30 - layer 1) has been the focus of this master thesis. The faunal composition of the benthic foraminifera community and their correlation with the embedding sediment was analyzed. An overview of the current status of the immigration process was achieved by analyzing the most recent layers in a low resolution (only every 5th layer). Longshore sand transport estimates along the Mediterranean coast of Israel in the Holocene were examined). The entire composition of the foraminifera community was examined (living and dead), up to a grain size of $>63 \mu\text{m}$. In order to describe the discovered community, the following parameters were analysed: the number of species per layer, the number of individuals per layer, the diversity indices dominance, evenness and the Shannon index per layer, in addition to the grain size of the sediment. The results of these investigations showed a natural change in the fauna composition, which is significantly influenced by the changes in the grain size fractions of the sediment. The changes in the number of individuals were explained by fluctuations in nutrient availability. A total of 156 species was found in the "younger part" of the core. The number of species fluctuates strongly and has its maximum at layer 1 with almost 100 species / 10 g sediment, in the most recent part of the core. Non-native species were also most

abundant in this layer. The found non-native species were: *Amphistegina lobifera*, *Haddonina* sp., *Nodophthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Heterostegina depressa*, *Pyrgo denticulata*, *Pararotalia calcaiformata*, *Pararotalia* sp., *Pseudomassilina australis* and *Edentostomina cultrata*. Non-native species occur from Layer 1 to Layer 25, with their maximum abundance between Layer 1 and Layer 10. The Lesseps' immigrants are not dominant in any layer, which suggests that, in respect to the water depth and the location, no replacement of native taxa happened yet. The total number of species shows an increasing trend to younger layers. The number of individuals fluctuates more and shows no trend. It has its maximum at layer 20 with about 8000 individuals / 10 g sediment. The dominance shows a faunal composition with many rare and less dominant species. It fluctuates between 0.005 and 0.24. The Evenness has an average value of 0.38 and the Shannon Index of 3.5 and thus indicates a diverse fauna. The results of the diversity indices are comparable to those of other studies. The relationship between the major groups of agglutinated foraminifera, porcelainous foraminifera and hyaline foraminifera show an increase in porcelain tested foraminifera towards the "youngest" layers of the core, which is in line with the observations of other studies that show that the temperature and the salt concentration of the Mediterranean Sea increases. It is not possible to explain the strong fluctuations in the composition of the sediment grain sizes, since the sediments were not dated before the completion of this work. The possibility of the influence of the Aswan Dam on sedimentary deposits of the Nile cannot be verified without dating. However, what is certain, is that the changes in the sediment have the greatest measurable influence on the composition of the foraminifera of the examined core.

	Layer 1		Layer 5			Layer 10			Layer 15		Layer 20			Layer 25			Layer 30		
	500		500			500			125			500							
	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500µ m	125µ m	63µ m	>500µ m	500 – 125µm	125 – 63µm	>500 µm	125µ m	125 – 63µm	>500µm
Pyrgo oblonga	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pyrgo sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina aff seminula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Quinqueloculina berthelotiana	16	0	0	1	1	0	8	3	0	0	0	1	0	3	0	0	4	1	0
Quinqueloculina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina bosckiana	0	0	3	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0
Quinqueloculina cf berthelotiana	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina aff disparilis	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Quinqueloculina cf jugosa	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina aff lamarckiana	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina cf tenuicollis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quinqueloculina disparilis	25	6	0	66	4	0	14	4	1	4	0	1	28	1	0	11	0	0	12
Quinqueloculina jugosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Quinqueloculina laevigata	0	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
Quinqueloculina lamarckiana	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pseudotriloculina limbata	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

	Layer 1		Layer 5			Layer 10			Layer 15			Layer 20			Layer 25			Layer 30	
	500		500			500			500			125			500				
	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500µ m	125µ m	63µ m	>500µ m	500 – 125µm	125 – 63µm	>500 µm	125µ m	125 – 63µm	>500µm
Siphonaperta sp 1	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Siphonina reticulata	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Siphotextularia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Sphaerogypsina globula	14	0	0	17	0	0	9	0	0	4	0	0	17	1	0	10	0	0	9
Spiroloculina aff dilatata	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina aff excavata	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina aff excisa	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina angulata	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina angulosa	5	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Spiroloculina attenuata	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Spiroloculina cf angulosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina cf communis	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina cf dilatata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Spiroloculina communis	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina depressa	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina dilatata	8	1	0	12	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	5	0	0	5
Spiroloculina excavata	1	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Spiroloculina excisa	11	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina sp 1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina sp 3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Spiroloculina spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Spirophthalmidium acutumargo	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0
Spirophthalmidium sp 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	5	0
Textularia sagittula	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

	Layer 1		Layer 5			Layer 10			Layer 15			Layer 20			Layer 25			Layer 30	
	500		500			500			500			125			500				
	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500 µm	125 µm	125 – 63µm	>500µ m	125µ m	63µ m	>500µ m	500 – 125µm	125 – 63µm	>500 µm	125µ m	125 – 63µm	>500µm
Spirothalmidium cf sp 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Spirothalmidium sp 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0
Svratkina tuberculata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Stomatorbina concentrica	1	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Textularia bocki	9	14	0	37	22	3	6	6	0	2	9	2	1	7	1	2	7	6	9
Textularia cf truncata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Textularia sp 1	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Textularia sp 2	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Textularia spp	0	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Textularia truncata	2	24	0	0	12	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0	0	5	0	0
Triloculina aff marioni	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Triloculina cf marioni	22	23	0	0	12	0	11	4	0	4	4	0	7	1	0	7	4	0	0
Triloculina cf tricarinata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Triloculina marioni	22	15	0	73	17	0	21	15	1	6	0	0	7	8	0	3	6	0	0
Triloculina sp 1	14	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
Triloculina sp 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Triloculina sp 3	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Triloculina sp 4	0	0	0	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	0	0	2
Triloculina spp	4	9	0	0	19	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
Triloculina tricarinata	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uvigerina sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Vertebralina striata	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wellmanellinella sp	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wellmanellinella striata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	1
Spirulina sp	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Milioloidea spp	31	12	0	128	24	0	38	0	0	5	0	0	12	0	0	3	0	0	0

	Layer 1			Layer 5			Layer 10			Layer 15			Layer 20			Layer 25			Layer 30
	500			500			500			125			500	125			500		
	–			–			–			–			–				–		
	>500	125	125 –	>500	125	125 –	>500	125	125 –	>500	125	63	>500	500 –	125 –	>500	125	125 –	>500
	µm	µm	63µm	µm	µm	63µm	µm	µm	63µm	m	m	m	m	125µm	63µm	µm	m	63µm	>500µm
Rotaliida spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miniacina miniacea (Bruchstücke)	8	0	0	11	0	0	307	0	0	0	0	0	215	0	0	182	0	0	690

8.2.2. Splits

Tabelle 7: Größe der untersuchten Splits. Nur die Fraktionen 500 – 125 µm und 125 – 63 µm wurden gesplittet.

	Layer 1	Layer 5	Layer 10	Layer 15	Layer 20	Layer 25	Layer 30
Split	1/64	1/64	3/128	1/32	1/64	1/64	1/64

8.2.3. Sedimentdaten

Tabelle 8: Masse der Sedimentfraktionen.

Layer	Probe [g]	Grob (>500µm) [g]	Fein (500 – 63µm) [g]	Ton (<63 µm) [g]
1	47,6992	36,3160	8,9532	2,1300
2	32,2604	25,7284	6,8824	0,5572
3	39,9163	31,7202	7,3831	0,813
4	39,7848	31,4741	7,6477	0,663
5	47,3533	33,412	12,07	1,8691
6	47,7913	34,9639	10,5261	2,3013
7	43,8275	28,5818	8,9823	6,2634

Layer	Probe [g]	Grob (>500µm) [g]	Fein (500 - 63µm) [g]	Ton (<63 µm) [g]
8	41,5461	21,8996	6,4633	13,1832
9	39,1221	17,1646	4,1854	17,7721
10	43,9988	17,6844	4,4727	21,8417
11	35,2216	14,062	3,911	17,2486
12	38,5655	12,4796	3,5076	22,5783
13	44,5163	11,5409	4,1766	28,7988
14	38,7209	10,147	3,5092	25,064
15	37,5325	10,5505	3,1605	22,8984
16	41,7653	11,8656	4,2495	25,6502
17	45,7651	7,4551	5,7413	32,5687
18	41,9462	8,7652	5,8674	27,3136
19	49,8382	16,1534	7,3099	26,3749
20	33,7023	13,3	61	14,3
21	32,3036	2,5671	3,1319	26,6046
22	39,4318	6,9239	4,758	27,7499
23	46,2641	12,1282	8,1323	26,0036
24	48,0569	11,0739	9,0287	27,9543
25	53,8739	11,2734	8,7304	33,8701
26	44,2297	11,0258	7,3378	25,8661
27	39,7933	8,024	6,9769	24,7924
28	47,0372	10,5053	7,5028	29,0291
29	44,844	8,3487	7,6754	28,8199
30	34,0583	4,9909	5,9143	23,1531

