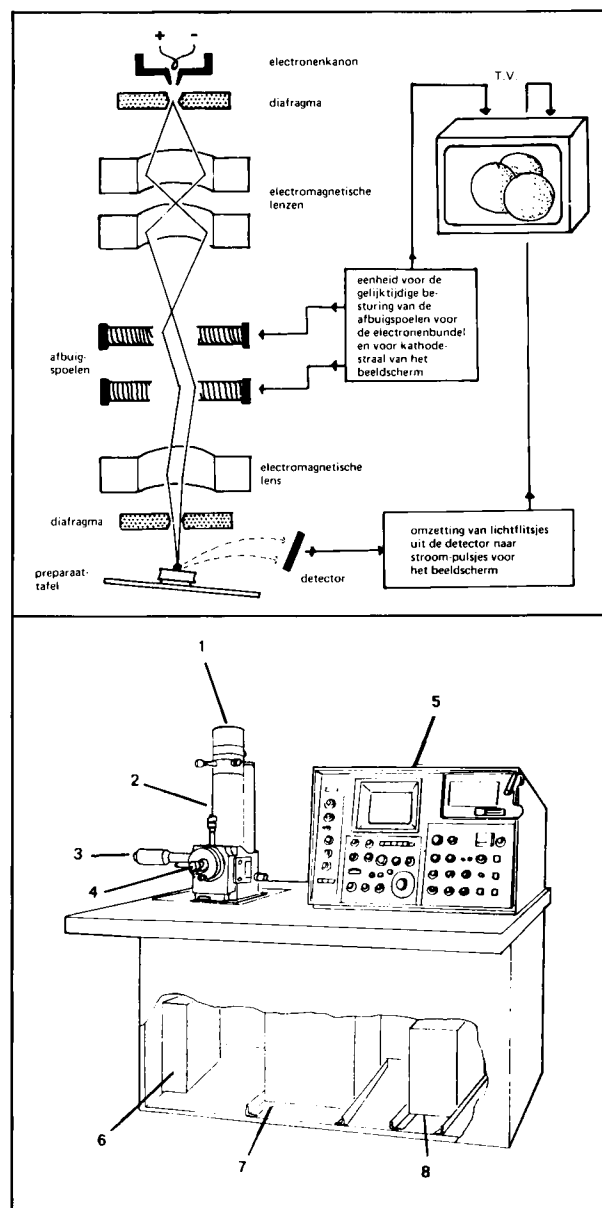


meer lijnen worden afgetast en geschreven, zodat het oplossend vermogen (scherpte van het beeld) bij een SEM veel hoger ligt dan bij TV.

De helderheid van een lichtpuntje op het scherm, dus het kleinste beeldvormende elementje, hangt dus af van de hoeveelheid elektronen die op de detector vallen. Deze hoeveelheid is weer afhankelijk van de oppervlakte-oriëntatie van het voorwerp ten opzichte van de detector. Als de elektronenbundel uit het kanon valt op een puntje van het voorwerp dat (vanuit de detector gezien) verscholen ligt achter een verhevenheid, dan zullen maar weinig opgespatte elektronen op de detector vallen en het lichtpuntje op het scherm zal vrij donker zijn. Valt de elektronenbundel op een punt met "uitzicht" op de detector, dan zal juist een helder lichtvlekje op het scherm verschijnen.

SEM-foto's worden direct vanaf een beeldscherm gemaakt. Bij de meeste SEM's is er evenwel een aparte TV-buis voor het fotobeeld. De in dit nummer afgebeelde SEM-foto's zijn alle gemaakt op het laboratorium voor Micropaleontologie van de Vrije Universiteit (door A.R. Fortuin, met uitzondering van afb. 6 door Y.A. Baumfalk).



Afb. 8. Schema van de werking van het Scanning Electronen Microscop en afbeelding van het gehele instrument. Afgebeeld is het model ISI - 40, waarmee de in dit nummer getoonde SEM-foto's gemaakt zijn. Zie de tekst voor de verklaring van de werking. De genummerde onderdelen van dit microscop zijn: 1. het „elektronenkanon“, waarin de gloeidraad zit; 2. de kolom met het optische gedeelte; 3. de detector; 4. de preparaatkamer met knoppen voor de preparaatbeweging; 5. het bedieningspaneel met beeldscherm en apart scherm voor de camera; 6. elektronica voor bediening vacuumpompen; 7. de hoogspanningsunit (voor de levering van 30.000 volt spanning op de gloeidraad); 8. unit ter beheersing van de opgewekte hoogspanning.

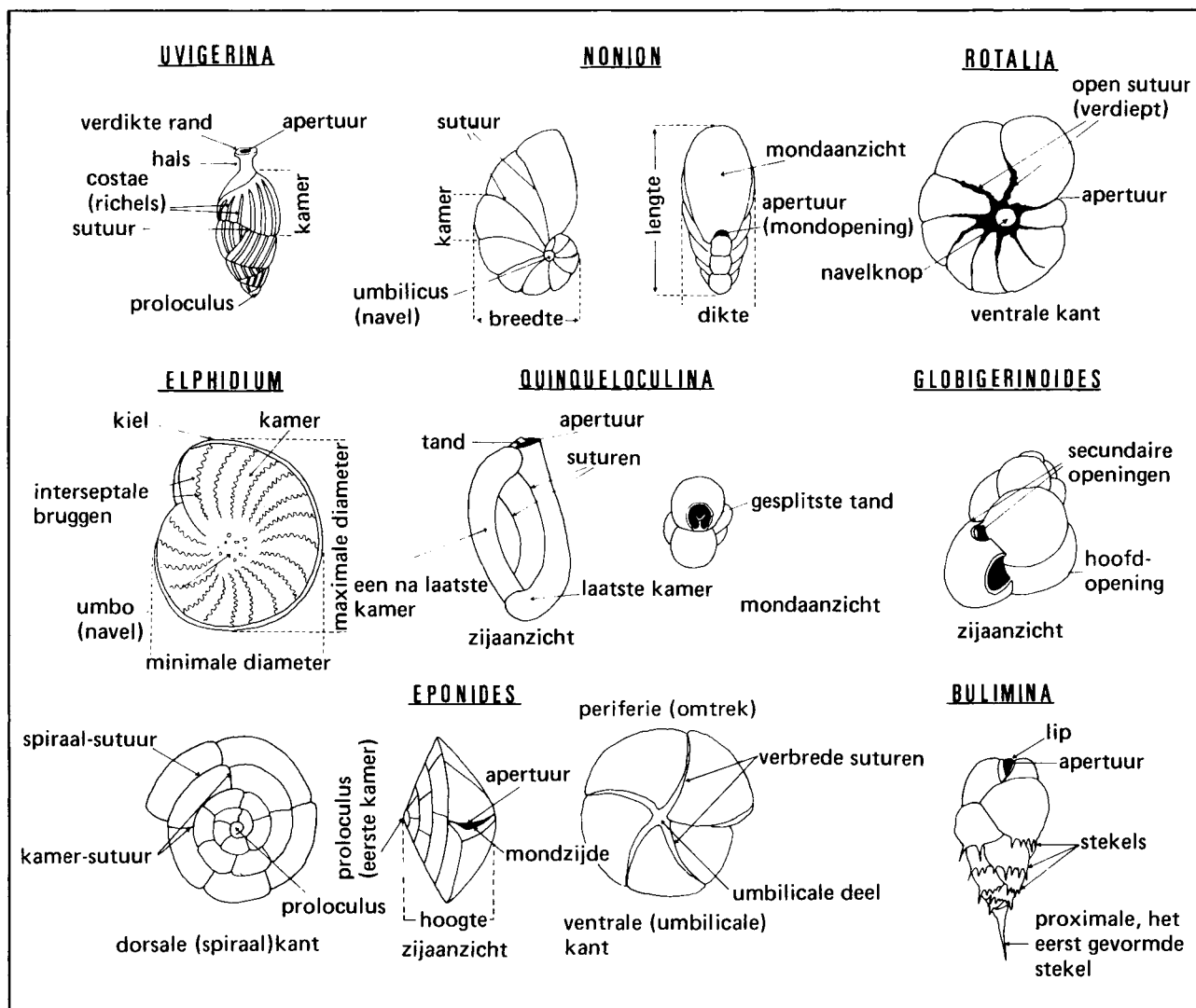
De bouw van foraminiferen

door A.R. Fortuin

Foraminiferen vormen op heel veel manieren hun schaal. Omdat de studie van deze organismen vooral vanuit de paleontologie beoefend werd, zijn de vorm en de opbouw van de schaal (de zg. wandstructuur) steeds het uitgangspunt geweest voor de systematische indeling. Nog steeds is de kennis van de morfologische eigenschappen groter dan die van de biologische. Zie voor de termen die op de morfologie betrekking hebben afb. 9a.

De schaal is uit één of meer kamertjes opgebouwd. De belangrijkste schaalvormen zijn aangegeven in afb. 9b. Als er meer kamers aanwezig zijn, is de eerste meestal het kleinste (deze wordt **proloculus** of **protoconch** genoemd). De kamers grenzen aan elkaar door middel van **septa**, de

kamertussenschotjes. Deze tussenwandjes zijn voorzien van een opening, het **foramen** genaamd. De opening van de laatste kamer noemt men de **mondopening** of **apertuur**. De uitwendig zichtbare grenslijn tussen twee kamers heet **sutuur**. De suturen kunnen breed zijn, verdikt, of juist wat diep liggend, recht, gebogen, etc. (zie afb. 9a). Ook open suturen bestaan: bij die foramgroepen waarbij heel kleine kanaalsysteempjes aanwezig zijn tussen de septa (bij *Elphidium* en *Rotalia* in afb. 9a). De kamers kunnen uitwendig versierd zijn, bijvoorbeeld met richels of stekels. Hun vorm varieert van bol tot plat, van hoekig of gestekeld tot cirkelrond. De vorm van de kamers is meestal van ondergeschikt belang voor de systematiek (op soort-niveau).



Wel van groot belang voor de systematiek zijn vorm en ligging van de mondopening. Dit is geen wonder, vanwege de belangrijke rol die deze speelt bij de levensfuncties. De eenvoudigste plaats is aan het uiteinde van de laatst gevormde kamer (= terminaal). Deze kan daar dan centraal of excentrisch liggen, zie afb. 10. Ook laterale openingen (aan de zijkant) komen voor, zoals bij *Cassidulina* in afb. 10. In gewonden vormen kan de opening aan de periferie (= omtrek, buitenkant) liggen, hetzij centraal, aan de basis of juist aan de top (afb. 10). Ook kan de apertuur langs de kamersuturen gelegen zijn. Met een interiomarginale positie (afb. 10) bedoelt men een opening die aan de basis en bij de suturetrand gelegen is. De vorm van de mondopening kan bijvoorbeeld rond zijn, ovaal, spleetvormig, radiaal (de opening is dan omgeven door radiaal verlopende spleetjes), komvormig, kruisvormig of zelfs fijn vertakt (= dendritisch), zie afb. 11. De opening kan ook geplaatst zijn aan het uiteinde van een buisje (de hals) en voorzien zijn van een verdikte rand of lip, zoals bij *Uvigerina* in afb. 9a.

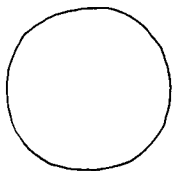
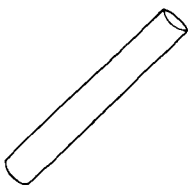
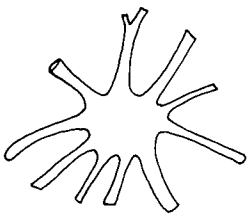
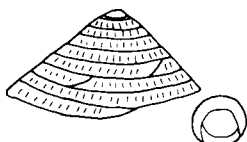
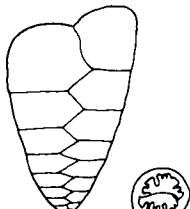
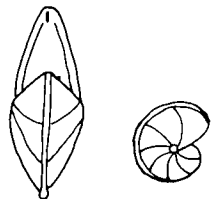
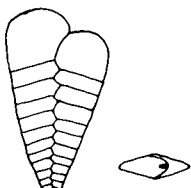
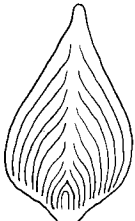
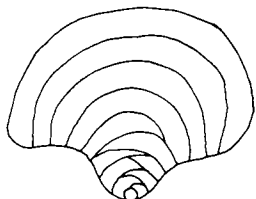
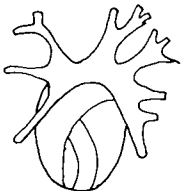
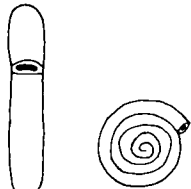
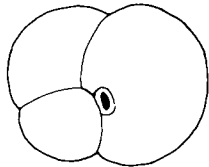
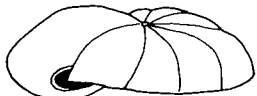
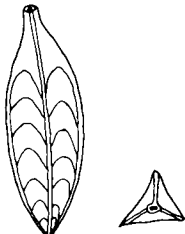
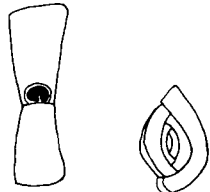
In de mondopening kunnen structuren aanwezig zijn als bijvoorbeeld tandplaten, ook wel kortweg "tand" genoemd bij kleinere afmetingen, of buisvormige groeisel, die in verbinding staan met oudere kamers ("entosenian neck" genoemd). Ook hun aanwezigheid en vorm is van belang, maar zulke details zijn vaak lastig te zien. Met hulp van de scanning elektronen microscoop kunnen ze echter uitstekend geïllustreerd worden. Voorbeelden

Afb. 9a. Overzicht van de terminologie voor de morfologie (naar Boltovskoy en Wright, 1976).

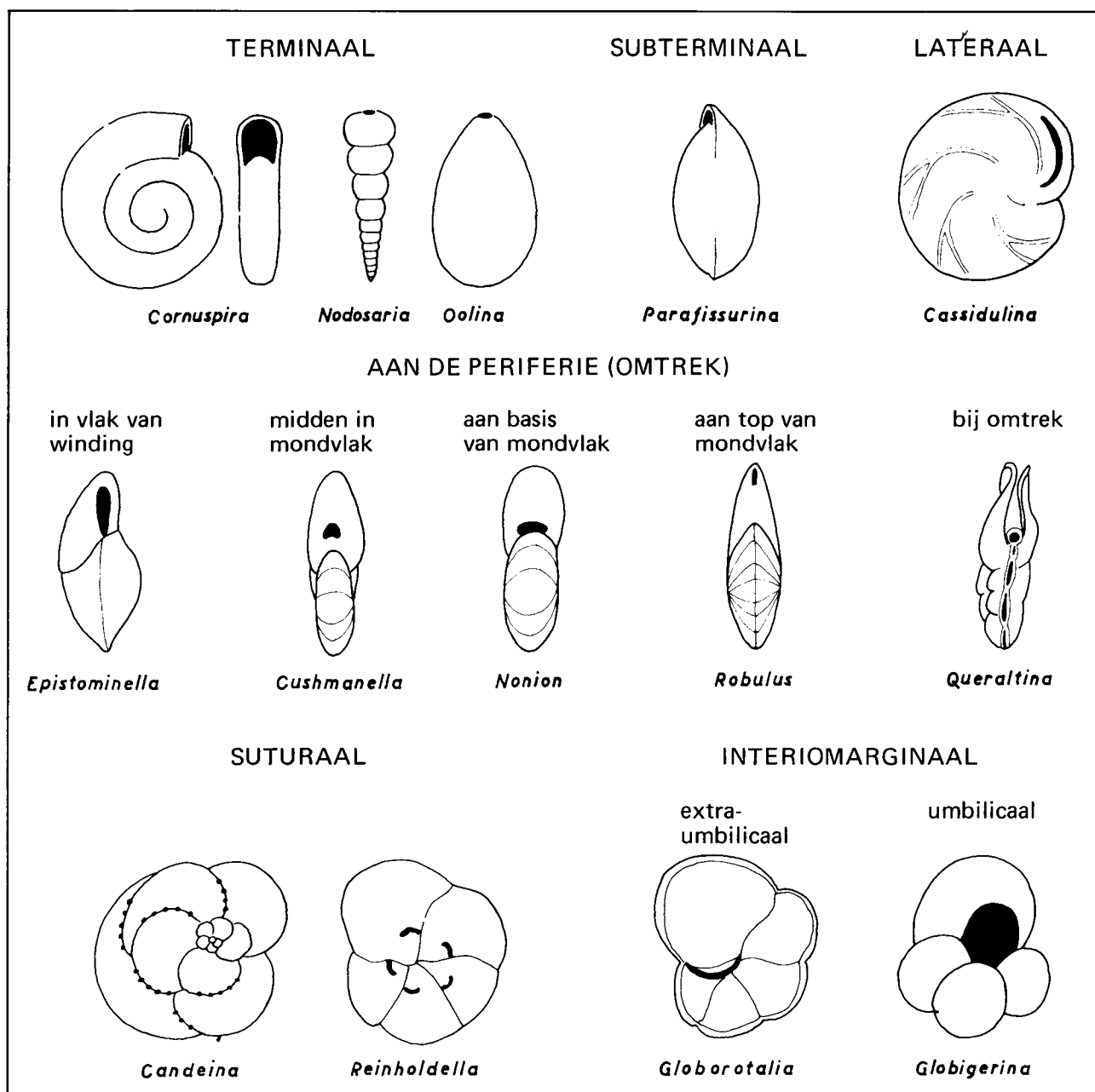
daarvan zijn getoond in afb. 12. Ditzelfde geldt voor de poriën van de kamerwanden.

De manier waarop de kamers ten opzichte van elkaar geplaatst zijn kan erg variëren (afb. 13) en werd vroeger van het grootste belang geacht voor de classificatie. Het is zeker een belangrijk kenmerk, maar wordt tegenwoordig van minder belang gevonden dan de wandstructuur en de vorm en positie van de mondopening.

- a. **Monothalaam** (uniloculair) oftewel eenkamerig. De meest primitieve vormen, reeds aangetroffen in het Cambrium, zijn o.a. buisvormig. Er zijn echter allerlei variaties, van vertakt tot bolrond.
- b. Een eerste ronde kamer met een tweede, buisvormig uitgroeiende kamer. Die tweede kamer is dan vaak plan-spiraal gewonden.
- c. **Uniseriaal**. Meerdere kamers zijn achter elkaar geplaatst. Ze kunnen daarbij een rechte lijn volgen of gekromd zijn. Een bijzondere uniseriale rangschikking is die, waarbij de kamers afgeplat zijn en elkaar voor een belangrijk deel omvatten, of zelfs elkaar geheel gaan omvatten.
- d. **Biseriaal**. De kamers zijn geordend in twee alternerende rijen. Iedere volgende kamer is daarbij 180° gedraaid ten opzichte van de lengteas.

bolvormig	platrond	flesvormig	cilindrisch
			
ORBULINA	WEBBINELLA	LAGENA	BATHYSIPHON
vertakt	stervormig	conisch (laag)	conisch (hoog)
			
RHABDAMMINA	ASTRORHIZA	PATELLINA	TEXTULARIELLA
lensvormig	lancetvormig	palmaat	uitwaaierend
			
ROBULUS	BOLIVINA	FRONDICULARIA	PAVONINA
boomvormig	fistuleus	schijfvormig	opgeboid
			
DENDROPHRYA	POLYMORPHINA	CORNUSPIRA	SPHAEROIDINA
plano-convex	spoelvormig	driehoekig	biconcaaf
			
CIBICIDES	ALVEOLINELLA	TRIFARINA	SPIROLOCULINA

Afb. 9b. Overzicht van de schaalvormen (naar Boltovskoy en Wright, 1976).



Afb. 10. Positie van de mondopening (naar Boltovskoy en Wright, 1976).

e. **Triseriaal**. Drie kamers zijn gerangschikt in drie rijen. Dit patroon ontstaat door groei in een uitgerekte ruimtespiraal, waarbij 3 kamers in elke winding. De vierde kamer zit dus boven de eerste, etc.

f. **Planspiraal**. De kamers zijn gewonden in één vlak, net als bij de ammonieten. Omvatten de kamers de voorgaande winding, dan zijn ze **involuut**; raken zij de voorgaande winding slechts, dan noemt men dit **evoluut**. Overgangen van het ene type naar het andere bestaan. Het centrum van de winding, vanwaaruit de suturen uitstralen, wordt de „navel” (**umbilicus**) genoemd.

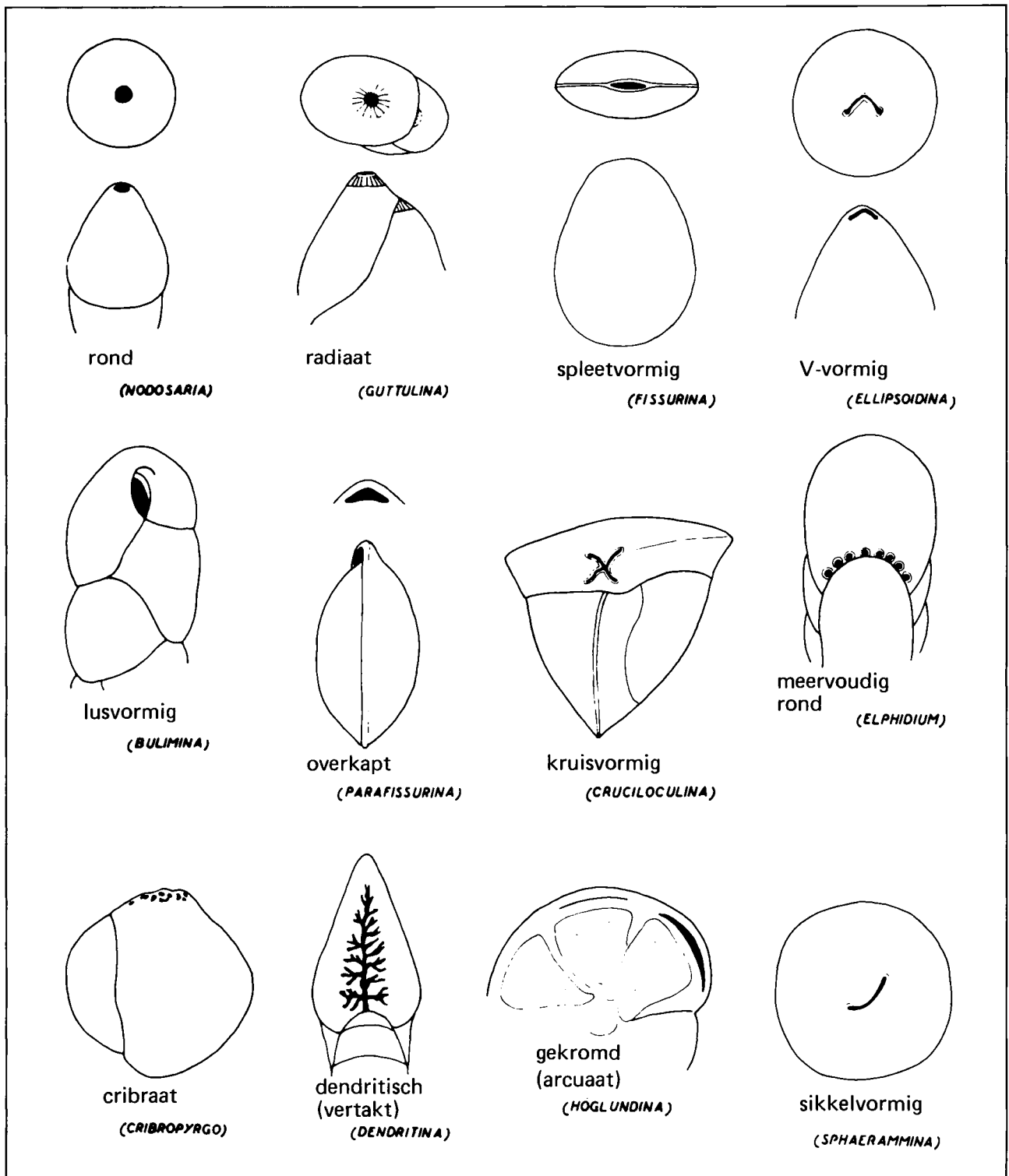
g. **Trochospiraal**. De kamers zijn in een ruimtespiraal gerangschikt, net als een slakkehuis. Karakteristiek voor dit windingstype is dat je aan de ene kant alleen de laatste winding kunt zien (de involute kant), terwijl aan de andere kant ook de voorgaande windingen te zien zijn (de

evolute kant). Normaal gesproken noemt men de involute kant **ventraal** (de „buikkant”), en de evolute kant **dorsaal** (de „rugzijde”).

Nog enkele windingstypen komen voor, maar die worden bij de bespreking van de betreffende groepen behandeld. Verder is het van belang te weten dat bij vele soorten de kamerrangschikking zich in de loop van het groeiproces kan wijzigen. Bekend is bijvoorbeeld de overgang van planspiraal, via biseriaal, naar uniseriaal. Uiteraard zijn dergelijke stappen van taxonomisch belang. Soms is van het oudste groeistadium maar weinig meer te zien en dan alleen nog bij microfere generaties.

“Grootforams en kleinforams”

In de micropaleontologie wordt onderscheid gemaakt tussen de grote, meer complex gebouwde foraminiferen en de kleinere, simpeler gebouwde. Er wordt dan kortweg

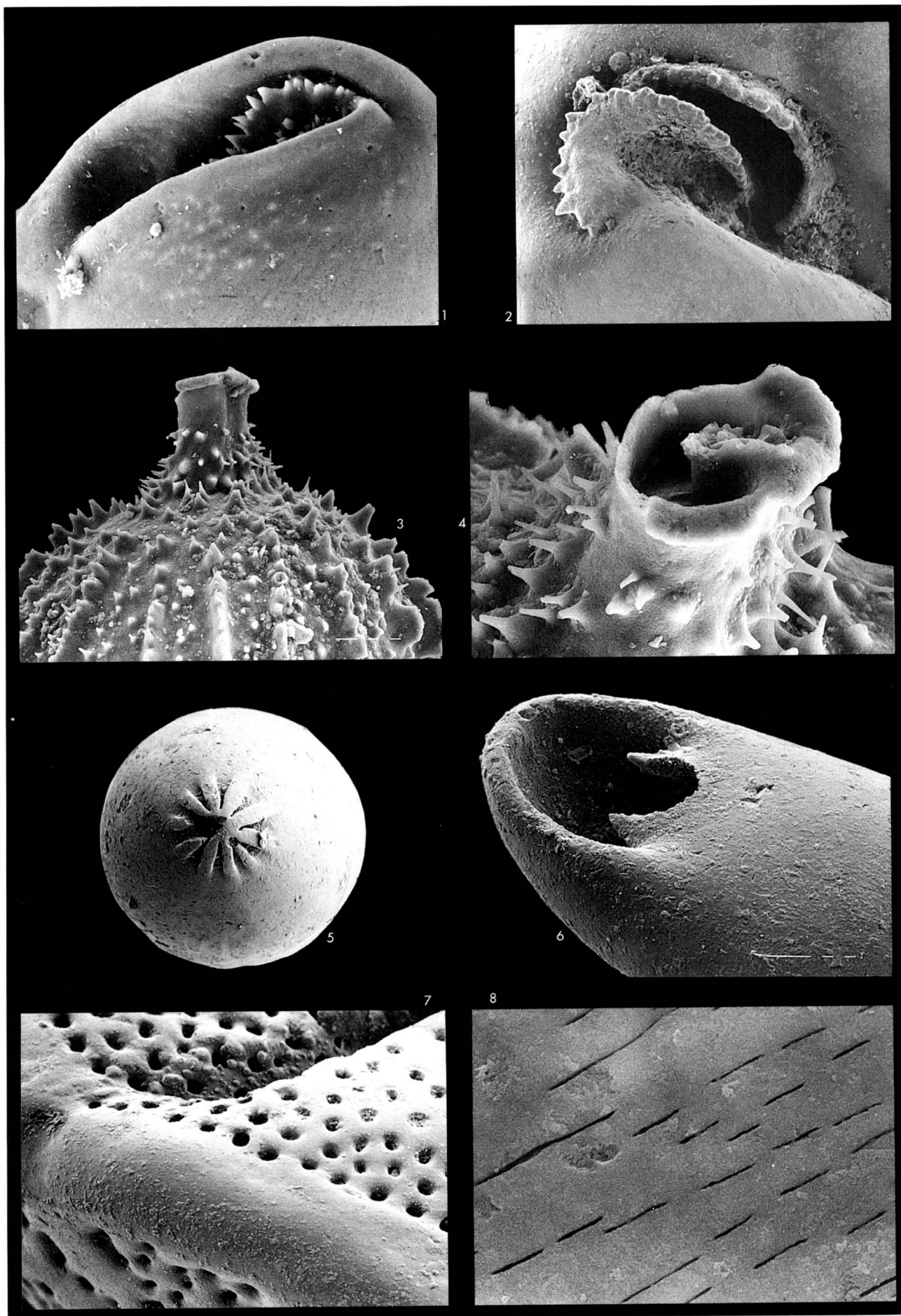


Afb. 11. Vorm van de mondopening (naar Boltovskoy en Wright, 1976).

gesproken over klein- en grootforams. Dit onderscheid berust niet zozeer op biologische gronden - de scheidslijn kan door families heen lopen - maar is uit de praktijk geboren. Om grootforams goed te kunnen determineren is het maken van slijpplaten of het aanslijpen onder de microscoop vaak noodzakelijk. Door hun afmetingen (van

enkele millimeters tot in extreme gevallen een decimeter) kunnen ze daarentegen in het veld al vaak met de loop tot op genusniveau gedetermineerd worden.

Daar er veel stratigrafisch waardevolle soorten bij zijn ("gidsfossielen") is enige kennis van de grootforaminiferen onmisbaar voor de veldgeoloog. Komen de kleine foraminiferen in alle mariene milieus voor - hetzij als plankton, hetzij als benthos - de grootforams worden alle gekenmerkt door een benthonische leefwijze in ondiepe zeeën. Onder voor hen gunstige omstandigheden kunnen ze zich daarbij massaal ontwikkelen.

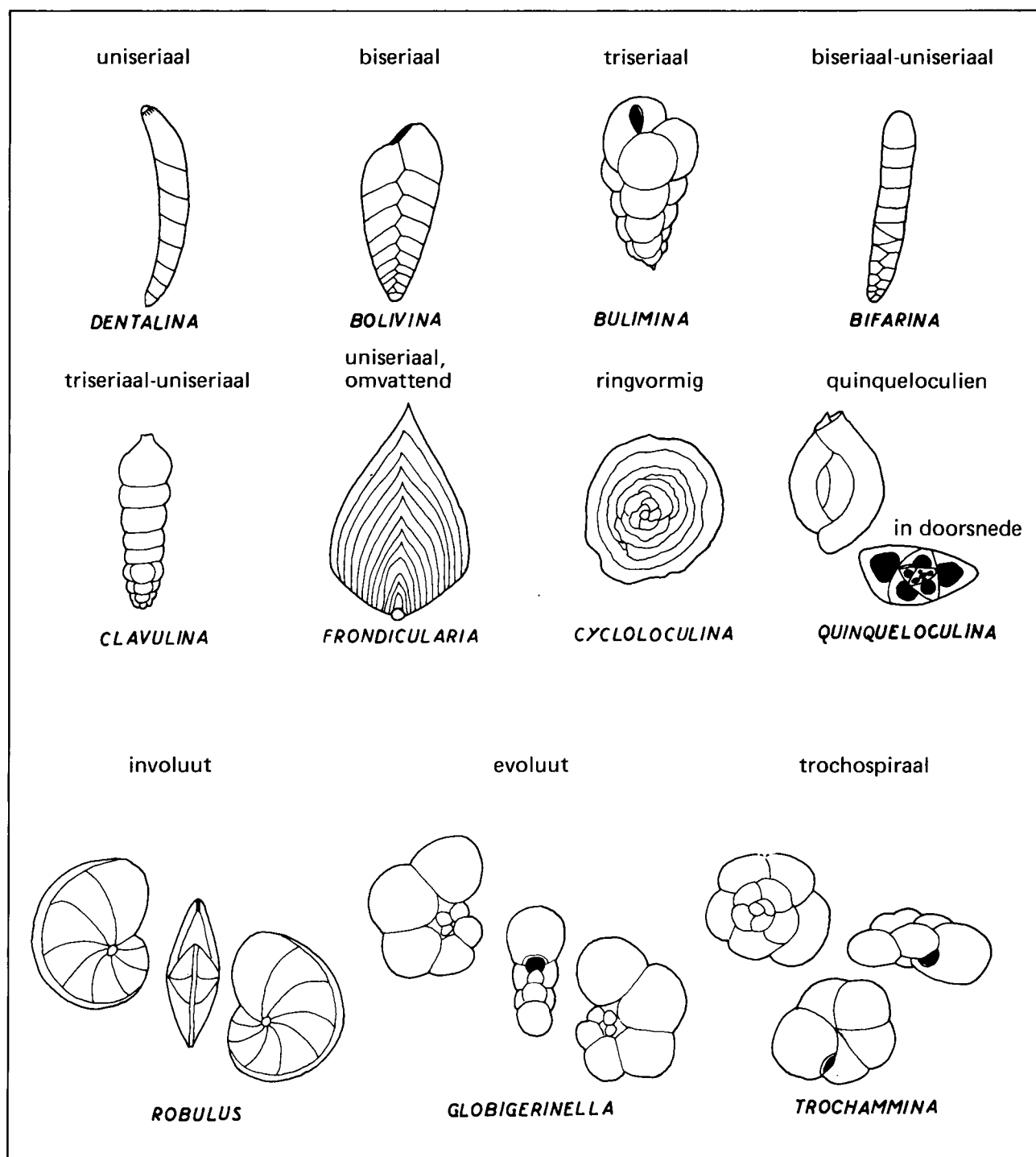


Afb. 12. SEM-foto's van enkele typen structuren in mondopeningen en wandperforaties.

Foto 1. Een tandplaat (x 680) van stekels voorzien in de overigens zeer gladwandige Fursenkoina (wanddetail in foto 8; geheel afgebeeld in afb. 21). Specimen afkomstig uit het Onder-Pliocene, Italië. Foto 2 toont de lusvormige mondopening bij Bulimina, die voorzien is van een gekartelde tandplaat (x 500). Foto 3 - eindstandige, tuitvormige mondopening van Uvigerina (x 500). Foto 4 - de tandplaat aanwezig in het tuitje van foto 3, scheef van boven gezien (x 1100). Specimen afkomstig uit het Pliocene. Foto 5 toont de eindstandige, radiate mondopening, zo typerend voor veel Nodosariacea. Afgebeeld is de laatste kamer (van bovenaf gezien) van een Nodosaria uit het Onder-Krijt. Foto 6 - Twee tanden aanwezig in de karakteristieke, halve-

maanvormige mondopening van Pleurostomella (x 900). Afgebeeld is Pleurostomella subnodosa, gidsfossiel van het Onder-Albien (Onder-Krijt) en afkomstig uit een diepzeeboring in de Atlantische Oceaan. Foto's 7 en 8 laten resp. grove en fijne perforaties (poriën) zien. In fig. 7 bij Lamellocorbis dimidiata (recent; Australië), met daarbij afgebeeld de niet-perforate kielband (x 350). Het gehele exemplaar is afgebeeld in afb. 21. Foto 8 - de streepvormige perforaties bij Fursenkoina (gehele exemplaar in afb. 21), bij een vergroting van 4500 x.

Afb. 13. De belangrijkste vormen van kamerrangschikking (naar Boltovskoy en Wright, 1976).



Wandstrukturen

Van het allereerste belang voor de indeling zijn aard en opbouw van de kamerwand. Hierop zijn de subordes gebaseerd. De diverse hoofdcategorieën en hun relaties met de systematiek zijn aangegeven in tabel I.

1. De forams met een organische wand rekent men tot de meest primitieve vormen. Ze zijn vanwege hun slechte fossiliseerbaarheid van weinig belang voor de geoloog.
2. De agglutinanten, of zandschaligen, vormen hun skelet door toevoeging van minerale korrels - vanuit het omringende sediment - met een organisch bindmiddel.
3. De microgranulaire foraminiferen speelden een belangrijke rol in het Paleozoïcum. De wand bestaat uit kleine, dicht opeengestapelde calciëtkristalletjes van gelijke afmetingen en slechts enkele microns in diameter.

4. De porceleinige vormen worden voor het eerst vermeld in het Carboon. Ze worden zo genoemd omdat hun schaal porceleinig aandoet (wit, doorschijnend) en niet van poriën is voorzien. De minerale korrels, die vanuit een organische wand worden afgescheiden, liggen ongeoriënteerd.

5. De foraminiferen met een van talloze poriën voorziene kalkschaal vormen de grootste groep binnen de foraminiferen. Binnen deze suborde kunnen, op grond van de wandstructuur, nog subgroepen onderscheiden worden, hoewel het merendeel over een zgn. bilamellaire wand beschikt (twee kalklamellen, resp. afgezet aan de binnen- en buitenzijde van een organische tussenlaag). Ook de meest complex gebouwde foraminiferen zijn bilamellair. Deze groep wordt van grote betekenis in Mesozoïcum en Kenozoïcum, hoewel primitieve vertegenwoordigers bekend zijn vanaf het Boven-Carboon.

TABEL I			
ORDE FORAMINIFERIDA			
Wandstructuur	Suborde	Voorkomen	Aantal genera (TAPPAN, 1976)
1. Organisch, onverhard	Allogromiina	vanaf Cambrium	47
2. Geagglutineerd (verkitte sedimentkorrels)	Textulariina	vanaf Cambrium	293
3. Microgranulair (nonlamellaire calciet)	Fusulinina	Cambrium - Trias	180
4. Porcelainig (imperforate calciet)	Miliolina	vanaf B. Carboon	150
5. Hyalien (perforaat; lamellaire calciet)	Rotaliina	vanf B. Carboon	550

De systematiek in een notedop

door A.R. Fortuin

Inleiding

In dit korte bestek is het onmogelijk om de systematiek van de foraminiferen ook maar enigszins uitvoerig te behandelen. De ruim 30.000 soorten die thans bekend zijn, zijn verspreid over een 1200 genera (of geslachten), die op hun beurt gebundeld zijn in ruim 100 families. Er moest dus een selectie gemaakt worden, waarbij met name aandacht besteed wordt aan de regelmatig voorkomende groepen en/of soorten. Voor een meer uitvoerige behandeling verwijzen wij naar het Nederlandse boekje van Dr. E.Th. Spiker (1973), getiteld "Foraminiferen - fossiel en recent", verschenen als bundel 99 in de serie Wetenschappelijke Mededelingen van de Kon. Ned. Natuurhistorische Vereniging. Wie zich echt wil wijden aan de studie van foraminiferen-groepen, ontmoet niet aan de

aanschaf van de grotere handboeken, als bij Literatuur vermeld. De bundel van Dr. Spiker is handig, daar deze een elementaire behandeling van het hele terrein geeft.

De tegenwoordig meest gebruikte classificatie is die van Loeblich en Tappan. Hun uit 1964 daterende indeling behandelt alle toen bekende genera. Deze indeling werd overigens door dezelfde auteurs in 1974 nog wat verbeterd.

De vijf in tabel I genoemde subordes omvatten tezamen 19 superfamilies, die vermeld zijn in tabel II. De onderlinge relaties en verspreiding over de geologische tijdperken van deze superfamilies is aangegeven in afb. 14. Dit schema is ontleend aan Tappan, 1976. Een overzicht van de bestaande families en hun onderlinge relaties (de „familieverhoudingen“) heeft afb. 15, naar Loeblich en