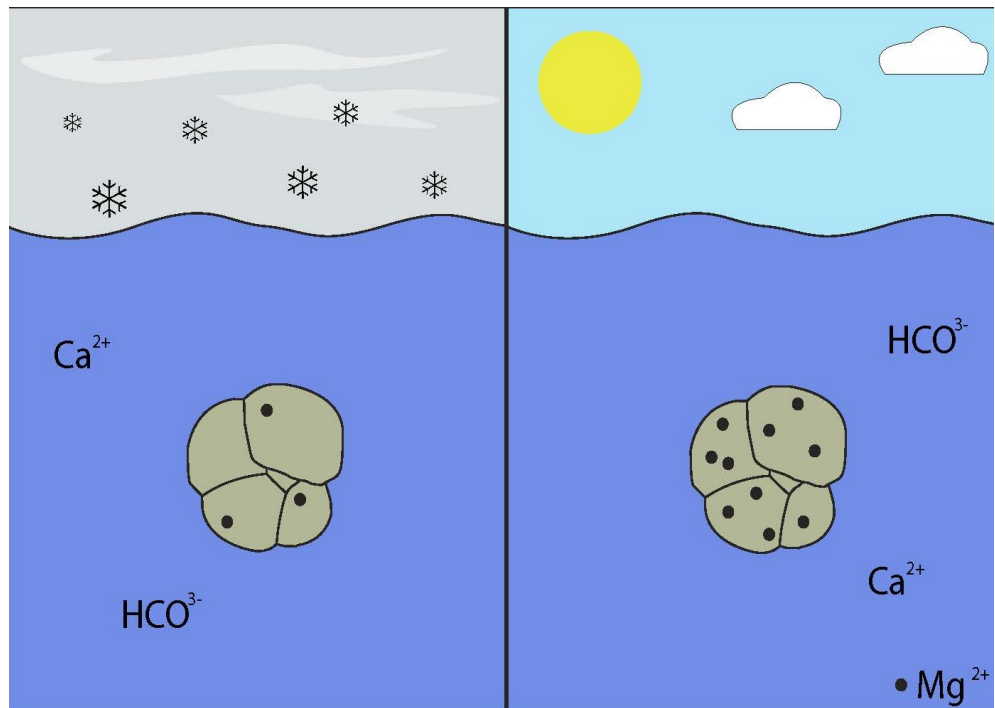


# Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperatu- rer nära 0°C

***Hannes Pilser***

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 539  
(15 hp/ECTS credits)





# **Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperaturer nära 0°C**

Kandidatarbete  
Hannes Pilser

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2018

# Innehåll

<b>1. Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1 Syfte	7
1.2 Om Foraminiferer	7
1.2.1 Foraminiferer	7
1.2.2 Bentiska foraminiferers uppbyggnad	7
1.2.3 Föda	8
1.2.4 Reproduktion	8
1.2.5 Habitat	9
1.2.6 Skalets tillväxt	10
1.2.7 Skalets funktion	10
1.2.8 Skalets sammansättning	10
1.2.9 Kammare	11
1.3 Spårelement	12
1.3.1 Mg/Ca kvoten och faktorer som påverkar	12
1.4 Rengöring av skalen	13
1.5 Bentiska foraminiferer	13
<b>2. Metod</b>	<b>13</b>
<b>3. Resultat</b>	<b>14</b>
3.1 <i>Cassidulina neoteretis</i>	15
3.2 <i>Cibicidoides mundulus</i>	16
3.3 <i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	16
3.4 <i>Melonis barleeaanum</i>	17
3.5 <i>Melonis pompilioides</i>	17
3.6 <i>Nonionellina labradorica</i>	17
3.7 <i>Oridorsalis umbonatus</i>	18
3.8 <i>Quinqueloculina arctica</i>	18
<b>4. Diskussion</b>	<b>19</b>
4.1 Faktorer som kan påverka Mg/Ca kvoten hos foraminifererna	19
4.2 <i>Cassidulina neoteretis</i>	20
4.3 <i>Cibicidoides mundulus</i>	20
4.4 <i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	21
4.5 <i>Melonis barleeaanum</i>	21
4.6 <i>Melonis pompilioides</i>	21
4.7 <i>Nonionella labradorica</i>	21
4.8 <i>Oridorsalis umbonatus</i>	21
4.9 <i>Quinqueloculina arctica</i>	22
4.10 Jämföra med andra studier	22
4.11 Reflektion	22
<b>5. Slutsats</b>	<b>22</b>
<b>6. Tackord</b>	<b>24</b>
<b>7. Referenser</b>	<b>24</b>

**Omslagsbild:** Magnesiumupptaget i foraminiferers skal är temperaturberoende. Bild: modifierat från Kelsey Winsor, <https://foramsetal.wordpress.com/research/mgca-paleothermometry>.

# Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperature nära 0°C

HANNES PILSER

Pilser, H., 2018: Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperature nära 0°C. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 539, 27 sid. 15 hp.

**Sammanfattning:** Klimatet på jorden ändras hela tiden och temat klimatförändringar är mer aktuellt än någonsin. För att förstå vilka konsekvenser klimatförändringarna har är det viktigt att förstå hur klimatet påverkades förr av uppvärmning eller avkylning. För att utröna detta används olika proxymetoder. Under senare år har man insett att Mg/Ca kvoten i skalen hos bentiska foraminiferer är en användbar proxymetod. Det beror på att magnesiumupptaget i skalen är temperaturberoende och därför ger en direkt koppling till havstemperaturen. Det är väl accepterat att Mg/Ca kvoten är högre i varmare vattentemperaturer och lägre i kallare. Förhållandet mellan Mg/Ca kvoten och temperaturen är av exponentiell form. Efter några års användning av denna proxymetod insåg man att magnesiumupptaget inte enbart beror på temperaturen och att flera faktorer såsom salinitet, karbonatjonkoncentrationen i havet, diagenes, vitaleffekter och foraminiferernas levnadssätt kan påverka Mg/Ca kvoten. Då förhållandet är exponentiellt sker inga större förändringar av Mg/Ca kvoten vid låga temperaturer, men påverkande faktorer kan ge upphov till avvikande värden och därmed försämra trovärdigheten särskilt vid låga temperaturer. I denna litteraturstudie hämtades, med hjälp av databaser, värden på Mg/Ca kvoter för åtta olika bentiska foraminiferarter: *Cassidulina neoteretis*, *Cibicidoides mundulus*, *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Melonis barleeanum*, *Melonis pompilioides*, *Nonionellina labradorica*, *Oridorsalis umbonatus* och *Quinqueloculina arctica*. Jämförelse gjordes därefter för att se huruvida arterna är lämpade som temperaturproxy vid temperaturer nära noll grader. Resultaten visar främst att effekter av karbonatjonkoncentrationen påverkar många arter, men de som lever i sedimenten är nästintill skyddade från sådana effekter. Därav anses Mg/Ca kvoten hos *N. labradorica* och *O. umbonatus*, som lever i sedimenten, som mest lämpliga för rekonstruktion av havstemperaturen vid låga temperaturer. Alla arter tar upp olika mycket magnesium i skalen och påverkas inte på samma sätt av de olika faktorerna. I vissa fall visar det sig att Mg/Ca kvoten hos vissa arter inte alls är temperaturberoende. Därav bör fler experiment utföras för enskilda arter för att sedan bedöma om Mg/Ca kvoten är temperaturberoende och till vilken grad olika faktorer påverkar skalets magnesiumupptag. Därefter kan resultaten appliceras på verkliga provtagningar och osäkerhet i klimatrekonstruktionen kan anges med större precision och noggrannhet.

**Nyckelord:** bentiska foraminiferer, Mg/Ca, paleotemperatur, låga temperaturer, magnesium.

**Handledare:** Helena L. Filipsson

**Ämnesinriktning:** Kvärtärgeologi

*Hannes Pilser, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: hannes.pilser@gmail.com*

# Mg/Ca in benthic foraminifera, specifically regarding temperatures close to 0°C

HANNES PILSER

Pilser, H., 2018: Mg/Ca in benthic foraminifera, specifically regarding temperatures close to 0°C. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 539, 27 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

**Abstract:** The climate on earth is continuously changing, and climate change discussions are more relevant than ever. To understand the consequences of climate change one has to understand how the climate responded to changes in temperature in the past. Different proxy methods can be used to determine these changes. During later years, researchers have discovered that the Mg/Ca ratio in benthic foraminifera is a relevant proxy method. The magnesium intake in these organisms is temperature dependent, and thus forms a direct connection to seawater temperature. It is widely accepted that the Mg/Ca ratio is higher for warmer than colder waters. The ratio of magnesium intake and water temperature are described exponentially. However, the Mg/Ca ratio is more complex than previously thought and could be affected by several factors such as salinity, carbonate ion concentration, diagenesis, vital effects and their habitat. Due to the exponential form, the Mg/Ca ratio is not greatly affected by low temperatures. Therefore, the influence of these factors can lead to anomalies in the ratio and thereby reduce the reliability of this proxy method. This study, has used the Mg/Ca ratios from eight benthic foraminifera (retrieved from several scientific reports): *Cassidulina neoteretis*, *Cibicidoides mundulus*, *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Melonis barleeanum*, *Melonis pompilioides*, *Nonionella labradorica*, *Oridorsalis umbonatus* and *Quinqueloculina arctica*. A comparison between these species was done in order to distinguish which of them is the most reliable as a proxy for low temperatures. The results show that effects of the carbonate ion concentration affect most of the species. However, it also shows that species with an infaunal habitat are less likely to be affected. Therefore, Mg/Ca ratios in the infaunal species *N. labradorica* and *O. umbonatus* are the most reliable as a proxy for paleotemperature at low temperatures. All species take in different amounts of magnesium in their shell and are affected differently by various factors. In some cases, the Mg/Ca ratio is not at all affected by temperature. It is therefore necessary to perform experiments of individual species in order to determine if the Mg/Ca ratio is temperature dependent or not, and to what extent different factors affect the incorporation of magnesium in their shell. The results from these experiments could be applied to real samples, and it would increase the precision and accuracy of climate reconstructions.

**Keywords:** benthic foraminifera, Mg/Ca, paleotemperature, low temperatures, magnesium.

**Supervisor:** Helena L. Filipsson

**Subject:** Quaternary Geology

Hannes Pilser, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: [hannes.pilser@gmail.com](mailto:hannes.pilser@gmail.com)

# 1 Introduktion

## 1.1 Syfte

Det är välkänt att klimatet ändras, framför allt på grund av människans påverkan. Det är därför av stor betydelse att veta hur klimatet har varierat, särskilt på höga latituder eftersom det är i de områdena som påverkan är och kommer vara som tydligast. Att analysera förändringar i det förflutna kan hjälpa oss att förstå konsekvenserna av klimatförändringarna i modern tid. Mg/Ca kvoten i skalen hos foraminiferer är en värdefull metod för att återskapa forntida vattentemperaturer. Kvoten är temperaturberoende och avspeglar alltså förändringar i havstemperaturen.

Denna litteraturstudie fokuserar på Mg/Ca kvoten hos olika arter av bentiska (bottenlevande) foraminiferer i temperaturer nära noll grader. Sedan tidigare är det välkänt att Mg/Ca kvoten är mer eller mindre representativ för höga temperaturer, då kurvan för Mg/Ca kvoten är exponentiellt växande. Studien går ut på att sammanställa data över Mg/Ca kvoten bland olika arter och sedan jämföra dem och diskutera huruvida Mg/Ca kvoten är representativ för temperaturer nära noll, såsom den till stor del anses vara för höga temperaturer, samt om någon art är lämplig som proxy för paleotemperatur.

## 1.2 Om Foraminiferer

### 1.2.1 Foraminiferer

Foraminiferer är en grupp encelliga organismer (Haynes 1981c; Gupta 1999b; Armstrong & Brasier 2005) som vanligtvis är av storleksordningen 0,2-2mm (Murray 1991b). Systematiken för foraminiferer är komplex då forskare har olika åsikter om hur gruppen *foraminifera* ska delas in. För den här litteraturstudien används Armstrong & Brasier's (2005) klassifikation av foraminiferer; Kingdom: *Protozoa*, Phylum: *Sercoquina*, Class: *Rhizopoda*, Order: *Foraminifera* (Armstrong & Brasier 2005). Det finns både planktiska och bentiska foraminiferer där majoriteten av arterna är bentiska, runt 5000 arter (Murray 1991b). Gruppen är mångfaldig och de första bentiska fossilerna hittades i kambriska sediment (545 miljoner år) (Gupta 1999a; Armstrong & Brasier 2005). Foraminiferer har en stor global utbredning och kan återfinnas både i vattenmassan (planktiska) och på/i havsbotten på alla latituder. Därmed varierar livsmiljön för olika arter, vilket tyder på att de har en tendens att lätt anpassa sig till olika förhållanden såsom temperatur, salinitet, pH med mera (Gupta 1999a; Armstrong & Brasier 2005). Omgivningen som

foraminifererna bygger sina skal i är ofta representativ för den miljö de lever/levde i. Skalen kan därmed sägas, representerar deras miljö och vattnets sammansättning. Av denna anledning används foraminiferers skal för att rekonstruera exempelvis paleotemperaturen i haven (Armstrong & Brasier 2005).

### 1.2.2 Bentiska foraminiferers uppbyggnad

Cellen skyddas från omgivningen av ett skal (test). Figur 1 visar en schematisk bild på hur en foraminifer kan se ut. Utsidan av skalet består av ett tunt lager av ektoplasma. Ektoplasman i sin tur utgör den mångfunktionära och mobila pseudopodian (Haynes 1981c; Armstrong & Brasier 2005). Skalet har en öppning, *apertur* (figur 2), vilket ger cellen möjlighet att kommunicera med omgivningen genom reproduktion, avföring och föda (Hallock et al. 1991). Det är även genom aperturen som pseudopodian sträcker sig ur. Skalet omger i sin tur den inre delen av cellen innehållande de vanligaste organellerna såsom cellkärna, mitokondrier, ribosomer, golgiapparater och "mat"-vakuoler som innehåller föda som cellen tar upp (figur 1 & 2) (Armstrong & Brasier 2005). Enligt Haynes (1981c) och Armstrong & Brasier (2005) har bentiska foraminiferer minst en cellkärna men flera cellkärnor kan förekomma. Vidare beskriver Haynes (1981c) organellernas olika funktioner. Cellkärnan innehåller kromosomer och därmed arvsmassa som förs vidare till framtida generationer. Mitokondrien står för cellens ATP-produktion (adenosintrifosfat) och tillför energi vid behov. Proteinsyntesen sker i cellens ribosomer (Haynes 1981c). Paketering av proteiner samt framställningen av polysackarider sker i golgiapparaten. Anderson & Lee (1991) tillägger att golgiapparaten även har en förmåga att skicka ut vesiklar och att cellens cytoskelett tillför stadga till pseudopodian. Utöver nämnda organeller finns andra närvarande organeller såsom lysosomer, peroxisomer och fibrillära kroppar med mera (Anderson & Lee 1991). Dock anses dessa inte aktuella för den här litteraturstudien.

För foraminifererna är pseudopodian en vital del då den ger möjlighet att interagera med omgivningen. Den används för föda, mobilitet, fäste och skydd, men även som respiration och till viss del för reproduktion (Goldstein 1999).

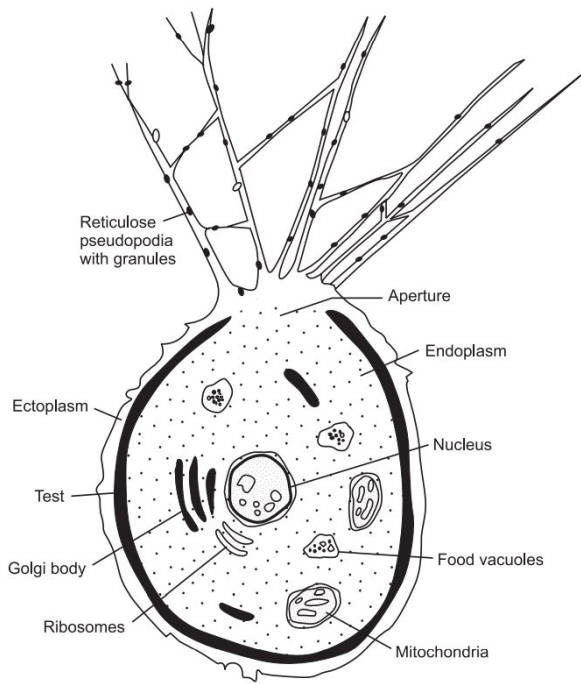


Fig. 1. Schematisk bild på hur en foraminifer kan vara uppbyggd. Bilden visar foraminiferens skal, pseudopodia och de viktigaste organellerna som finns närvarande i en foraminifer. Bilden är tagen från sida 143 i Armstrong & Brasier (2005).

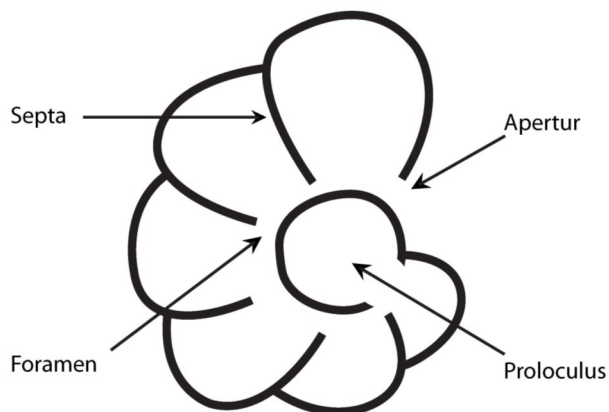


Fig. 2. Viktiga morfologiska termer hos foraminiferer. Bilden är modifierat från: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foraminifera\\_scheme.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foraminifera_scheme.svg).

### 1.2.3 Föda

Födan mellan de olika arterna inom gruppen Foraminifera är varierad och består i huvudsak av alger, bakterier, kiselalger, sjögräs, kelp, hoppkräftor, larver, andra foraminiferer, sjöborrar och organiska restprodukter (Haynes 1981c; Murray 1991b; Murray 1991a).

Den varierande livsmiljön bland foraminiferer har gett upphov till olika strategier vad gäller födoupptaget. Murray (1991a) beskriver flera så-

dana strategier: filtrering, växtätande, köttätande, parasitism, allätare, upptag av dött organiskt material och upptag av upplöst organiskt material (dissolved organic material, DOM) (Murray 1991a). Filtrerande foraminiferer livnär sig på näringsämnen och föda som befinner sig och lever i vattenrymden. Även om pseudopodien till viss del kan orsaka rörelser i vattenrymden och på så vis ta upp näringsämnen så är den metoden inte effektiv. Därför är de beroende av strömmar som för näringsämnen mot dem där pseudopodien fungerar som ett nät och på så sätt tar upp födan (Murray 1991a). Enligt Murray (1991a) finns det aktiva och passiva växtätare. De aktiva växtätande foraminifererna sträcker ut pseudopodien i olika riktningar medan de samlar in födan, samtidigt som de rör sig långsamt över platsen som föder dem. Sessila former som inte har förmågan att röra sig fritt utgör de passiva växtätarna. Dessa livnär sig på det som finns tillgängligt runt deras omgivning (Murray 1991a). Köttätande foraminiferer vidgar ut sitt pseudopodia i form av ett nät som födan fångas i. Dessa köttätande foraminiferer kan livnära sig på organismer större än de själva, såsom sjöborrar. Dessutom livnär de sig ibland på andra foraminiferer (Murray 1991a). Vissa av foraminifererna är dessutom parasiter och äter andra organismer (Murray 1991a).

Viktigt att påpeka är att foraminiferer även kan vara allätare, det vill säga de begränsar sig inte till en typ av föda. De kan vara selektiva, men också icke-selektiva, beroende på miljö och tillgång till föda (Murray 1991a).

### 1.2.4 Reproduktion

I likhet med foraminiferers systematik råder det oklarheter till foraminiferers livscyklar/reproduktion (Murray 1991a). Av alla 5000 arter känner vi endast till livscyklar av mindre än 30 arter. Dessa är dock väl dokumenterade (Goldstein 1999). Den klassiska livscykeln är dimorfism, vilket innebär en växling av sexuella (gamot) och asexuella (agamot) generationer (figur 3). Dock finns det arter som endast reproducerar asexuellt (Murray 1991a) och andra som har en tredje generation och alltså reproduceras genom trimorfism (e.g. Armstrong & Brasier 2005). Vidare nämner Lee et al. (1991) andra livscyklar: paraklassisk (gamatogamisk), paraklassisk (autogamisk), paratrimorfisk, apogamisk, gamisk och metagenisk (Lee et al. 1991). Foraminiferer producerar avkomman i stora mängder men endast få överlever. Vanligtvis lever foraminiferer mer än ett halvår men efter reprodukti-



ion dör individerna. Större arter kan dock leva upp till fem år (Murray 1991b).

Foraminiferers livscykel karakteriseras vanligtvis av *dimorfism*, som tidigare nämnt. Mellan dessa generationer finns det distinkta skillnader. Vid tillväxt av de olika generationerna benämns den initialt bildade kammaren *proloculus*, se figur 2. Hos gamot är proloculus större och därför kallas *megalospheric*, medan proloculus hos agamot är mindre och benämns *microspheric*. Andra skillnader är att gamot generationen är mer vanligt förekommande och är mindre jämfört med agamot (Haynes 1981c; Goldstein 1999; Armstrong & Brasier 2005). Gamot generationen är haploid och har enligt Haynes (1981c) en cellkärna. Efter att cytoplasman dras in i skalén splittras den och gameter bildas genom mitos i en process kallad gametogenes, se figur 3. Gameter är haploida könsceller med två flageller som frigörs från föräldern till vattenrymden, där de sedan slås ihop med andra gameter. När två gameter slås ihop bildar de en diploid zygot som sedan växer, bildar en proloculus och så småningom blir en agamot. Till skillnad från gamot är agamot generationen diploid och har enligt Haynes (1981c) flera cellkärnor. Den asexuella reproduktionen hos agamot påbörjas även med tillbakadragning av cytoplasman och haploida köns-

ler, så kallade *young*, bildas sedan genom meios och *multiple fission* (figur 3). Dessa avslutar sedan livscykeln genom att de växer till att bli en gamot (Haynes 1981c; Goldstein 1999; Armstrong & Brasier 2005).

Lee et al. (1991) och Armstrong & Brasier (2005) nämner en tredje generation *trimorfism* som vissa arter genomgår. Denna generation heter schizont (figur 3) och är efter agamot generationen. Schizont generationen är *megalospheric*, har en större proloculus än både gamot och agamot generationen, reproducerar sexuellt, har flera cellkärnor, är diploid och reproduceras som agamot generationen utan att genomgå meios (Lee et al. 1991; Armstrong & Brasier 2005).

Tiden det tar att genomföra livscyklerna varierar bland arter och på vilka latituder de befinner sig. Armstrong & Brasier (2005) menar på att arter som reproduceras genom dimorfism kan fullborda sin livscykel snabbare på låga latituder jämfört med höga latituder (Armstrong & Brasier 2005).

#### 1.2.5 Habitat

Bentiska arter har anpassat sig till olika levnads sätt på havsbotten och liksom andra organismer klassas dem beroende på var de lever i förhållande till havsbotten:

-Epifauna: de som lever på eller över botten, se figur 4.

-Infauna: de som lever i sedimenten, se figur 4.

-Semi-infauna: de som delvis lever i och på sedimenten (Murray 1991a)

Bland dessa levnadssätt kan arter vara sessila, alltså fastcementerade på botten/ett substrat, semi-sessila i form av att pseudopodian fäster på botten/substratet eller att de kan röra sig fritt och inte är fixerade på botten/ett substrat (Murray 1991a).

Substrat, till vilka foraminiferer kan fästa sig till kan vara i form av sten, skal av andra organismer, plantor samt löst sediment (Murray 1991a; Murray 1991b).

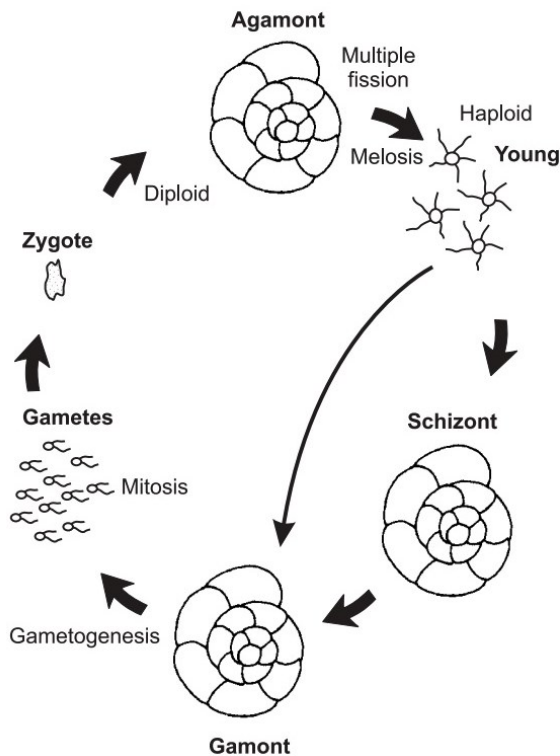


Fig. 3 visar den klassiska livscykeln för bentiska foraminiferer där gamot är den sexuella generationen och agamot den asexuella. Bilden är tagen från sida 144 i (Armstrong & Brasier 2005).

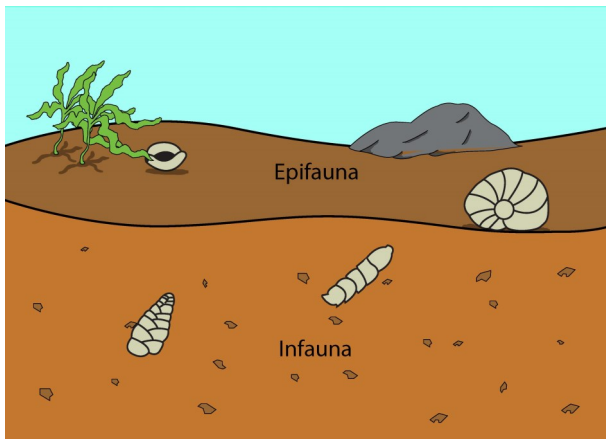


Fig. 4 visar foraminiferers olika levnadssätt. Levnadssätt på sedimenten kallas för epifauna och i sedimenten kallas infauna. Figuren är modifierad utifrån: <https://www.researchgate.net/publication/312248486>

[Foraminiferal biofacies and depositional environments of the Burdigalian mixed carbonate and siliciclastic Dam Formation Al-Lidam area Eastern Province of Saudi Arabia](https://www.researchgate.net/publication/312248486) och [https://www.chesapeakebay.net/discover/ecosystem/life\\_at\\_the\\_bottom](https://www.chesapeakebay.net/discover/ecosystem/life_at_the_bottom).

### 1.2.6 Skalets tillväxt

Foraminiferer med endast en kammare (unilokulär) rymmer från sina skal, bygger ett nytt, större skal när det tidigare blivit för litet. Denna strategi kallas för *contained growth*. En annan, mer använd strategi, som används av foraminiferer med mer än en kammare (multilokulär), är *continuous growth*, vilket innebär att de bygger en till kammare (Armstrong & Brasier 2005). Processen börjar med att ett tunt lager av små alger eller annan cysta bildande material omger den blivande kammaren. Vid nästa steg tränger pseudopodian in, växer samman med cystan och används som mall till den nya kammaren. Pseudopodian skapar då en "thin organic lining" varefter cytoplasman tränger bort denna och kalcifierar den nya ytan av kammaren (Angell 1967). Trots att Angell (1967) skriver om *Rosalina floridana* så beskriver Armstrong & Brasier (2005) skalets tillväxt på ett liknande sätt utan att referera till någon art. Vidare nämner (Haynes 1981a) att varje kammare avskiljs av *septa* (figur 2) och öppningarna mellan varje kammare kallas *foramen*, se figur 2, varav foraminifererna fått sitt namn. Öppningen i sista kammaren benämns, som tidigare nämnt, *apertur* (Haynes 1981a).

### 1.2.7 Skalets funktion

Foraminiferer, liksom andra organismer, utsätts ständigt för hot och stress av olika slag. Skalet är deras sätt att försvara sig. Biologiska faktorer kan vara predatorer som föder på foraminiferer. Radioaktivitet/strålning från solen, starka strömmar, erosion och om de blir krossade är exempel på fysikaliska faktorer som foraminiferer utsätts för. Slutligen, om havens kemi ändras i form av pH, temperatur, salinitet, CO<sub>2</sub> samt O<sub>2</sub> kan skalet användas som skydd (Murray 1991b; Armstrong & Brasier 2005). Murray (1991b) tillägger att skalet kan vara ett stöd vid olika processer av reproduktionen, fungera som bevaring av exkrement samt vid reglering av flytförmågan (Murray 1991b).

### 1.2.8 Skalets sammansättning

Skalens utseende samt sammansättning är av stor betydelse då man utgår från dessa faktorer vid klassning av foraminiferer. Foraminiferers skal delas in i tre grupper med avseende på deras uppbyggnad; organiskt, hoplimmade (agglutinerade) och de som består av kalciumkarbonat, CaCO<sub>3</sub>. Fokus för den här litteraturstudien är på det sistnämnda eftersom det är spårelement i CaCO<sub>3</sub> som är av intresse, då majoriteten utgör sina skal kalciumkarbonat (Armstrong & Brasier 2005).

De organiska skalen utgörs av tektin, ett organiskt ämne som utsöndras av foraminiferen. Vidare använder andra arter material från havsbotten i form av sandkorn, coccolit plattor, svampspikuler, glimmerkorn och tunga metaller med mera som sedan cementeras organiskt, med kalk eller järnoxid. Vissa arter är nogga med vad de tar upp från havsbotten, exempelvis kornstorleken, medan andra inte är selektiva i processen (Haynes 1981a; Armstrong & Brasier 2005). Kalciumkarbonatskalen skalen är de vanligaste förekommande bland skalbyggande foraminiferer och delas in i tre olika kategorier. Den första är *porcelaneous*, vars skal vanligtvis är vita. Sett i genomskärning, karakteriseras *porcelaneous* skal av ett tjockare lager med små nålar. Nålar innehåller magnesiumrikt kalcit som är slumpmässigt anordnade. Ett tunnare lager av horisontellt anordnade nålar avgränsar det mittersta lager uppe och nere, se figur 5. *Porcelaneous* skal har inga porer (Haynes 1981a; Armstrong & Brasier 2005). *Mikrogranulära* skal (figur 5) är den andra gruppen av kalkhaltiga skal och är mörka till utseendet i reflekterat ljus. Skalet innehåller små korn (granuler) av kalcit ordnade slumpmässigt eller i ordning. Enligt Haynes (1981a) är kornen tätt packade utan att blivit cementerade vilket ger

skalet ett fibröst utseende. Till följd av detta är porer närvarande i skalet och utbyte med omgivning är möjligt (Haynes 1981a; Armstrong & Brasier 2005). Den sista gruppen heter *hyaline* (härefter *hyalina*), vars skal ofta är genomskinliga i reflekterat ljus. Skalet utgörs av kalcitkristaller med en diameter på cirka 1 µm som kan ha olika riktningar i förhållande till skalets yta; "radial", "oblique", "intermediate" och "compound" (se figur 5). De olika riktningarna ger upphov till unika optiska egenskaper i TEM (transmission electron microscope) och SEM (svepelektronmikroskop) (Haynes 1981a). Dessutom har *hyalina* skal en låg Mg/Ca kvot på mellan 0,5 - 20 mmol/mol jämfört med *porcelaneous* som har en betydligt högre Mg/Ca kvot (Nooijer et al. 2009).

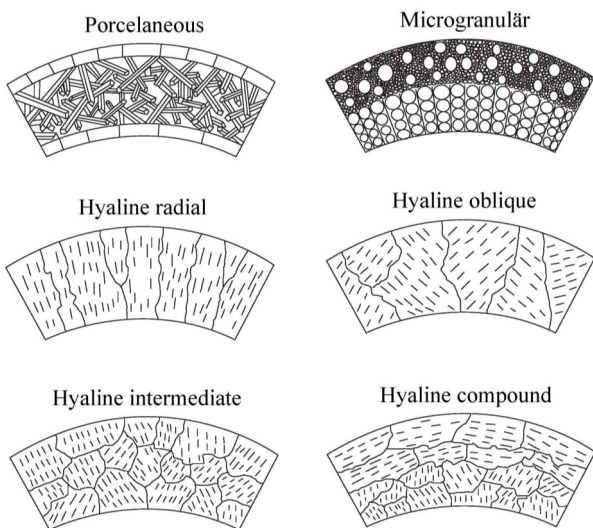


Fig. 5 visar de tre huvudgrupperna av hur skal av kalciumkarbonat är uppbyggda: porcelaneous, mikrogranulär och hyaline. Vidare är hyaline indelat i fyra undergrupper: radial, oblique, intermediate och compound. Bilden är modifierat från sidan 47 i Haynes (1981a).

Vidare beskriver Haynes (1981a) skillnaden på hur grupper av foraminiferer bygger sina kammare. För de foraminiferer med hoplimmade och kalkhaltiga skal sker tillväxten av kammaren som beskrivet i '1.2.6 Skalets tillväxt'. Sådan (ultra)struktur kallas *non-lamellar* (figur 6). För de med *hyalina* skal kan tillväxten även ske på andra sätt. När den nya kammaren byggs, läggs lagret av den nybyggda kammaren över de redan befintliga kammare, alternativt några enstaka kammare. Med det extra lagret blir skalet därmed tjockare och hårdare. Detta kallas *monolamellar* (figur 6). Ibland kan flera lager bildas samtidigt, vilket kallas *multilamellar*, se figur 6. Sist finns även *bilamellar*, vilket innebär att den nya kon-

struerade kammare har två lager, ett inre och ett yttre lager av kalcit som separeras av ett tunt organiskt lager. Det inre lagret förekommer endast i den nya kammaren, medan det yttre lagret även täcker de resterande kamrarna (Haynes 1981a).

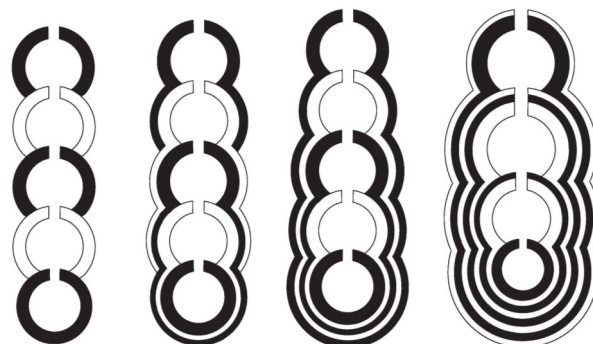


Fig. 6. Olika typer av (ultra)struktur. Vänster: non-lamellar. De två i mitten: olika typer av monolamellar. Höger: multilamellar. Bilder är modifierat från sida 59 i Hansen (1999).

### 1.2.9 Kammare

Skalen hos foraminiferer har olika utseende och är en av utgångspunkterna vid klassificering. Figur 7a och 7b visar hur kammare hos foraminiferer kan vara byggda. Globulär, tabulär, förgrening, planispiral samt oregelbunden är exempel på former som unilokulära foraminiferer har (figur 7a). En större variation av former förekommer dock hos foraminiferer med flera kammare (multilokulär). Dessa kan vara "low-trochospiral" och "high-trochospiral" som innefattar formerna "uniseral", "biseral" samt "triseral", se figur 7b. Vidare finns "milioline", "polymorphine", "planispiral", "fusiform", "annular discord" och "annular complex" (figur 7b). Foraminiferer är inte begränsade till en form, utan kan bestå av en blandning av olika former (Haynes 1981a).

### Unilokulära former

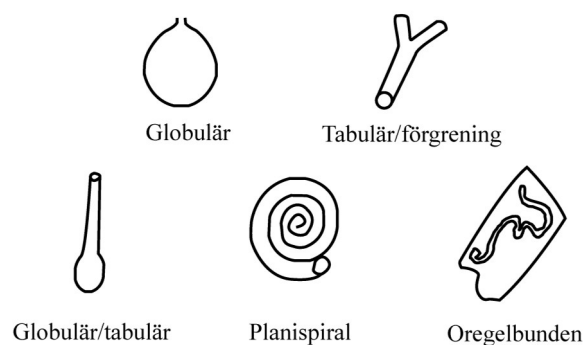


Fig. 7a. Olika typer av former med endast en kammare (unilokulär). Bilden är modifierat från sida 41 i Haynes (1981a).

## Multilokulära former

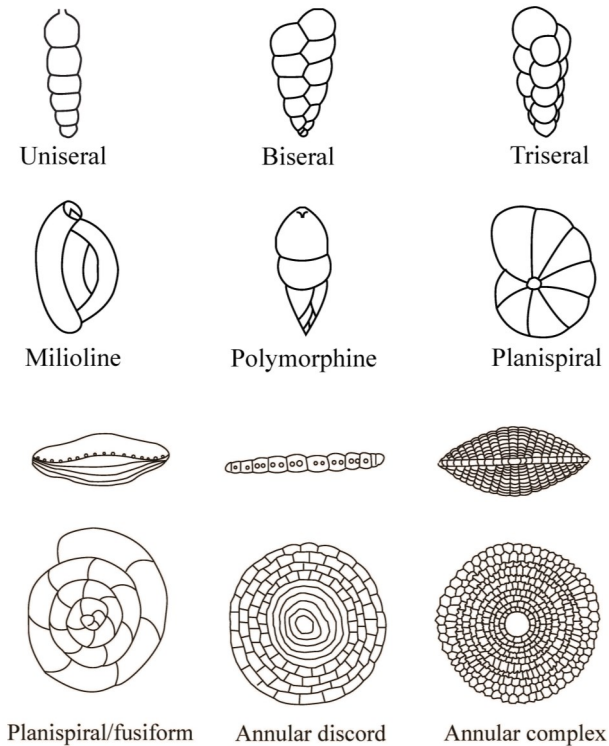


Fig. 7b Olika typer av former med fler än en kammare (multilokulär). De tre sista formerna visas både från sidan och ovanifrån. Bilden är modifierad från sida 41 och 43 i Haynes (1981a).

### 1.3 Spårelement

Ett spårelement är ett ämne som förekommer i låga koncentrationer. Andelen spårelement skrivs ofta i mol-enheter som mol spårelement per mol kalcium (i detta fallet), alternativt vikt-enheter som ppm (parts per million) eller ppb (parts per billion). Inom geologin används spårelement i samband med paleoklimatologi där olika proxy-metoder appliceras. Foraminiferers skal består vanligtvis av  $\text{CaCO}_3$ , där kalcium emellanåt byts ut mot ett annat ämne. Detta ämne representerar i sin tur den omgivning/miljön foraminiferen levde i när skalet byggdes. Kvoten av detta spårelement i förhållande till Ca räknas ut för att sedan kunna tolka resultatet. Ekvationen nedan används vid uträkning av spårelement-Ca kvoten,

$$\frac{[\text{SE}]}{[\text{Ca}]_{\text{skal}}} = D \times \frac{[\text{SE}]}{[\text{Ca}^{2+}]_{\text{havsvatten}}}$$

där SE är koncentrationen av spårelementet i mol, Ca är koncentrationen av kalcium i mol i foraminiferers skal,  $\text{Ca}^{2+}$  är koncentrationen av löst kalcium i mol i havsvattnet och D är en empirisk konstant för en specifik foraminifers art (Lea

1999; Calvert & Pedersen 2007).

Upptaget av spårelement i foraminiferers skal kan ske på två vis. Den första är genom direkt substitution av spårelementet med kalcium och medför till en mer homogen utbredning av spårelementet i skalet. Substitution av spårelement är oftast endoterma reaktioner, vilket innebär att de är styrda av temperatur. Den andra metoden är att spårelement fångas och tas upp i skalet. Utbredningen av spårelement blir på så vis inte homogent utbrett i skalet. Nämnas skall att många faktorer kan påverka upptagandet av spårelement, vilket kan leda till ökade koncentrationer i olika delar av skalet (Lea 1999).

#### 1.3.1 Mg/Ca kvoten och faktorer som påverkar

Magnesium är en fysisk proxy och Mg/Ca kvoten i foraminiferers skal används för att återskapa havstemperaturen (paleotemperaturen). Sedan innan har man god kännedom att Mg/Ca kvoten är temperaturberoende, vilket innebär ökat värde av kvoten för höge temperaturer (Lea 2006). Förklaringen till det är att upptagandet av magnesium i foraminiferers skal är endotermisk, alltså temperaturberoende. Ytterligare är magnesiums jonradie  $28 \text{ \AA}$  ( $28 \times 10^{-10}$ ) mindre än kalciums jonradie och har liknande kemiska egenskaper, vilket troligtvis underlättar substitutionen (Lea 1999). Förhållandet mellan temperaturen och Mg/Ca kvoten utgörs av en exponentialfunktion. En schematisk graf av förhållandet illustreras i figur 8. Flertal faktorer kan dock påverka Mg/Ca kvoten i skalen och ge upphov till avvikande värden från den exponentiella trenden. Faktorer som påverkar upptaget av magnesium är exempelvis någonting som kallas *vital effect*. Enligt Grossman (1984) är orsaken till vitaleffekter inte känd, men att inkorporering av metaboliskt  $\text{CO}_2$  i skalet är en accepterat teori. I en nyligen skriven artikel skriver dock Dubicka et al. (2018) att vitaleffekter anses vara relaterat till variationer i cellvätskans sammansättning där kalciumkarbonat fälls ut från skalen. Dessa variationer kan vara på grund av kinetiska och metabola processer såsom respiration och fotosyntes från symbionter (Dubicka et al. 2018). *Carbonate ion effect* [ $\text{CO}_3^{2-}$ ] är en vanlig faktor vars påverkan diskuteras mycket om. Haven har en bestämd koncentration av karbonatjoner. Dock är koncentrationen inte homogen utspridd i vattenrymden. På vissa platser kan koncentrationen vara mindre och kallas då för undermättad, medan den är högre än medelvärdet på andra platser och sägs då vara övermättad. Denna avvikelse

från medelvärdet av karbonatjonkoncentrationen betecknas med den grekiska bokstaven delta:  $\Delta$  [ $\text{CO}_3^{2-}$ ]. Det är denna avvikelse som anses vara en påverkande faktor till Mg/Ca kvoten (e.g. Elderfield et al. 2006). Diagenes, löslighet, gametogenes, pH och salinitet är andra faktorer som också påverka Mg/Ca kvoten (Lea 2006). Vidare påverkas arter olika mycket av dessa faktorer, vilket innebär att Mg/Ca kvoten inte är universell för alla foraminiferarterna och enskilda Mg/Ca kvoter måste därför tas fram för respektive art (Rosenthal et al. 1997; Katz et al. 2003; Lear et al. 2010). Lea (1999) skriver att Mg/Ca kvoten bland bentiska foraminiferer varierar i regel från 0,5–10 mmol/mol. I en artikel några år senare skriver dock Nooijer et al. (2009) att bentiska foraminiferer med porcelaneous och mikrogranulära skal har en hög Mg/Ca kvot som varierar mellan 100–150 mmol/mol, medan de med hyalina skal har en låg Mg/Ca kvot som varierar mellan 1–20 mmol/mol (Nooijer et al. 2009).

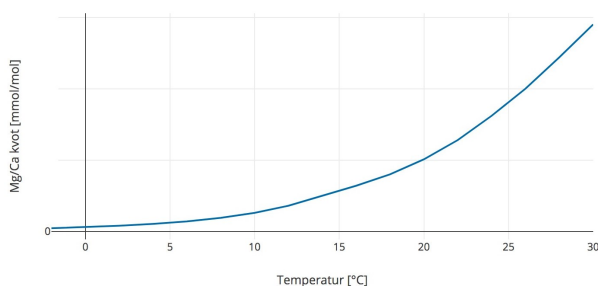


Fig. 8. Schematisk bild över hur Mg/Ca kvoten är temperaturoberoende. Anledningen till att det inte finns värden på y-axeln är för att Mg/Ca kvoten kan skilja mellan olika arter.

Vid temperaturer nära noll grader (härefter synonymt med låga temperaturer) är skillnaden i Mg/Ca kvoten liten eftersom lutningen på exponentialfunktionen är svag. Det är av denna anledning det diskuteras huruvida Mg/Ca kvoten är representativ för låga temperaturer då felmarginaler innebär en större osäkerhet för bedömandet av temperaturen.

#### 1.4 Rengöring av skalen

Innan foraminiferernas skal kan användas för analys av olika spårämnen måste de rengöras då kontaminerade lager på skalen kan ge upphov till felkällor. I fallet av analys av Mg/Ca kvoten hos foraminiferer så kan magnesium vara närvarande i dessa lager. Martin & Lea (2002) undersökte huruvida två rengöringsmetoder, oxidativ och reaktiv, påverkar Mg/Ca kvoten hos två foraminiferer. Enligt Martin & Lea (2002) minskar Mg/Ca kvoten efter rengöring genom oxidation

av skalen. Detta faktum är konsekvent med andra författare som även menar på att Mg/Ca kvoten i foraminiferers minskar med cirka 0.2 mmol/mol efter oxidativ rengöring (Elderfield et al. 2006; Yu & Elderfield 2008; Elderfield et al. 2010). Vidare skriver Martin & Lea (2002) att det även kan ske en minskning av Mg/Ca kvoten vid reaktiv rengöring men att det inte gäller för alla arter då endast en av de två arterna visade en minskning av Mg/Ca kvoten (Martin & Lea 2002).

#### 1.5 Bentiska foraminiferer

Åtta bentiska foraminiferer har valts ut för den här litteraturstudien. De utvalda är *C. neoteretis*, *C. mundulus*, *C. wuellerstorfi*, *M. barleeaanum*, *M. pompilioides*, *N. labradorica*, *O. umbonatus* och *Q. arctica*. Av dessa lever *C. wuellerstorfi* och *Q. arctica* på havsbotten som epifauna och *C. mundulus* lever som semi-infauna. Resterande arter lever i sedimenten som infauna. Alla arter har ett skal av kalciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ , av gruppen hyalina förutom *Q. arctica* som har av gruppen porcelaneous.

Mg/Ca kvoten för respektive art illustreras i form av grafer i resultat delen, med temperaturen [ $^{\circ}\text{C}$ ] som den oberoende faktorn. Som tidigare nämnt är Mg/Ca förhållandet av exponentiell form med en svag lutning för låga temperaturer. Då lutningen inte är avsevärd kan förhållandet anses vara linjärt vid låga temperaturer. Av den anledningen har en linjär såsom en exponentiell trendlinje infogats i graferna med syfte att se vilken trendlinje som är bäst anpassad för de värden.

## 2. Metod

Information om foraminifererna och spårämnen har huvudsakligen hämtats från böcker och e-böcker i form av Modern Foraminifera (Gupta et al. 1999), Microfossils (Armstrong & Brasier 2005), Foraminifera (Haynes 1981b), Biology of foraminifera (Anderson et al. 1991), Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera (Murray 1991a), Proxies in late cenozoic paleoceanography (Hillaire-Marcel & Vernal 2007) och The Oceans and Marine Geochemistry (Elderfield 2006).

Genom databaser (Google scholar, Science Direct och AGU Publications) togs information fram gällande faktorer som påverkar bentiska foraminiferers Mg/Ca kvot samt Mg/Ca data över olika foraminiferarter. Sökorden i databaserna har varit: benthic foraminifera, Mg/Ca, low temperatures, paleotemperature och  $\text{CaCO}_3$ . Värdena av kvoterna sammanställdes sedan i ett Excell doku-

ment. Därefter plottades de i en graf med Mg/Ca kvoten [mmol/mol] på den beroende axeln och temperaturen [°C] på den oberoende axeln. Som tidigare nämnt är Mg/Ca förhållandet av exponentiell form med en svag lutning för låga temperaturer. Därför har en linjär och en exponentiell trendlinje infogats i graferna med syfte att se vilken trendlinje som är bäst anpassad för de värden. Vidare räknades korrelationen ut mellan regressionslinjerna och datapunkterna samt deras statistiska signifikans i förhållande till datapunkterna. Detta gjordes genom att ta roten ur  $R^2$ -värdena (korrelationen) från resultaten där ett  $r$ -värde erhöles. Därefter användes en tabell på sida 332 ur Sokal & Rohlf (1996). Utifrån tabellen kan man med hjälp av  $r$ -värdet avgöra om provpunkterna är statistiskt signifikanta eller inte. Slutligen jämförs resultaten från denna studie med andra etablerade resultat.

### 3. Resultat

Nedan redovisas samtliga grafer av de åtta bentiska foraminiferer som valts för den här litteraturstudien. Alla arter redovisas enskilt på grund av olikheter mellan arternas magnesiumupptag och känslighet av de olika faktorer som kan påverka Mg/Ca kvoten (Katz et al. 2003). Istället för att redovisa *Cibicidoides mundulus* och *Cibicidoides wuellerstorfi* samt *Melonis barleeaanum* och *Melonis pompilioides* som *Cibicidoides spp* respektive *Melonis spp*, redovisas arterna för sig med syfte att redogöra för varje enskild arts tillämpning och nyttjande för rekonstruktion av paleotemperatur.

På varje graf är två trendlinjer inritade, en exponentiell och en linjär. De gröna prickarna representerar de faktiska värdena för Mg/Ca kvoten. Den exponentiella regressionslinjen är rosa och den linjära regressionslinjen är orange. Ekvationer för båda linjerna är framtagna för varje enskild art där  $x$  är temperaturen i grader Celsius och  $y$  är Mg/Ca kvoten i mmol/mol. Enligt Sokal & Rohlf (1996) beskrivs korrelationen mellan regressionslinjerna och datapunkterna av ett  $R^2$ -värde som varierar mellan 0 och 1, där 1 innebär 100% korrelation mellan regressionslinjen och datapunkterna. Om  $R^2$  exempelvis är 0,9 innebär det att 90% av alla datapunkter kan beskrivas med den givna regressionslinjen. Dock bör det testas om datapunkterna är statistiskt signifikanta, det vill säga om det är slumpen som avgör hur höga eller låga värdena blir eller inte. Detta betecknas med ett  $p$ -värde. Ju mindre  $p$ -värdet är, desto större blir motsägelsen för den så kallade

nollhypotesen. Den statistiska signifikansen kategoriseras här på följande vis: inte signifikant ( $p > 0,05$ ), signifikant ( $0,05 < p < 0,01$ ) och mycket signifikant ( $p < 0,01$ ) (Sokal & Rohlf 1996). Detta sammanfattas i tabell 1.  $P_1$ -värdet beskriver den statistiska signifikansen för den exponentiella trendlinjen och  $P_2$ -värdet beskriver den statistiska signifikansen för den linjära trendlinjen för respektive arter. Båda  $P$ -värdena är framtagna ur en tabell från Sokal & Rohlf (1996). I tabell 1 visar även  $n$ -värdet, hur många värden på Mg/Ca kvoten det finns för respektive art.

Tabell 1. Sammanställning av signifikansen av datapunkterna för respektive art. Antal datapunkter ( $n$ ) för varje art är också beskrivet.  $P$ -värden togs fram genom att ta roten ur  $R^2$ -värdena från resultaten för att få fram ett  $r$ -värde. Från en tabell ur Sokal & Rohlf (1996) kunde  $r$ -värdet därefter översättas till ett  $P$ -värde.  $P_1$ -värdet är för den exponentiella funktionen.  $P_2$ -värdet är för den linjära funktionen.

Bentiska foraminiferer	Antal prover ( $n$ )	$P_1$ -värde	$P_2$ -värde	Signifikans
<i>C. neoteretis</i>	15	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>C. mundulus</i>	112	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>C. wuellerstorfi</i>	376	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>M. barleeaanum</i>	153	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>M. pompilioides</i>	9	>0,05	>0,05	Inte signifikant
<i>N. labradorica</i>	19	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>O. umbonatus</i>	51	<0,01	<0,01	Mycket signifikant
<i>Q. arctica</i>	13	<0,05	<0,05	Signifikant

Totalt har 758 värden av Mg/Ca kvoten från samtliga foraminiferer samlats in och är presenterade i bilaga 1. Figur 9 visar schematiskt var på jorden proverna är tagna från. Noteras skall dock att det finns en del områden, exempelvis i Stilla havet, där endast få prover är tagna och har därför inte markerats ut på kartan. Dessutom är exempelvis proverna från Yu& Elderfield (2008) tagna från många olika platser i Atlanten och har av den anledningen inte markerats ut på grund av de geografiskt utspridda provtagningarna som komplicerar markeringen på kartan. Graferna av Mg/Ca kvoten av respektive art presenteras i figur 10–17.

Vissa av proverna är rengjorda med oxidativ och reaktiv rengöringsmetoder. Från de prover som behandlades med rengöringsmetoder minskades Mg/Ca kvoten med 0,10 mmol/mol endast bland de oxidativa rengöringsmetoderna. Det är de korrigerande värdena som använts i resultatet. I bilaga 1 redovisas vilka värden som har korrigerats för.

### 3.1 *Cassidulina neoteretis*

Värdena för *C. neoteretis* är tagna från Kristjansdottir et al. (2007) och Barrientos et al. (2018). Proverna är tagna på följande platser:

-Kristjansdottir et al. (2007): Nordislands kontinentalsockel.

-Barrientos et al. (2018): östra sibiriska kontinentalsockeln och Lomonosov Ridge i det Ark-

tiska havet.

Totalt representeras 15 värden för Mg/Ca kvoten. Temperaturintervall: -0,22 - 6,25 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 0,84 - 1,38 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 1,013e^{0,044x}. R^2 = 0,58$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,051x + 1,015. R^2 = 0,62$$

Eftersom temperaturintervallet är utspritt har provpunkterna nära 0°C och 6°C separerats för att se om det finns en noterbar skillnad mellan dem eller om korrelationen blir bättre.

Provpunkterna nära 0°C:

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 1,026e^{0,015x}. R^2 = 0,0078$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,014x + 1,031. R^2 = 0,0067$$

Provpunkterna nära 6°C:

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 0,81e^{0,082x}. R^2 = 0,28$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,11x + 0,67. R^2 = 0,28$$

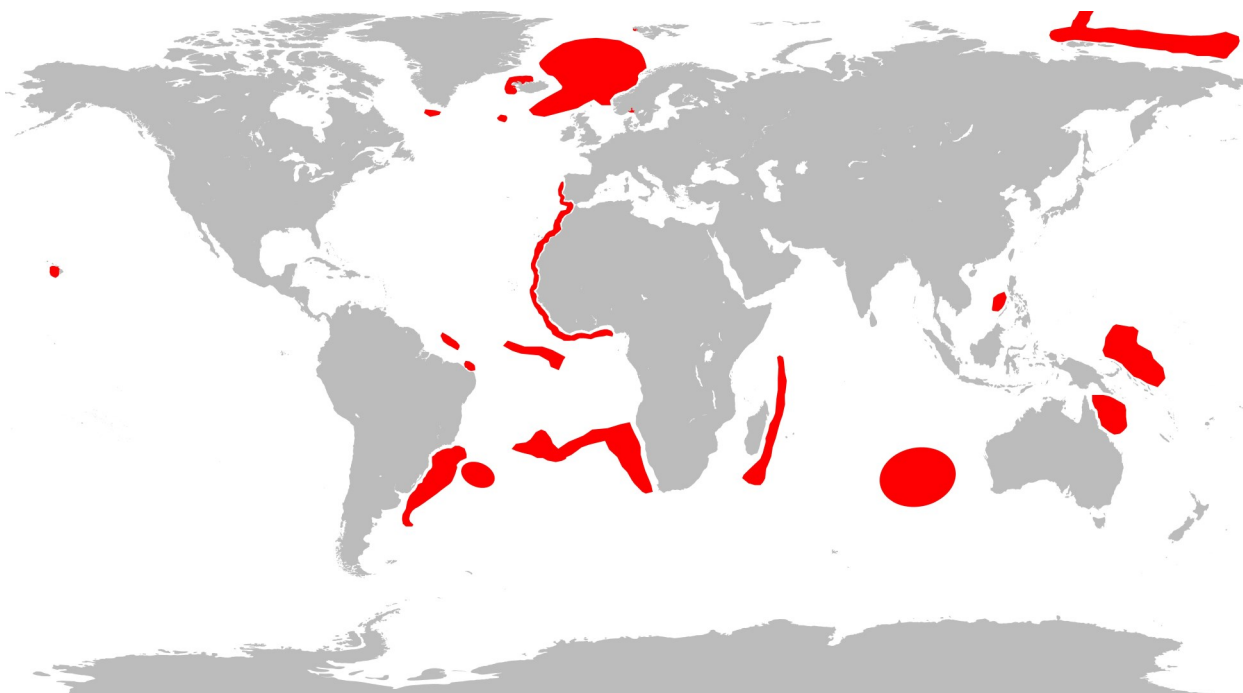


Fig. 9. Schematisk karta över var proverna är tagna på. Områden som prover är tagna på men som är svårt att se på kartan är Hawaii, Oslofjorden samt Kongsfjorden, Svalbard. Observera att några prover är tagna från Stilla havet och andra delar av Atlanten och Indiska oceanen som inte är utmärkta eftersom det är för få för att markera ut på kartan.

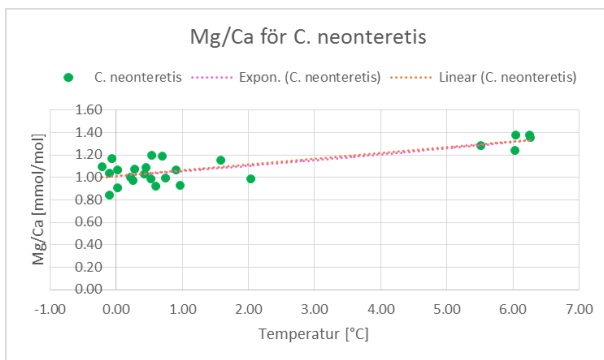


Fig. 10 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *C. neoteretis*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.2 *Cibicidoides mundulus*

Värdena för *C. mundulus* är tagna från Rathburn& Dekker (1997), Healey et al. (2008), Raitzsch et al. (2008) och Yu& Elderfield (2008). Proverna är tagna på följande platser:

-Rathburn& Dekker (1997): Korallhavet utanför Australiens nordostkust.

-Healey et al. (2008): Vema Channel i sydvästra Atlanten samt på några få delar av Atlanten och sydöstra Indiska oceanen.

-Raitzsch et al. (2008): brasilianska bassängen, argentinska bassängen, angolanska bassängen, Cape bassängen, Walvis Ridge som är benägen i sydöstra Atlanten samt ett par platser från mittatlantiska ryggen.

-Yu& Elderfield (2008): främst från olika platser från Atlanten men även några få från Indiska oceanen och Stilla havet.

Totalt representeras 112 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: 0,52 - 14,85 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 0,43 - 5,47 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 1,23e^{0,080x}. R^2 = 0,29$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,18x + 1,093. R^2 = 0,43$$

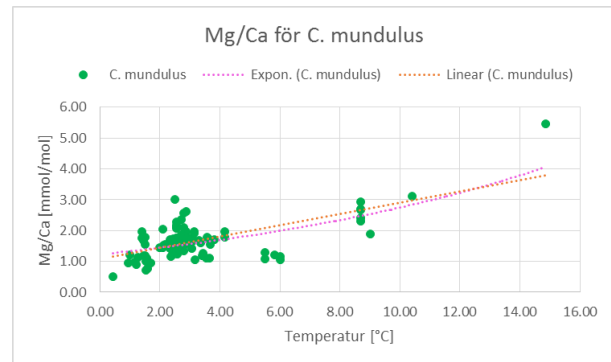


Fig. 11 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *C. mundulus*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.3 *Cibicidoides wuellerstorfi*

Värdena för *C. wuellerstorfi* är tagna från Russel et al. (1994), Rathburn& Dekker (1997), Lear et al. (2002), Martin& Lea (2002), Healey et al. (2008), Raitzsch et al. (2008), Yu& Elderfield (2008) Tisserand et al. (2013) och Barrientos et al. (2018). Proverna är tagna på följande platser:

-Russel et al. (1994): Ceara Ridge utanför Brasiliens kust och Ontong Java Plateau utanför Papua Nya Guineas kust.

-Rathburn& Dekker (1997): Korallhavet utanför Australiens nordostkust.

-Lear et al. (2002): närheten av Reykjenes Ridge utanför Islands sydvästskust och Hawaii.

-Martin& Lea (2002): Ceara Ridge utanför Brasiliens kust och Ontong Java Plateau utanför Papua Nya Guineas kust samt prover från olika delar av Atlanten.

-Healey et al. (2008): Vema Channel, sydöstra Indiska oceanen och södra Kinesiska havet.

-Raitzsch et al. (2008): brasilianska bassängen, argentinska bassängen, guineanska bassängen, angolanska bassängen, Cape bassängen, Walvis Ridge som är benägen i sydöstra Atlanten samt ett par platser från mittatlantiska ryggen.

-Yu& Elderfield (2008): Norska havet samt olika platser i Atlanten, sydvästra Indiska oceanen och västra Stilla havet vid Ontong Java Plateau.

-Tisserand et al. (2013): norra Brazilian Margin.

-Barrientos et al. (2018): östra sibiriska kontinentalsockeln i det Arktiska havet.

Totalt representeras 376 värden för Mg/Ca kvoten. Av dessa värden finns ett avvikande värde inte med i grafen. Värdet är taget från Rathburn& Dekker (1997). Mg/Ca kvoten är 70,7 mmol/mol och är markerat i rött i bilaga 1. Provet är taget



från en vattentemperatur på 5,87°C. Dessvärre erbjuder författarna ingen förklaring till det avvikande värdet. Anledningen till att värdet inte visas i grafen är eftersom grafens y-axel hade varit ur proportion och Mg/Ca-temperaturförhållandet hade inte varit lika tydligt som den är nu.

Temperaturintervall: -1,15 - 8,70 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 0,53 - 5,96 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 0,72e^{0,26x}. R^2 = 0,56$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,58x + 0,16. R^2 = 0,51$$

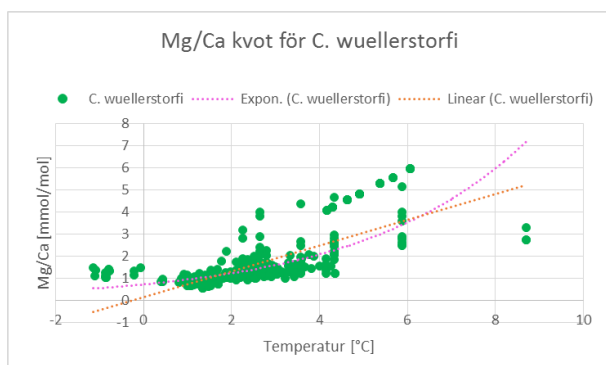


Fig. 12 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *C. wuellerstorfi*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.4 *Melonis barleeanum*

Värdena för *M. barleeanum* är tagna från Kristjansdottir et al. (2007) och Hasenfratz et al. (2017). Proverna är tagna på följande platser:

-Kristjansdottir et al. (2007): Nordislands kontinentalsockel

-Hasenfratz et al. (2017): Norska havet, Oslofjorden, olika plaster utmed Afrikas och Europas västkust, Sulawesi Margins utanför Indonesiens kust.

Totalt representeras 153 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: -0,89 - 15,58 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 0,64 - 3,66 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 0,82e^{0,089x}. R^2 = 0,76$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,13x + 0,77. R^2 = 0,70$$

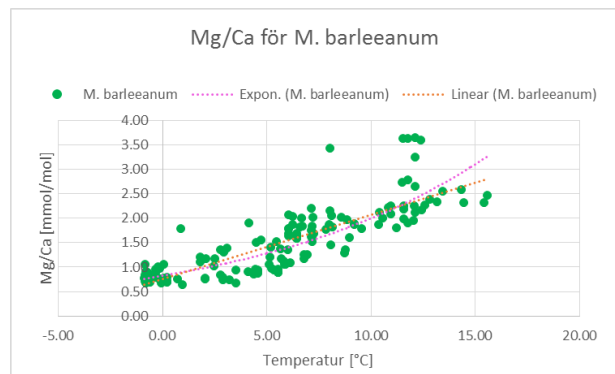


Fig. 13 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *M. barleeanum*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.5 *Melonis pompilioides*

Värdena för *M. pompilioides* är tagna från Hasenfratz et al. (2017). Proverna är tagna på följande platser:

-Hasenfratz et al. (2017): olika plaster utmed Afrikas och Europas västkust samt en plats i Stilla havet.

Totalt representeras 9 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: 0,77 - 3,52 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 0,54 - 1,07 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 0,94e^{-0,024x}. R^2 = 0,0095$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = -0,006x + 0,91. R^2 = 0,00091$$

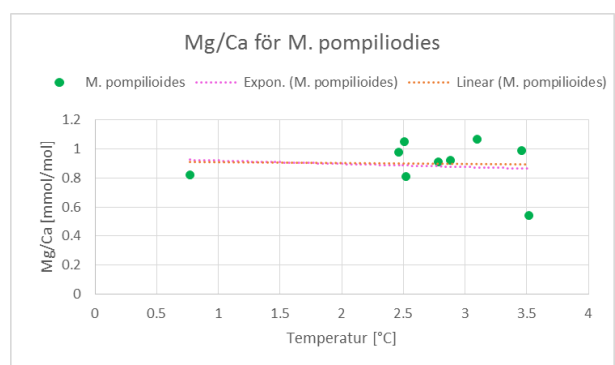


Fig. 14 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *M. pompilioides*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.6 *Nonionellina labradorica*

Värdena för *N. labradorica* är tagna från Skirbekk et al. (2016) och Barrientos et al. (2018). Proverna är tagna på följande platser:

-Skirbekk et al. (2016): Kongsfjorden, Svalbard

-Barrientos et al. (2018): Chukchi och Laptev kontinentalsockel i det Arktiska havet.

Totalt representeras 19 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: -1,82 - 3,90 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 1,11 - 1,69 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 1,32e^{0,065x}. R^2 = 0,88$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,092x + 1,34. R^2 = 0,89$$

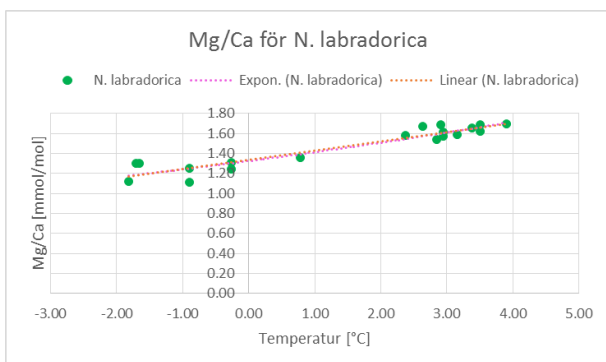


Fig. 15 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *N. labradorica*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.7 *Oridorsalis umbonatus*

Värdena för *O. umbonatus* är tagna från Healey et al. (2008), Lear et al. (2010) och Tisserand et al. (2013). Proverna är tagna på följande platser:

-Healey et al. (2008): Vema Channel samt olika platser i sydöstra Indiska oceanen, södra Kinesiska havet, Atlanten och Stilla havet.

-Lear et al. (2010): Norska havet.

-Tisserand et al. (2013): norra Brazilian Margin.

Totalt representeras 51 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: -0,90 - 6,06 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 1,01 - 5,96 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 1,24e^{0,23x}. R^2 = 0,87$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 0,61x + 1,14. R^2 = 0,78$$

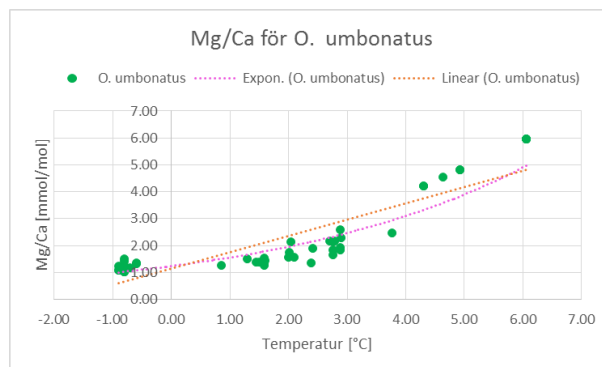


Fig. 16 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *O. umbonatus*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

### 3.8 *Quinqueloculina arctica*

Värdena för *Q. arctica* är tagna från Barrientos et al. (2018). Proverna är tagna på följande platser:

-Barrientos et al. (2018): östra sibiriska kontinentalsockeln och Losomov Ridge i det Arktiska havet.

Totalt representeras 13 värden för Mg/Ca kvoten.

Temperaturintervall: -0,22 - 0,91 °C.

Mg/Ca kvot intervall: 18,9 - 75,1 mmol/mol.

Ekvationen för den exponentiella regressionslinjen:

$$y = 35,16e^{0,89x}. R^2 = 0,41$$

Ekvationen för den linjära regressionslinjen:

$$y = 35,17x + 40,89. R^2 = 0,37$$

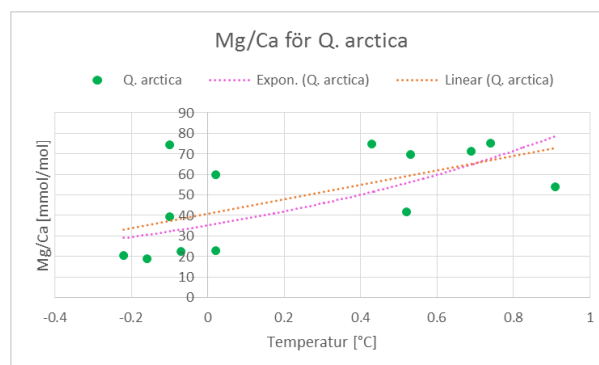


Fig. 17 visar den erhållna Mg/Ca kvoten (gröna prickar) i förhållande till temperaturen som proven togs för arten *Q. arctica*. Dessutom visas en exponentiell (rosa) och en linjär (orange) regressionslinje.

## 4. Diskussion

Målet med den här litteraturstudien är att jämföra Mg/Ca kvoten för olika bentiska foraminiferer i kalla vatten i syfte att undersöka vilka arter som är lämpliga att använda för proxy för paleotemperatur. Dessutom diskuteras hur olika faktorer påverkar arternas magnesiumupptag.

### 4.1 Faktorer som kan påverka Mg/Ca kvoten hos foraminifererna

Som nämnt tidigare finns det en del faktorer som kan påverka arternas Mg/Ca upptag. Dock är påverkan inte lika stark hos alla arter och vissa är till och med opåverkade av en del faktorer. Nedan diskuteras de olika faktorer och hur de påverkar vissa arter. Då informationen om hur de olika faktorer påverkar arterna i den här litteraturstudien är begränsad, har andra artiklar valts ut som beskriver de olika faktorerna hos andra bentiska foraminiferer.

Salinitet är en av de faktorer som anses påverka upptaget av magnesium. Enligt Dissard et al. (2010) är Mg/Ca kvoten hos *Ammonia tepida* både temperaturberoende och beroende av salinitet. I deras experiment ökade Mg/Ca kvoten då saliniteten var konstant och temperaturen ökades, men även då saliniteten ändrades från 20, 33 och 40 psu (g/kg) och temperaturen var konstant. I en annan artikel av Geerken et al. (2017) har de även kommit fram till att salinitet påverkar Mg/Ca kvoten hos *Ammonia tepida*. Dock anser de att Mg/Ca kvoten inte är beroende av salinitet i *Amphestegina lessonii*. I experimentet ändrades saliniteten mellan 25, 30, 35, 40 och 45 psu. Vidare skriver flera andra att salinitet inte har någon inverkan på arter som de studerat. Hasenfratz et al. (2017) skriver att *Melonis barleeaanum* och *Melonis pompilioides* magnesium upptag inte beror på salinitet även om saliniteten vid provtagningarna endas varierade från 34 till 36,5 psu. *Globobulimina spp* är även oberoende av salinitet angående Mg/Ca kvoten enligt Weldeab et al. (2016). Arterna *Planoglabratella opercularis* och *Quinqueloculina yabe* har studerats av Toyofuku et al. (2000) och kom fram till att salinitet är en oberoende faktor av Mg/Ca kvoten då saliniteten varierade mellan 28 och 39 psu.

Det är accepterat att magnesiumhalten i foraminiferers skal påverkas om skalet löses upp (dissolution of  $\text{CaCO}_3$ ) (Lea 2006), vilket innebär att  $\text{CO}_2$  reagerar med  $\text{H}_2\text{O}$  och  $\text{CaCO}_3$ , som löses upp och bildar  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $2\text{HCO}_3^-$  (Feely et al. 2004). Hur denna påverkan ser ut är dock mindre välkänt. Trots detta påstår forskare att det går att

korrigera för detta, (Lea 2006) eftersom upplösning av skalens kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ökar med ökat djup enligt Broecker (2006). Jag anser att bentiska foraminiferers Mg/Ca kvot inte bör påverkas lika mycket av upplösning av skalet som planktiska foraminiferers skal. De planktiska foraminifererna lever i vattenkolumnen och sjunker sakta ner till botten när de dör. Medan de sjunker bör deras skal påverkas av kalciumkarbonatets löslighet med djup, medan de bentiska foraminifererna inte påverkas eftersom de redan befinner sig på havsbotten. Detta påstående förstärks av att varken Elderfield et al. (2006) och Yu& Elderfield (2008) inte finner någon korrelation mellan upplösning av skalets Mg/Ca kvot i *C. wuellerstorfi*. En studie utförd på Ontong Java Plateau av Mccorkle et al. (1995), undersöktes huruvida upplösning av skalen påverkade spårelementen Cd, Ba samt Sr i skalen av arten *C. wuellerstorfi*. Resultaten i den studien tyder på att upplösningen tar bort spårelementen i skalet. Även om spårelementet magnesium inte analyseras i studien så finns det en möjlighet att upplösning påverkar Mg/Ca kvoten hos *C. wuellerstorfi* och kanske därmed andra bottenlevande foraminiferer (Mccorkle et al. 1995).

När foraminifererna dör, sedimenteras de och utsätts för diagenes. Processen förändrar sammansättningen i skalen, löser upp dem och påverkar därmed Mg/Ca kvoten (Haynes 1981d). Enligt Gupta (1999b) bevaras olika typer av skal bättre än andra. Skal uppbyggda av hög magnesium kalcit (kalcit med hög magnesiumkoncentration) mer känsliga än de med låg magnesium kalcit och därför bevaras skal med låg magnesium kalcit bättre i sedimenten (Gupta 1999b). Detta påstående förstärks med att Archer (2006) skriver att lösligheten av kalcit är beroende av hur mycket magnesium som finns närvarande, att högre magnesium halt ökar lösligheten (Archer 2006). Diagenesen sker i den övre, aktiva delen av sedimenten (Jorissen et al. 2007).

Det råder oklarhet i vilken utsträckning karbonatjonkoncentrationen,  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ , påverkar bentiska foraminiferer och dess Mg/Ca kvot. Raitzsch et al. (2008) och Healey et al. (2008) menar på att Mg/Ca kvoten för *C. wuellerstorfi* är beroende av  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  vid temperaturer under cirka  $3^\circ\text{C}$ . Dock skriver Yu& Elderfield (2008) att *C. wuellerstorfi* Mg/Ca kvot inte beror på temperaturen och därför inte kan användas som proxy för paleotemperatur. Tisserand (2015) har även undersökt  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekten på *C. wuellerstorfi*, där resultaten inte påvisar någon större  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  ef-

fekt på Mg/Ca kvoten.  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekten har också undersökts för *C. mundulus*. Resultat från Raitzsch et al. (2008) visar att  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  är en avgörande faktor för artens Mg/Ca kvot, medan resultat från Yu & Elderfield (2008) konstaterade att Mg/Ca kvoten hos *C. mundulus* varken påverkades av  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  eller temperatur. Anledningen till det kan vara på grund av vitaleffekter men grunden till annan faktor som kontrollerar Mg/Ca kvoten var inte utredd (Yu & Elderfield 2008). Vidare menar Yu & Elderfield (2008) på att skillnaderna på hur olika arter reagerar till de olika faktorerna kan vara på grund av vitaleffekter och att det av den anledningen enskilda arter bör användas vid analys av Mg/Ca kvoten (Yu & Elderfield 2008). Tisserand et al. (2013) har liknande åsikter om detta och kom fram till att Mg/Ca-temperaturkurvan är annorlunda för *C. wuellerstorfi* än om man jämför med *Cibicidoides spp.* Det hävdas även att  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  påverkar bentiska foraminiferers Mg/Ca kvot för värden  $<25\text{-}30\mu\text{mol/kg}$  (Elderfield et al. 2006; Lear et al. 2010). Undersökning av arten *O. umbonatus* gjordes också, där de kom fram till att även om Mg/Ca kvoten för *O. umbonatus* anses vara temperaturberoende, kan den påverkas av vattnets  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ . Slutligen menar Duenas-Bohorquez et al. (2011) att  $[\text{CO}_3^{2-}]$  inte påverkar Mg/Ca kvoten hos de bentiska foraminifererna *Ammonia tepida* and *Heterostegina depressa* (Duenas-Bohorquez et al. 2011). I undersökningen som utfördes av Raitzsch et al. (2008) var pH 0.2 enheter lägre 5 mm ner i sedimenten. Med oförändrad temperatur och salinitet gav skillnaden i pH värdet upphov till en minskning av  $[\text{CO}_3^{2-}]$ , vilket i sin tur resulterade i en minskning Mg/Ca kvoten med cirka 0.4 mmol/mol av (Raitzsch et al. 2008).

Från resultaten kan man se att arter har olika Mg/Ca kvoter för samma temperaturer. Detta beror på att arterna tar upp olika mycket magnesium. Kännedomen om varför en del arter har högre Mg/Ca kvot än andra är liten. En förklaring kan vara genom vitaleffekter (Lear et al. 2002). Vitaleffekter kan ge upphov till avvikande värden, varför adulta foraminiferer föredras vid analys (Filipsson 2018). En annan anledning till detta är om foraminifererna lever på eller i sedimenten (epifauna vs infauna arter). Det visar sig att porvattnet i sedimenten skiljer sig i  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  jämfört med vattnet ovanför sedimenten. Porvatten har en tendens att bli i jämvikt med bottenvattnets  $[\text{CO}_3^{2-}]$ , vilket innebär att  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  i porvatten går mot noll och därför ger inte  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter upphov förändringar i Mg/Ca kvoten i skalen

(Elderfield et al. 2006). I en studie med olika arter av bentiska foraminiferer, av bland annat *Uvigerina spp.* och *C. wuellerstorfi* som lever som infauna respektive epifauna, konkluderade Elderfield et al. (2006) att infauna bentiska foraminiferer påverkas mindre av  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekt jämfört med epibentiska foraminiferer. Resultat från Lear et al. (2002), Raitzsch et al. (2008) och Elderfield et al. (2010) bekräftar även detta.

I en studie utförd av Skirbekk et al. (2016) undersöktes tre bentiska foraminiferarter varav *N. labradorica* var en av dem. Det visar sig att Mg/Ca kvoten och temperaturförhållandet påverkas av olika årstider. Detta kan vara en faktor som man bör ha i åtanke vid provtagning särskilt i kustnära områden med mindre vattendjup där säsongsvariationen kan vara betydande även för bottenlevande foraminiferer.

#### 4.2 *Cassidulina neoteretis*

Arten lever i sedimenten, vilket innebär att artens påverkan av  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter är lägre (Elderfield et al. 2006). Vidare menar Barrientos et al. (2018) att  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  inte påverkar foraminiferarter som har hyalina skal och lever i sedimenten på grund av annorlunda vattenkemi i porvatten jämfört med vattnet ovanför sedimenten. *Cassidulina neoteretis* skal består av låg magnesium kalcit (låga magnesiumkoncentrationer) (Barrientos et al. 2018) som ska resultera i en mindre diagenetisk påverkan enligt (Gupta 1999b). Värdena för *C. neoteretis* följer den allmänna trenden, ökat Mg/Ca värde för ökad temperatur. Dock är värdena inte utspridda genom hela temperaturintervallet. Majoriteten av värdena ligger mellan -0,22 och 2°C. Den linjära regressionskurvan har bättre korrelation än den exponentiella, jämför 0,62 med 0,58. När provpunkterna separerades, på grund av det utspridda temperaturintervallet, och betraktades enskilt blev dock korrelationen sämre. Trots artens reducerande egenskaper av faktorer som  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekt samt diagenes anses arten inte vara optimal som temperaturproxy på grund av den förhållandevis svaga korrelationen av regressionslinjerna. Samtidigt gör 15 mätvärden det svårt att uttala sig om huruvida arten är lämplig som proxy för havstemperaturen. Fler mätvärden hade behövts över ett större temperaturintervall.

#### 4.3 *Cibicidoides mundulus*

Sedan tidigare konstaterade Yu & Elderfield (2008) att arten är varken beroende av temperatur eller  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter. Värdena för den här arten är visserligen tagna från Yu & Elderfield (2008),

men även Rathburn& Dekker (1997), Healey et al. (2008) och Raitzsch et al. (2008). Tillsammans visar båda regressionslinjerna att korrelationen mellan linjerna och mätdata är låg, vilket bekräftar som tidigare konstaterat av Yu& Elderfield (2008), att *C. mundulus* Mg/Ca kvot inte är temperaturberoende. Eftersom värdena är många och de kommer från många olika platser där temperaturen har varit mer eller mindre densamma, kan slutsatsen dras att Mg/Ca kvoten för *C. mundulus* inte kan användas som temperaturproxy.

#### 4.4 *Cibicidoides wuellerstorfi*

*Cibicidoides wuellerstorfi* har varit den art som förekommit flest antal gånger bland de artiklar som har lästs. Arten har varit populär för analys sedan upptäckten att använda Mg/Ca kvoten som proxy för havstemperaturen. Många forskare har debatterat om huruvida artens Mg/Ca kvot är lämpad som temperaturproxy och resultaten har minst sagt varit blandade. En del menar på att artens magnesiumupptag är beroende av temperaturen medan andra, såsom Yu& Elderfield (2008), anser att detta inte stämmer. Mg/Ca kvoten kan ha en liten påverkan av diagenes eftersom skalet från *C. wuellerstorfi* utgörs av låg magnesium kalcit (Barrientos et al. 2018). Dock lever arten på sedimenten där Mg/Ca kvoten kan utsättas för  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter då den befinner sig i områden med en vattentemperatur på mindre än 3°C (Healey et al. 2008). Av all Mg/Ca kvot-data som sammanfogats från samtliga arter är drygt hälften från denna art. Värdena i figur 12 är utspridda, där olika värden på Mg/Ca kvoten förekommer för samma temperatur och olika temperaturer förekommer för samma Mg/Ca kvot.  $R^2$  värdet för båda regressionslinjerna är lite över 0,5. Detta tyder på att *C. wuellerstorfi* är begränsad i sin användning för rekonstruktion av havstemperaturen. Vidare ger Rathburn& Dekker (1997) ingen förklaring på det avvikande värdet på 70,7 mmol/mol.

#### 4.5 *Melonis barleeaanum*

Även för denna art finns många värden på Mg/Ca kvoten och värdena är väl utspridda genom temperaturintervallet. Många värden tagna från varmare vatten än vad som önskades inför litteraturstudie. Dock ger det utspridda temperaturintervallet en bra överblick över huruvida artens magnesiumupptag beror på temperaturen. De höga korrelationsvärdena för båda regressionslinjer indikerar ett starkare temperaturförhållande för magnesiumupptaget jämfört med ovan beskrivna arter (*C. neoteretis*, *C. mundulus* och *C. wueller-*

*storfi*). Det starka beroendet kan vara på grund av dess levnadssätt (infauna), där  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter kan ha en mindre påverkan på arten (Hasenfratz et al. 2017). Dessutom menar Hasenfratz et al. (2017) på att salinitet inte har någon inverkan på Mg/Ca kvoten (Hasenfratz et al. 2017). Av dessa anledningar är den här arten bäst anpassad som temperaturproxy i förhållande till de tidigare diskuterade arter.

#### 4.6 *Melonis pompilioides*

Trots få mätvärden är korrelationen mellan punkterna och båda regressionslinjer mycket liten. Dessutom är båda ekvationerna avtagande, vilket innebär att Mg/Ca kvoten avtag med ökad temperatur. Detta stämmer inte och därför anses analys av Mg/Ca kvoten hos *M. pompilioides* inte aktuell som temperaturproxy. Dessutom är datapunkterna inte signifikanta, se tabell 1.

#### 4.7 *Nonionella labradorica*

Båda regressionslinjerna har bäst korrelation jämfört med resterande arter. Den linjära regressionskurvan har högst  $r^2$  värde (0,89) och den exponentiella regressionslinjen har ett lite mindre  $r^2$  värde (0,88). Trots endast 19 värden, stämmer värdena bra överens med den låga temperaturen och gör arten till den mest tillämpade, tillsammans med *O. umbonatus*, för Mg/Ca kvot analys vid låga temperaturer jämfört med resterande arter. Arten lever som infauna, vilket kan vara skälet till att den inte påverkas av exempelvis  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter jämfört med foraminiferer som lever på sedimenten, av anledningar som nämnts tidigare. Ytterligare en fördel med denna art är att skalet är av låg magnesium kalcit (Barrientos et al. 2018) och har därmed en minskad tendens att lösas upp efter sedimentation eftersom lösligheten ökar med andelen magnesium i skalet enligt Archer (2006). Dock kan Mg/Ca kvoten variera med olika årstider och måste tas hänsyn till vid provtagning och analys, speciellt i kustnära områden där vattendjupet kan variera med årstiderna (Skirbekk et al. 2016).

#### 4.8 *Oridorsalis umbonatus*

Utifrån regressionslinjerna är korrelationen mellan magnesiumupptaget och temperatur högt för *O. umbonatus*. Barrientos et al. (2018) skriver att dess skal av låg magnesium kalcit vilket visats vara fördelaktigt under diagenetiska processer. Från de 51 värdena av Mg/Ca kvoten är inget noterbart avvikande och anses därmed, tillsammans med *N. labradorica*, vara bäst anpassad för temperaturproxy för låga temperaturer.

#### 4.9 *Quinqueloculina arctica*

Mg/Ca kvoten för *Q. arctica* skiljer sig från övriga arter. Det lägsta värdet är på 18,9 mmol/mol och är mer än det högsta värdet av någon annan art från den här litteraturstudien. Detta i samband med att korrelationen för regressionslinjerna är låga tyder på en Mg/Ca kvot som inte är temperaturberoende. Resultat från Barrientos et al. (2018) som visar att magnesiumupptaget inte är temperaturberoende för denna art och att  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  är den kontrollerande faktorn, förstärker detta påstående. Barrientos et al. (2018) menar på att det förekommer skillnader bland foraminiferer med porcelaneous och foraminiferer med hyalina skal; att Mg/Ca kvoten generellt uppvisar ett lägre temperaturberoende hos porcelaneous skal, vilket förklara de avvikande värdena. Dessutom lever *Q. arctica* som epifauna och påverkas därmed direkt av havsvattnets  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter. Slutligen anses Mg/Ca kvoten hos *Q. arctica* vara bättre lämpad för rekonstruktion av forntida karbonatkoncentrationen (Barrientos et al. 2018).’

#### 4.10 Jämföra med andra studier

I tabell 2 (sida 23) har ekvationerna för båda regressionslinjerna för samtliga arter i denna studie sammanställts. Dessutom har andra etablerade ekvationer av regressionslinjer från andra studier lagts till för att kunna jämföra resultaten sinsemellan.

När resultaten från denna litteraturstudie jämförs med andra studier så stämmer ekvationerna till stor del inte överens med varandra. Det är dock ingen större överraskning eftersom värdena av de bentiska foraminiferers Mg/Ca kvot har hämtats från olika artiklar och därefter sammanställts. Dock skiljer sig ekvationerna jämförelsevis mycket, exempelvis båda ekvationerna av *C. neoteretis* och *C. mundulus*. Värt att påpeka är även att ekvationen för den exponentiella regressionslinjen för *Cibicidoides sp* som Lear et al. (2002) har tagit fram, skiljer sig från samtliga ekvationer för *C. mundulus* och *C. wuellerstorfi*. Detta förstärker det som tidigare diskuterat, att analys av Mg/Ca kvoten bör göras för enskilda arter.

#### 4.11 Reflektion

Detta stycke handlar om egna tankar till denna typen av forskning och personliga åsikter om åtgärder som kan vidtas för att utöka kunskapen om hur magnesiumupptaget påverkar hos olika foraminiferarter. Det är tydligt att det fortfarande råder diskussioner om hur olika arters Mg/Ca kvot är tillämpade som temperaturproxy, vilka faktorer

som påverkar och till vilken grad de påverkar. Om man nu är osäker, varför utförs inga experiment där varje påverkande faktor testas enskilt för en och samma art och analyserar hur Mg/Ca kvoten varierar med temperaturen? Även Rosenthal et al. (1997) hävdar att bästa resultat fås om endast en art används vid analys. Några experiment har utförts av exempelvis Geerken et al. (2017) som specifikt undersökte hur salinitet påverkade de bentiska foraminifererna *A. lessonii* and *A. tepida*. Dessutom har ett populärt experiment utförts av Dirk Nürnberg (1996) som undersökte hur den planktiska foraminiferen *Globigerinoides sacculifer* Mg/Ca kvot beror på salinitet. Det krävs dock att flera faktorer testas samtidigt i ett och samma experiment för att få en helhetsuppfattning om hur de faktorerna påverkar just den utsatta artens Mg/Ca kvot. I laboratoriet går det säkerligen att återskapa naturliga förhållanden som förekommer i naturen som foraminifererna lever i, såsom trycket på havsbotten, saliniteten och så vidare. Hade detta gjorts utförligt hade forskare kunnat utgå från endast en art vid Mg/Ca kvot-analys. Dock kan det vara svårt att återskapa förhållanden såsom diagenes, men att analysera huruvida saliniteten eller  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  påverkar magnesiumupptaget är troligen ingen omöjlig uppgift. Sådana experiment kan öka förståelsen för hur stor påverkan de olika faktorerna har på Mg/Ca kvoten och sedan applicerats vid riktiga provtagningar.

I nuläget och från ovan diskuterade resultat är *N. labradorica* och *O. umbonatus* bäst anpassade för analys av Mg/Ca kvoten vid låga temperaturer. Från början ansågs dock även Mg/Ca kvoten för *C. wuellerstorfi* vara anpassad som temperaturproxy men som sedan motbevisades i senare tid av andra forskare såsom även Tisserand (2015) även diskuterar. Det är alltså inte omöjligt att vidare forskning av *N. labradorica* och *O. umbonatus* leder till samma resultat; att båda arternas Mg/Ca kvot inte är beroende av vattnets temperatur.

### 5. Slutsats

För fem av de åtta arterna är den exponentiella regressionslinjen bättre anpassad för Mg/Ca kvoten. Dock är den linjära korrelationen inte mycket sämre. Detta innebär är den exponentiella regressionslinjen generellt är bättre anpassad för Mg/Ca kvoten vid låga temperaturen, men att den linjära korrelationen kan vara bättre anpassad för vissa arter såsom *C. neoteretis* samt *C. mundulus* enligt erhållna värden på Mg/Ca kvoten.

Tabell 2. Sammanställning av ekvationerna av de exponentiella och linjära regressionslinjerna av samtliga arter, som tillsammans med etablerade resultat från andra studier har lagts till för att kunna jämföra ekvationerna mellan arterna.

Bentiska foraminiferer	Ekvation för exponentiell regressionslinje	Ekvation för linjär regressionslinje	Referens
<i>C. neoteretis</i>	$y = 1,013e^{0,044x}$ $R^2 = 0,58$	$y = 0,051x + 1,015$ $R^2 = 0,62$	Denna studie
<i>C. neoteretis</i>	$y = 0,86 \pm 0,07e^{0,082 \pm 0,020x}$ $R^2 = 0,90$	$y = 0,093x + 0,84$ $R^2 = 0,90$	Kristjansdottir et al. (2007)
<i>C. neoteretis</i>	$y = 1,009 \pm 0,02e^{0,042 \pm 0,01x}$ $R^2 = 0,60$	$y = 0,071 \pm 0,07x + 1,029 \pm 0,03$ $R^2 = 0,07$	Barrientos et al. (2018)
<i>C. mundulus</i>	$y = 1,23e^{0,080x}$ $R^2 = 0,29$	$y = 0,18x + 1,093$ $R^2 = 0,43$	Denna studie
<i>C. mundulus</i>	$y = 1,00 \pm 0,13e^{0,28 \pm 0,059x}$ $R^2 = 0,54$	$y = 0,50 \pm 0,10x + 0,80 \pm 0,28$ $R^2 = 0,54$	Healey et al. (2008)
<i>C. wuellerstorfi</i>	$y = 0,72e^{0,26x}$ $R^2 = 0,56$	$y = 0,58x + 0,16$ $R^2 = 0,51$	Denna studie
<i>C. wuellerstorfi</i>	$y = 0,78 \pm 0,023e^{0,23 \pm 0,013x}$ $R^2 = 0,91$	$y = 0,30 \pm 0,018x + 0,67 \pm 0,04$ $R^2 = 0,90$	Healey et al. (2008)
<i>Cibicoides sp.</i>	$y = 0,87 \pm 0,049e^{0,11 \pm 0,007x}$ $R^2 = -$	-	Lear et al. (2002)
<i>M. barleanum</i>	$y = 0,82e^{0,089x}$ $R^2 = 0,76$	$y = 0,13x + 0,77$ $R^2 = 0,70$	Denna studie
<i>M. barleanum</i>	$y = 0,66 \pm 0,07e^{0,014 \pm 0,020x}$ $R^2 = 0,81$	$y = 0,16x + 0,61$ $R^2 = 0,80$	Kristjansdottir et al. (2007)
<i>M. pompilioides</i>	$y = 0,94e^{-0,024x}$ $R^2 = 0,0095$	$y = -0,006x + 0,91$ $R^2 = 0,00091$	Denna studie
<i>N. labradorica</i>	$y = 1,32e^{0,065x}$ $R^2 = 0,88$	$y = 0,092x + 1,34$ $R^2 = 0,89$	Denna studie
<i>N. labradorica</i>	$y = 1,33 \pm 0,01e^{0,065 \pm 0,01x}$ $R^2 = 0,88$	$y = 0,024 \pm 0,06x + 1,26 \pm 0,07$ $R^2 = 0,04$	Barrientos et al. (2018)
<i>O. umbonatus</i>	$y = 1,24e^{0,23x}$ $R^2 = 0,87$	$y = 0,61x + 1,14$ $R^2 = 0,78$	Denna studie
<i>O. umbonatus</i>	$y = 0,99 \pm 0,08e^{0,25 \pm 0,036x}$ $R^2 = 0,69$	$y = 0,45 \pm 0,066x + 0,77 \pm 0,15$ $R^2 = 0,67$	Healey et al. (2008)
<i>Q. arctica</i>	$y = 35,16e^{0,89x}$ $R^2 = 0,41$	$y = 35,17x + 40,89$ $R^2 = 0,37$	Denna studie

De bottenlevande foraminiferernas magnesiumupptag skiljer sig mellan arterna eftersom arterna reagerar olika på miljön och deras vitaleffekter kan påverka deras magnesiumupptag på olika vis. Av dessa skäl är det nödvändigt att utföra experiment på enskilda arter i syfte att se hur Mg/Ca kvoten påverkas av olika faktorer och sedan hitta en art vars Mg/Ca kvot är bästa anpassad som proxy för paleotemperatur.

Sammanfattningsvis är Mg/Ca kvoten för *N. labradorica* och *O. umbonatus* bäst anpassade för temperaturrekonstruktion för låga temperaturer. Båda arternas magnesiumupptag påverkas inte lika mycket av de faktorer som nämns i texten och deras levnadssätt som infauna kan vara grunden till detta. Slutligen är båda arternas datapunkter statistiskt mycket signifikanta. Minst lämpad är *Q. arctica* eftersom  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  har en uppenbar inflytande på dess Mg/Ca kvot, trots dess statistiska signifikans. Vidare anses varken *C. wuellerstorfi* och *C. mundulus* Mg/Ca kvotvara lämpliga som temperaturproxy då det under senare forskning tyder på att arternas Mg/Ca kvot inte är temperaturberoende eller att de påverkas av  $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$  effekter.

## 6. Tackord

Jag vill främst tacka min handledare Helena Filipsson för hennes stöd, tips, råd och uppmuntrande under projektets gång. Jag vill även passa på att tacka Carl Alwmark och Britta Smångs på geologiska institutionen i Lund för deras snabba hjälp vid frågor, referenshantering och utlåning av den litteratur som använts.

## 7. Referenser

Anderson, O. R. & Lee, J. J. 1991: Cytology and fine structure. *I* J. J. Lee & O. R. Anderson (red.): *Biology of Foraminifera*, 7-40. Academic Press Limited,

Anderson, O. R., Bowser, S. S., Jr., W. W. F., Hallock, P., Kuile, B. T., Lee, J. J., Murray, J. W., Pawlowski, J., Röttger, R., Travis, J. L. & Wetmore, K., 1991: *Biology of Foraminifera*. Academic Press, London. 368 sid.

Angell, R. W., 1967: The Process of Chamber Formation in the Foraminifer *Rosalina floridana*. Chicago, University of Chicago. 566-574 s.

Archer, D. 2006: Biological Fluxes in the Ocean and Atmospheric pCO<sub>2</sub>. *I* H. Elderfield (red.): *The Oceans and Marine Geochem-*

*istry*, 275-292, Oxford, UK; Amsterdam, The Netherlands.

Armstrong, H. A. & Brasier, M. D. 2005: Microfossils. *I* *Microfossils*, Second Edition ed, 142-187. Blackwell Publishing,

Barrientos, N., Lear, C. H., Jakobsson, M., Stranne, C., O'regan, M., Cronin, T. M., Gukov, A. Y. & Coxall, H. K., 2018: Arctic Ocean benthic foraminifera Mg/Ca ratios and global Mg/Ca-temperature calibrations: New constraints at low temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

Broecker, W. S. 2006: The Oceanic CaCO<sub>3</sub> Cycle. *I* H. Elderfield (red.): *The Oceans and Marine Geochemistry*, 529-547, Oxford, UK; Amsterdam, The Netherlands.

Calvert, S. E. & Pedersen, T. F. 2007: Elemental Proxies for Reconstructing Cenozoic Seawater Paleotemperatures from Calcareous Fossils. *I* C. Hillaire-Marcel & A. D. Vernal (red.): *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*, 765-798,

Dirk Nürnberg, J. B., Christoph Hemleben., 1996: Assessing the reliability of magnesium in foraminiferal calcite as a proxy for water mass temperatures. Bremerhaven, Germany, Alfred Wegener Institute. 803-814 s.

Dissard, D., Nehrke, G., Reichart, G. J. & Bijma, J., 2010: The impact of salinity on the Mg/Ca and Sr/Ca ratio in the benthic foraminifera *Ammonia tepida*: Results from culture experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 928-940 s.

Dubicka, Z., Wierzbowski, H. & Wierny, W., 2018: Oxygen and carbon isotope records of Upper Cretaceous foraminifera from Poland: vital and microhabitat effects: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 500, 33-51. doi: 10.1016/j.palaeo.2018.03.029

Duenas-Bohorquez, A., Raitzsch, M., De Nooijer, L. J. & Reichart, G. J., 2011: Independent impacts of calcium and carbonate ion concentration on Mg and Sr incorporation in cultured benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*. Elsevier.

Elderfield, H., 2006: *The Oceans and Marine Geochemistry*. Italy.

Elderfield, H., Yu, J., Anand, P., Kiefer, T. & Nyland, B., 2006: Calibrations for benthic foraminiferal Mg/Ca paleothermometry and the carbonate ion hypothesis.



- Earth and Planetary Science Letters*. 633-649 s.
- Elderfield, H., Greaves, M., Barker, S., Hall, I. R., Tripathi, A., Ferretti, P., Crowhurst, S., Booth, L. & Daunt, C., 2010: A record of bottom water temperature and seawater  $\delta^{18}O$  for the Southern Ocean over the past 440 kyr based on Mg:Ca of benthic foraminiferal *Uvigerina* spp. *Quaternary Science Reviews*. Elsevier. 160-169 s.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V. J. & Millero, F. J., 2004: Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans. 362-366 s.
- Filipsson, H. 2018. [Personlig kommunikation].
- Geerken, E., De Nooijer, L. J., Van Dijk, I. & Reichert, G.-J., 2017: Impact of salinity on element incorporation in two benthic foraminiferal species with contrasting Magnesium contents. *Biogeosciences Discussions*. 1-22 s.
- Goldstein, S. T. 1999: Foraminifera: A biological overview. I B. K. S. Gupta (red.): *Modern Foraminifera*, 37-56. Kluwer Academic Publisher, Great Britain.
- Grossman, E. L., 1984: Stable isotope fractionation in live benthic foraminifera from the southern California borderland. *Paleoceanography, Paleoclimatology, Paleogeography*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers. 301-327 s.
- Gupta, B. K. S. 1999a: Introduction to modern foraminifera. I B. K. S. Gupta (red.): *Modern Foraminifera*, 3-6. Kluwer Academic Publisher, Great Britain.
- Gupta, B. K. S. 1999b: Systematics of modern Foraminifera. I B. K. S. Gupta (red.): *Modern Foraminifera*, 7-36. Kluwer Academic Publisher, Great Britain.
- Gupta, B. K. S., Goldstein, S. T., Hansen, H. J., Parker, W. C. & Arnold, A. J., 1999: *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Hallock, P., Röttger, R. & Wetmore, K. 1991: Hypotheses on form and function in foraminifera. I J. J. Lee & O. R. Anderson (red.): *Biology of Foraminifera*, 41-72. Academic Press Limited,
- Hansen, H. J. 1999: Shell construction in modern calcareous Foraminifera. I B. K. S. Gupta (red.): *Modern Foraminifera*, 57-70. Kluwer Academic Publisher, Great Britain.
- Hasenfratz, A. P., Schiebel, R., Thornalley, D. J. R., Schönfeld, J., Jaccard, S. L., Martínez-García, A., Holbourn, A., Jennings, A. E., Kuhnt, W., Lear, C. H., Marchitto, T. M., Quillmann, U., Rosenthal, Y., Yu, J. & Haug, G. H., 2017: Mg/Ca-temperature calibration for the benthic foraminifera *Melonis barleeanum* and *Melonis pompilioides*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 365-383 s.
- Haynes, J. R. 1981a: Test Morphology and Composition. *I Foraminifera*, 40-59. Scientific and Medical Division Macmillan Publisher LTD, London and Basingstoke.
- Haynes, J. R., 1981b: *Foraminifera*. Scientific and Medical Division Macmillan Publisher LTD, London and Basingstoke.
- Haynes, J. R. 1981c: The Living Foraminifer. *I Foraminifera*, 29-39. Scientific and Medical Division Macmillan Publisher LTD, London and Basingstoke.
- Haynes, J. R. 1981d: The Globigerinida. *I Foraminifera*, 309-348. Scientific and Medical Division Macmillan Publisher LTD, London and Basingstoke.
- Healey, S. L., Thunell, R. C. & Corliss, B. H., 2008: The Mg/Ca-temperature relationship of benthic foraminiferal calcite: New core-top calibrations in the <4 °C temperature range. *Earth and Planetary Science Letters*. 523-530 s.
- Hillaire-Marcel, C. & Vernal, A. D., 2007: *Proxies in late cenozoic paleoceanography*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Jorissen, F. J., Fontanier, C. & Thomas, E. 2007: Paleoceanographical Proxies Based on Deep-Sea Benthic Foraminiferal Assemblage Characteristics. I C. Hillaire-Marcel & A. D. Vernal (red.): *Proxies in Late Cenozoic Paleocanography*, 263-326,
- Katz, M. E., Katz, D. R., Wright, J. D., Miller, K. G., Pak, D. K., Shackleton, N. J. & Thomas, E., 2003: Early Cenozoic benthic foraminiferal isotopes: Species reliability and interspecies correction factors: *Paleoceanography* 18, n/a-n/a. doi: 10.1029/2002pa000798
- Kristjansdottir, G. B., Lea, D. W., Jennings, A. E., Pak, D. K. & Belanger, C., 2007: New spatial Mg/Ca-temperature calibrations for three Arctic, benthic foraminifera and

- reconstruction of north Iceland shelf temperature for the past 4000 years. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 27 s.
- Lea, D. W. 1999: Trace elements in foraminiferal calcite. I B. K. S. Gupta (red.): *Modern Foraminifera*, 259-278. Kluwer Academic Publisher, Great Britain.
- Lea, D. W. 2006: Elemental and Isotopic Proxies of Past Ocean Temperatures. I H. Elderfield (red.): *The Oceans and Marine Geochemistry*, 365-390, Oxford, UK; Amsterdam, The Netherlands.
- Lear, C. H., Rosenthal, Y. & Slowey, N., 2002: Benthic foraminiferal Mg:Ca-paleothermometry- A revised core-top calibration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Lear, C. H., Mawbey, E. M. & Rosenthal, Y., 2010: Cenozoic benthic foraminiferal Mg/Ca and Li/Ca records: Toward unlocking temperatures and saturation states: *Paleoceanography* 25, n/a-n/a. doi: 10.1029/2009pa001880
- Lee, J. J., Jr, W. W. F., Anderson, O. R. & Pawlowski, J. 1991: Life-cycles of foraminifera. I J. J. Lee & O. R. Anderson (red.): *Biology of Foraminifera*, 285-334. Academic Press Limited,
- Martin, P. A. & Lea, D. W., 2002: A simple evaluation of cleaning procedures on fossil benthic foraminiferal Mg/Ca. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 1-8 s.
- Mccorkle, D. C., Martin, P. A., Lea, D. W. & Klinkhammer, G. P., 1995: Evidence of a dissolution effect on benthic foraminiferal shell chemistry:  $\delta^{13}C$ , Cd/Ca, Ba/Ca, and Sr/Ca results from the Ontong Java Plateau. *Paleoceanography*.
- Murray, J. W., 1991a: *Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera*. Routledge. 396 sid.
- Murray, J. W. 1991b: Ecology and distribution of benthic foraminifera. I J. J. Lee & O. R. Anderson (red.): *Biology of Foraminifera*, 221-254. Academic Press Limited,
- Nooijer, L. J. D., Toyofuku, T. & Kitazato, H., 2009: Foraminifera promote calcification by elevating their intracellular pH. *PNAS*.
- Raitzsch, M., Kuhnert, H., Groeneveld, J. & Bickert, T., 2008: Benthic foraminiferal Mg/Ca anomalies in South Atlantic core top sediments and their implications for paleothermometry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. n/a-n/a s.
- Rathburn, A. E. & Dekker, P. D., 1997: Magnesium and strontium compositions of Recent benthic foraminifera from the Coral Sea, Australia and Prydz Bay, Antarctica. Canberra, Australia, The Australian Quaternary Program, Department of Geology. 18 s.
- Rosenthal, Y., Boyle, E. A. & Slowey, N., 1997: Temperature control on the incorporation of magnesium, strontium, fluorine, and cadmium into benthic foraminiferal shells from Little Bahama Bank- Prospects for thermocline paleoceanography. *Pergamon. Geochimica et Cosmochimica Acta*. 3633-3643 s.
- Russel, A. D., Emerson, S., Nelson, B. K., Erez, J. & Lea, D. W., 1994: Uranium in foraminiferal calcite as a recorder of seawater uranium concentrations. *Pergamon. USA, Geochemica Acta*. 671-681 s.
- Skirbekk, K., Hald, M., Marchitto, T. M., Juntila, J., Kristensen, D. K. & Sørensen, S. A., 2016: Benthic foraminiferal growth seasons implied from Mg:Ca-temperature correlations for three Arctic species. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. AGU Publications. 4684-4704 s.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1996: Correlation. I *Introduction to Biostatistics*, 267-293. W. H. Freeman and Company, New York.
- Tisserand, A., 2015: Calibration, validation and application of the foraminiferal Mg/Ca. Univeristy of Bergen, Univeristy of Bergen.
- Tisserand, A. A., Dokken, T. M., Waelbroeck, C., Gherardi, J.-M., Scao, V., Fontanier, C. & Jorissen, F., 2013: Refining benthic foraminiferal Mg/Ca-temperature calibrations using core-tops from the western tropical Atlantic: Implication for paleotemperature estimation: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 14, 929-946. doi: 10.1002/ggge.20043
- Toyofuku, T., Kitazato, H., Kawahata, H., Tsuchiya, M. & Nohara, M., 2000: Evaluation of Mg/Ca thermometry in foraminifera: Comparison of experimental results and measurements in nature. *Paleoceanography*. 456-464 s.
- Weldeab, S., Arce, A. & Kasten, S., 2016: Mg/Ca- $\Delta CO_2$  porewater-temperature calibration for *Globobulimina* spp.: A sensitive paleothermometer for deep-sea tempera-

ture reconstruction. *Earth and Planetary Science Letters*. 95-102 s.

Yu, J. & Elderfield, H., 2008: Mg/Ca in the benthic foraminifera *Cibicidoides wuellerstorfi* and *Cibicidoides mundulus*: Temperature versus carbonate ion saturation. *Earth and Planetary Science Letters*. 129-139 s.



**Tidigare skrifter i serien  
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds  
universitet”:**

481. Schönström, Jonas, 2016: Resistivitets- och markradarmätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar. (15 hp)
482. Martell, Josefín, 2016: A study of shock-metamorphic features in zircon from the Siljan impact structure, Sweden. (15 hp)
483. Rosvall, Markus, 2016: Spår av himlakroppskollisioner - bergarter i nedslag-skratrar med fokus på Mien, Småland. (15 hp)
484. Olausson, My, 2016: Resistivitets- och IP-mätningar på den nedlagda deponin Gustavsfält i Halmstad. (30 hp)
485. Plan, Anders, 2016: Markradar- och resistivitetsmätningar – undersökningar utav korrosionsförhöjande markegenskaper kring fjärrvärmeledningar i Ängelholm. (15 hp)
486. Jennerheim, Jessica, 2016: Evaluation of methods to characterise the geochemistry of limestone and its fracturing in connection to heating. (45 hp)
487. Olsson, Pontus, 2016: Ekologiskt vatten från Lilla Klåveröd: en riskinventering för skydd av grundvatten. (15 hp)
488. Henriksson, Oskar, 2016: The Dynamics of Beryllium 10 transport and deposition in lake sediments. (15 hp)
489. Brådenmark, Niklas, 2016: Lower to Middle Ordovician carbonate sedimentology and stratigraphy of the Pakri peninsula, north-western Estonia. (45 hp)
490. Karlsson, Michelle, 2016: Utvärdering av metoderna DCIP och CSIA för identifiering av nedbrytningszoner för klorerade lösningsmedel: En studie av Färgaren 3 i Kristianstad. (45 hp)
491. Elali, Mohammed, 2016: Flygsanddyners inre uppbyggnad – georadarundersökning. (15 hp)
492. Preis-Bergdahl, Daniel, 2016: Evaluation of DC Resistivity and Time-Domain IP Tomography for Bedrock Characterisation at Önneslöv, Southern Sweden. (45 hp)
493. Kristensson, Johan, 2016: Formation evaluation of the Jurassic Stø and Nordmela formations in exploration well 7220/8-1, Barents Sea, Norway. (45 hp)
494. Larsson, Måns, 2016: TEM investigation on Challapampa aquifer, Oruro Bolivia. (45 hp)
495. Nylén, Fredrik, 2017: Utvärdering av borrhålskartering avseende kalksten för industriella ändamål, File Hajdarbrottet, Slite, Gotland. (45 hp)
496. Mårdh, Joakim, 2017: A geophysical survey (TEM; ERT) of the Punata alluvial fan, Bolivia. (45 hp)
497. Skoglund, Wiktor, 2017: Provenansstudie av detritala zirkoner från ett guldförande alluvium vid Ravlunda skjutfält, Skåne. (15 hp)
498. Bergerantz, Jacob, 2017: Ett fönster till Kattegatts förflutna genom analys av bottenlevande foraminiferer. (15 hp)
499. O'Hare, Paschal, 2017: Multiradionuclide evidence for an extreme solar proton event around 2610 BP. (45 hp)
500. Goodship, Alastair, 2017: Dynamics of a retreating ice sheet: A LiDAR study in Värmland, SW Sweden. (45 hp)
501. Lindvall, Alma, 2017: Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden? (15 hp)
502. Sköld, Carl, 2017: Analys av stabila isotoper med beräkning av blandningsförhållande i ett grundvattenmagasin i Älvkarleby-Skutskär. (15 hp)
503. Sällström, Oskar, 2017: Tolkning av geofysiska mätningar i hammarborrhål på södra Gotland. (15 hp)
504. Ahrenstedt, Viktor, 2017: Depositional history of the Neoproterozoic Visingsö Group, south-central Sweden. (15 hp)
505. Schou, Dagmar Juul, 2017: Geometry and faulting history of the Long Spur fault zone, Castle Hill Basin, New Zealand. (15 hp)
506. Andersson, Setina, 2017: Skalbärande marina organismer och petrografi av tidig-campanska sediment i Kristianstadsbassängen – implikationer på paleomiljö. (15 hp)
507. Kempengren, Henrik, 2017: Förorenings-spridning från kustnära deponi: Applicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvatten-transport till Östersjön. (15 hp)
508. Ekborg, Charlotte, 2017: En studie på samband mellan jordmekaniska egenskaper och hydrodynamiska processer när erosion påverkar släntstabiliteten vid ökad nederbörd. (15 hp)
509. Silvé, Björn, 2017: LiDARstudie av glaciala landformer sydväst om Söderåsen, Skåne, Sverige. (15 hp)
510. Rönning, Lydia, 2017: Ceratopsida dinosauriers migrationsmönster under krittiden baserat på paleobiogeografi och fylogeni. (15 hp)
511. Engleson, Kristina, 2017: Miljökonsekvensbeskrivning Revinge brunnsfält. (15 hp)
512. Ingered, Mimmi, 2017: U-Pb datering av zirkon från migmatitisk gnejs i Delsjöom-

- rådet, Idefjordenterrängen. (15 hp)
513. Kervall, Hanna, 2017: EGS - framtidens geotermiska system. (15 hp)
514. Walheim, Karin, 2017: Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminescensdatering. (15 hp)
515. Aldenius, Erik, 2017: Lunds Geotermisystem, en utvärdering av 30 års drift. (15 hp)
516. Aulin, Linda, 2017: Constraining the duration of eruptions of the Rangitoto volcano, New Zealand, using paleomagnetism. (15 hp)
517. Hydén, Christina Engberg, 2017: Drumlinerna i Löberöd - Spår efter flera isrörelseriktningar i mellersta Skåne. (15 hp)
518. Svantesson, Fredrik, 2017: Metodik för kartläggning och klassificering av erosion och släntstabilitet i vattendrag. (45 hp)
519. Stjern, Rebecka, 2017: Hur påverkas luminescenssignaler från kvarts under laboratorieförhållanden? (15 hp)
520. Karlstedt, Filippa, 2017: P-T estimation of the metamorphism of gabbro to the garnet amphibolite at Herrestad, Eastern Segment of the Sveconorwegian orogen. (45 hp)
521. Önnervik, Oscar, 2017: Ooider som naturliga arkiv för förändringar i havens geokemi och jordens klimat. (15 hp)
522. Nilsson, Hanna, 2017: Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark. (15 hp)
523. Christensson, Lisa, 2017: Geofysisk undersökning av grundvattenskydd för planerad reservvattentäkt i Mjölkalånga, Hässleholms kommun. (15 hp)
524. Stamsnijder, Joaen, 2017: New geochronological constraints on the Klipriviersberg Group: defining a new Neoproterozoic large igneous province on the Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
525. Becker Jensen, Amanda, 2017: Den eocena Furformationen i Danmark: exceptionella bevaringstillstånd har bidragit till att djurs mjukdelar fossiliserats. (15 hp)
526. Radomski, Jan, 2018: Carbonate sedimentology and carbon isotope stratigraphy of the Tallbacken-1 core, early Wenlock Slite Group, Gotland, Sweden. (45 hp)
527. Pettersson, Johan, 2018: Ultrastructure and biomolecular composition of sea turtle epidermal remains from the Campanian (Upper Cretaceous) North Sulphur River of Texas. (45 hp)
528. Jansson, Robin, 2018: Multidisciplinary perspective on a natural attenuation zone in a PCE contaminated aquifer. (45 hp)
529. Larsson, Alfred, 2018: Rb-Sr sphalerite data and implications for the source and timing of Pb-Zn deposits at the Caledonian margin in Sweden. (45 hp)
530. Baliya, Fismik, 2018: Stratigraphy and pyrite geochemistry of the Lower-Upper Ordovician in the Lerhamn and Fågelsång -3 drill cores, Scania, Sweden. (45 hp)
531. Höglund, Nikolas, 2018: Groundwater chemistry evaluation and a GIS-based approach for determining groundwater potential in Mörbylånga, Sweden. (45 hp)
532. Haag, Vendela, 2018: Studie av mikrostrukturer i karbonatslagkaglar från nedslagsstrukturen Charlevoix, Kanada. (15 hp)
533. Hebrard, Benoit, 2018: Antropocen – vad, när och hur? (15 hp)
534. Jancsak, Nathalie, 2018: Åtgärder mot kusterosion i Skåne, samt en fallstudie av erosionsskydden i Löderup, Ystad kommun. (15 hp)
535. Zachén, Gabriel, 2018: Mesosideriter – redogörelse av bildningsprocesser samt SEM-analys av Vaca Muerta meteoriten. (15 hp)
536. Fägersten, Andreas, 2018: Lateral variability in the quantification of calcareous nannofossils in the Upper Triassic, Austria. (15 hp)
537. Hjertman, Anna, 2018: Förutsättningar för djupinfiltration av ytvatten från Ivösjön till Kristianstadbassängen. (15 hp)
538. Lagerstam, Clarence, 2018: Varför svalde svanödlor (Reptilia, Plesiosauria) stenar? (15 hp)
539. Pilser, Hannes, 2018: Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperaturer nära 0°C. (15 hp)



## LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund