

# Stekelhuidigen (Echinodermata – Echinoidea, Asteroidea, Crinoidea en Ophiuroidea) van Winterswijk-Miste\*

John W.M. Jagt<sup>1</sup>

\*opgedragen aan Professor Dr. Andrzej Radwański († januari 2016)

## Spiny-skinned animals (Echinodermata – Echinoidea, Asteroidea, Crinoidea and Ophiuroidea) from Winterswijk-Miste

Currently available echinoderm material includes mostly disarticulated ossicles of luidiid, astropectinid and goniasterid starfish, a single species of ophiurid brittle star and various taxa of regular and irregular echinoids. No crinoids (comatulids or bathyocrinids) are known to date, despite the fact that comasterid comatulids have been recorded from correlative strata in central Limburg, southeast Netherlands. Echinoids include cidarids (one species), echinids, clypeasteroids (solely the fibulariid genus *Echinocyamus*) and several types of spatangoid (*Schizaster*, *Spatangus* and ?*Chuniola*). Diadematoids and temnopleurids have not yet been recognised. Comparative material from the Middle Miocene (and Pliocene) of the Antwerp area (Belgium) is also illustrated.

## Inleiding

Met uitzondering van bepaalde soorten zee-egels (Clypeasteroidea, Spatangoida), hebben alle stekelhuidigen de onhebbelijke gewoonte heel vlot na hun dood uit elkaar te vallen in honderden, zo niet duizenden, losse kalkplaatjes, behalve onder speciale omstandigheden (Allison, 1991; Ausich, 2001; Kroh, 2005a). Dat zo goed als geen samenhangende resten van bepaalde groepen worden gevonden heeft alles te maken met het karakter van het sediment (zandig) en de ‘bij-elkaar-geharkte’ fossielassociatie in Winterswijk-Miste. Min of meer complete zee-egels (afgezien van de heel kleine zeeboontjes, *Echinocyamus*) zijn zonder uitzondering gravende soorten (hartegels, Spatangoida). Losse skeletelementen van zeesterren en slangsterren kunnen slechts een globaal beeld van hun oorspronkelijke voorkomen geven; alleen kaakdelen en radiaalplaten zijn getalsmatig (aantal individuen in fauna's) te beoordelen. Opvallend is het ontbreken van bepaalde groepen zee-egels (Diadematidae, Temnopleuridae [*Arbacina*]) en van zeelelies (Comatulida) die van elders in het Noordzeebekken wel bekend zijn. Dat kan verschillende redenen hebben. Om herhaling te voorkomen wordt verwezen naar eerdere artikelen in dit tijdschrift (Jagt, 1986, 1990) over fossiele stekelhuidigen, en voor details van het endoskelet en van de morfologie en functie van de weke delen refereer ik naar enkele handboeken, met name die van Booloottian (1966), Broadhead & Waters (1980), Cuénot (1948), Hyman (1955), Nichols (1969) en Smith (1984). In het onderstaande zullen alleen die kenmerken worden besproken die belangrijk zijn voor het herkennen van de vier groepen in fossiele toestand, met verwijzingen naar literatuur over

recente stekelhuidigen uit de Noordzee, want daar ligt een flink aantal ‘eye openers’ (Mortensen, 1927; Wolff, 1975).

## GEBRUIKTE AFKORTINGEN

MAB – Oertijdmuseum De Groene Poort, Boxtel;  
NHMM – Natuurhistorisch Museum Maastricht;  
RGM – Naturalis Biodiversity Center, Leiden.

## Echinoidea (zee-egels)

Wat het vinden van min of meer volledige exemplaren en het determineren daarvan betreft liggen de zaken bij zee-egels heel wat eenvoudiger dan bij de andere, hieronder genoemde groepen. Dat komt omdat infaunale, irregulaire zee-egels (hartegels) meestal als complete corona (schaal) gevonden worden, soms met delen van het stekelkleed. Bij zee-egels kunnen we een tweedeling maken, die van doen heeft met de positie van de anus en de symmetrie-as.

De meeste irregulaire soorten hebben een grote kans om fossiel overgeleverd te worden vanwege hun gravende leefwijze, soms nog gezellig in grote groepen bij elkaar en vaak met een complexe tafonomische geschiedenis (Radwański & Wysocka, 2004; Mancosu *et al.*, 2014). Bij regulaire vormen is het fossilisatiepotentieel geringer, wat vooral te verklaren is door hun leefwijze (op rotskusten en verharde bodems) en de manier waarop hun coronaplaten in verband liggen. Van deze dieren worden dan ook normaliter brokstukken van de corona, losse stekels en onderdelen van het kauwapparaat gevonden. In principe kunnen alleen de coronadelen tot op soort worden gedetermineerd.

## CIDAROIDA

Met uitzondering van minder dan een handvol vondsten worden deze ‘primitieve’ regulaire zee-egels slechts als losse platen van de schaal en stekels gevonden. Dat heeft alles te maken met de skeletstructuur, waarbij de platen ‘los’ tegen elkaar liggen, zonder verbindingen. Stekels zijn lang, cilindrisch en hebben – afhankelijk van hun oorspronkelijke positie op de schaal – een kroontje aan de bovenkant. Zowel tijdens het leven van de zee-egel als na de dood konden deze stekels begroeid raken met bijvoorbeeld kokerwormen en zeepokken (fig. 1C). Losse onderdelen van de corona (fig. 1A, B) vertegenwoordigen slecht tot middelmatig bewaarde apicale en laterale interambulacrale (IA) platen, met doorboorde primaire tuberkels en een grote areole die weinig ruimte laat voor adradiale en admedian tuberkels. Scrobiculaire tuberkels zijn slecht ontwikkeld (16 tot 22); hetzelfde geldt voor de miliaire tuberkels. De grove crenulering van het platform van de primaire tuberkel is adapicaal (naar de top) het best ontwikkeld in de grootste IA platen, in andere is de crenulering

compleet verweerd of amper zichtbaar. Er staan ten minste twee miliaire tuberkels naast elkaar adradiaal en 3 of 4 naast elkaar admediaal, en tussen 10 en 12 scrobiculaire tuberkels in de adradiale en admedianale zones; areolen lopen bijna in elkaar over in IA platen rond de ambitus – de grootste diameter van de schaal.

Er bestaat enige variatie in dit materiaal. De meeste stukken tonen aan dat de areolen van aan elkaar grenzende IA platen doorlopend zijn geweest, maar meer adapicale platen hebben een beter ontwikkelde crenulering van het platform en een relatief brede adorale miliaire zone. Helaas ontbreekt ieder spoor van ambulacrale platen, en het is om die reden zo goed als onmogelijk deze losse IA platen tot op genus of soort te determineren. In details van interambulacrale structuur (scrobiculaire en miliaire tuberkels enz.), verschillen de diverse soorten uit de genera *Plegiocidaris*, *Eucidaris*, *Prionocidaris* en *Cyathocidaris*, die goed bekend zijn uit het Mioceen van zuidelijk en centraal Europa (Maćczyńska, 1977, 1987, 1993; Philippe, 1998; Kroh, 2005a, b, 2007; P. Pereira, 2010) van het materiaal van Winterswijk-Miste.

In het Noordzeebekken zijn miocene Cidaridae traditioneel, en min of meer routinematig, opgevoerd als *Cidaridaris belgica* Cotteau, 1880 (bijv. Cotteau, 1881; Engel, 1941, 1949; Geys & Marquet, 1979; Vervoenen, 1994). Over het algemeen zijn het slechts de stevige primaire stekels die bewaard zijn gebleven, bijvoorbeeld in de omgeving van Antwerpen (Zonderschot), de Peelstreek (Noord-Brabant, Limburg) of in Winterswijk-Miste, terwijl de erbij horende schaalplaten zeldzaam zijn en vaak ook slecht bewaard. Dit type stekel is ook bekend uit miocene afzettingen in noordelijk Duitsland (zie R. Janssen, 1972, fig. 52, als *Stereocidaris* spec.). In het materiaal uit Winterswijk-Miste zijn losse primaire stekels ook behoorlijk algemeen (fig. 1 A-C), maar hele exemplaren (met basis, schacht en kroon) zijn heel erg zeldzaam. De meeste zijn fragmentarisch; hun oorspronkelijke lengte bedroeg 50 millimeter en meer; ze zijn cilindrisch en relatief dun (2 tot 4 millimeter in diameter proximaal); sommige vertonen een opvallende distale verbreding en afplatting. De versiering bestaat uit 8 tot 16 ribben, met bijna even brede tussenruimtes, met korte doorns die naar boven gericht zijn. Sommige exemplaren hebben de top bewaard, met een 'kroontje' bestaande uit forse doorns die min of meer van dezelfde afmeting zijn en sterk naar buiten gericht staan. De basis is glad, het acetabulum zwak gecrenuleerd; de collar is van vergelijkbare afmeting, en de basis en collar zijn gescheiden door een bijna gladde of zwak gestreepte milled ring. De nek heeft geen versiering, met uitzondering van heel kleine granulen. Dit type stekel lijkt sterk op materiaal uit het vroeg 'Badenien' (= Langhien) van de Paratethys, dat Kroh (2005a) opvoerde als *Stylocidaris? polyacantha* (Reuss, 1860).

Ondanks de variatie in losse platen en primaire stekels, lijkt het erop dat er slechts één soort cidaride is vertegenwoordigd in dit materiaal. De variatie in stekelmorfologie (afmeting, vorm en aantal doorndragende ribben) is een uit-

drukking van de oorspronkelijke plek op de schaal; apicale en orale stekels zijn (veel) korter en min of meer cilindrisch van vorm, terwijl adapicale en orbitale stekels 'kroontjes' hadden en platter en breder waren in de distale helft. Van der Hoek (1981, fig. 12) zat er behoorlijk naast bij zijn determinatie als *Clypeaster* (?) sp. van een losse primaire stekel en interambulacrale plaat van een cidaride. Uit het 'Midden' Oligoceen van Magdeburg (noordoostelijk Duitsland) meldde Kutscher (1985), op basis van losse platen en stekels, de soort *Stereocidaris anhaltina* (Giebel, 1858), die oppervlakkig gezien wel wat lijkt op Cidaridae uit het Midden Mioceen van het Noordzeebekken. De status moet nog nader bepaald worden. Zoals hierboven al aangehaald zijn samenhangende resten van dit soort zee-egels heel erg zeldzaam. Mij is een uit elkaar gevallen exemplaar uit het Midden Mioceen van Twistingen bekend (Schormann, 1989, pl. 1, fig. 2), bestaande uit een aantal corona platen en geassocieerde primaire stekels. Sinds kort zijn er ook vondsten bekend uit Rumst, bij Antwerpen (coll. F. Smet, Sint-Gillis-Waas; fig. 1D, E), en opgevist van de bodem van de Westerschelde (februari 2014; leg. K. Post), die beide dezelfde soort lijken voor te stellen maar in verhard sediment zitten en lastig te prepareren zullen zijn (Jagt et al., in voorber.).

#### DIADEMATOIDA

Hoewel mij nog niet bekend, moeten we ook rekening houden met het voorkomen in Winterswijk-Miste van vertegenwoordigers uit de familie Diadematidae Peters, 1885 omdat ze uit het Nederrijnse gebied gemeld zijn (Jagt in Wienrich, 2012). Het gaat dan om vertillicate (met meerdere, opeenvolgende 'kroontjes') stekels, die min of meer cilindrisch zijn en een stekelige kroon hebben. Ze zijn hol van binnen en hebben een typische doorsnede zoals afgebeeld in Kroh (2005a) en Kroh & Nebelsick (2010). Zoals Kroh (2003a, b), Kroh (2005a, pl. 8) en Schneider *et al.* (2009) al hebben opgemerkt zijn resten van Diadematidae (stekels, corona platen), hoewel ze relatief algemeen en wijdverbreid zijn, ontstellend lastig op naam te brengen. Een zekere variatie in beide suggereert dat er meerdere soorten vertegenwoordigd zijn, maar voor nu lijkt het beter deze aan te duiden als Diadematidae indet. Stekeltypes als dit zijn bekend uit het Mioceen van de centrale Paratethys (Maćczyńska, 1993, als *Centrostephanus calarensis* Cotteau, 1905) en Zuid-Europa (Philippe, 1998, als *Centrostephanus rhodanicus* (Mayer-Eymar, 1910)).

#### TEMNOPLEUROIDA

Uit de familie Temnopleuridae A. Agassiz, 1872 en het genus *Arbacina* Pomel, 1869 meldde Jagt (in Wienrich, 2012) *Arbacina* aff. *catenata* (Desor in L. Agassiz & Desor, 1846), op basis van een enkel exemplaar met 7 tot 8 interambulacrale tuberkels, 8 ambulacrale tuberkels, trigeminate (met 3 poriënparen) ambulacrale (A) platen, van het 'echinoid compound' type, met isoporiën, in iets scheve tot bijna horizontale positie; een niet-gecrenuleerde (?) en ondoorboorde primaire tuberkel en tot 8 interne tuberkels, van ver-

schillende grootte (sommige vergroot). De IA platen zijn breder dan hoog, met een gemiddeld grote, niet-gecrenuleerde (?) en ondoorboorde primaire tuberkel en tussen 6 en 8 interne tuberkels van verschillende grootte, gerangschikt in een zeshoekig patroon. De diameter ligt tussen 5 en 6 millimeter, en de hoogte tussen 2,4 en 3,2 millimeter.

Deze kleine egeltjes, die mij nog niet bekend zijn uit Winterswijk-Miste, lijken sterk op materiaal uit de centrale Paratethys (Mączyńska, 1987, 1993; Kroh, 2003a, b, 2005a, b, 2007) en uit Zuid-Europa (Cahuzac & Roman, 1994; Philippe, 1998; Borghi *et al.*, 2005; P. Pereira, 2010, als *Genocidaris catenata*), maar deze verschillen in secundaire tuberkulering. Uit miocene afzettingen in de Peelstreek meldde Engel (1949) *A. sphaeroideus* (Nyst, 1868), een slecht bekende soort. Kortom: materiaal uit het Noordzebekken moet nodig gereviseerd worden en in detail vergeleken met dat uit de Paratethys en uit Zuid-Europa, omdat van daar meerdere soorten van het genus *Arbacina* beschreven zijn (Philippe, 1998; Borghi *et al.*, 2005).

#### ECHINOIDA

Een ander type dat verwacht mag worden in Winterswijk-Miste is dat uit de familie Echinidae, die al uit het Nederrijnse gebied bekend zijn (Jagt in Wienrich, 2012). Het gaat om geïsoleerde primaire stekels, met overlangse streping (tussenruimtes circa eenderde van de breedte van de strepen), en de basis, milled ring en acetabulum vaak niet of slecht bewaard. Dit type stekel is goed vergelijkbaar met materiaal dat door Kroh (2005a, p. 39, pl. 21, figs. 1-8) is afgebeeld, en opgevoerd als Echinacea indet. (zie ook *Psammechinus cogelsi* Cotteau, 1880, pl. 2, figs. 10-13; Peters, 2009, p. 71). Primaire stekels van echiniden (bijv. *Psammechinus*), echinometriden (*Echinometra*) en toxopneustiden (*Schizechinus*, *Tripneustes*) lijken heel sterk op elkaar (zie ook Engel, 1941) zodat alleen geassocieerde schaalplaten uitkomst kunnen bieden.

Een zeldzame vondst is die van een bijna complete corona (fig. 2A, B). De schaaldiameter is 11,5 millimeter, de hoogte 6,0 millimeter en de diameter van het vijfhoekige periproct 3,9 millimeter, die van het peristoom 4,3 millimeter. Er zijn 13 tot 15 ambulacrale platen op een totaal van 13 tot 14 interambulacrale platen, met opvallend kleine tuberkels; de ambitus ligt onder het midden. De A en IA tuberkels zijn niet-doorboord, gecrenuleerd en trigeminaat. Opvallend is dat de primaire tuberkel op A platen een lage positie inneemt op de plaat, dicht bij de sutuur, en omgeven wordt door een gering aantal (3 tot 4) kleinere tuberkels. Op IA platen staat een enkele primaire tuberkel (zo goed als in het midden van de plaat) met 8 tot 9 kleinere tuberkels in een krans er omheen. Tot nog toe ken ik geen vergelijkbaar materiaal uit de centrale Paratethys (zie Kroh, 2005a, b), en het feit dat er maar één enkele primaire tuberkel te zien is op IA platen (zoals bewaard), die ook nog eens gecrenuleerd is, voorkomt een meer definitieve duiding. *Psammechinus*, een algemene verschijning in miocene laagpakketten in de Paratethys (Mączyńska,

1993; Radwański & Wysocka, 2004; Kroh, 2005a), wijkt af in het bezit van 2 tot 4 secundaire tuberkels op de ambitus. Zelfs juveniele corona's (zie Kroh, 2005a, fig. 16) hebben een dichtere secundaire tuberkulering. Hoewel de hoogte/breedte-verhoudingen afwijken lijkt wat Cotteau (1880, pl. 2, fig. 1-5) *Psammechinus sphaeroideus* noemde, enigszins op de vorm uit Winterswijk-Miste; nader onderzoek is nodig.

#### CLYPEASTEROIDA

De kleine zeeboontjes (familie Fibulariidae Gray, 1855) zijn de enige zee-egels die regelmatig compleet worden gevonden in de fijnere zeeffracties. Ze zijn vaak leeg van binnen en daardoor erg kwetsbaar (fig. 3A, B). Een twintigtal complete corona's, of met lichte beschadigingen aan de rand of rond het peristoom, meet tussen 2 en 4 millimeter in lengte, en heeft een laag of zwak bolvormig profiel. De voorste rand is scherp afgerond, de flanken zijn breed afgerond en de achterrand is min of meer hoekig (fig. 3B); het peristoom ligt centraal, en is relatief groot (fig. 3A), hoewel in dat kenmerk ook enige variatie te zien is. Het periproct is veel kleiner, en ligt submarginaal (op de onderzijde, maar dicht bij de rand) of marginaal (in de rand, of er net onder). Poriën zijn nauwelijks zichtbaar in kleinere schalen; details van het apicale schild zijn niet herkend. Het lijkt erop dat er twee vormen in dit materiaal vertegenwoordigd zijn, die te onderscheiden zijn op basis van de grootte en positie van het periproct en het karakter van de onderzijde. De vorm met het submarginale periproct heeft een min of meer concave onderzijde (diepste rond het peristoom), terwijl de andere vorm een meer gewelfde onderkant lijkt te hebben. Dit is een heel voorlopige conclusie – biometrisch detailonderzoek is nodig. Vergelijkbaar materiaal uit het Midden Mioceen van de Paratethys werd door Mączyńska (1977, 1993) vermeld, onder de naam *E. linearis* Capeder, 1906.

In vorm (en profiel) en positie van het peristoom, is het materiaal enigszins vergelijkbaar met *E. propinquus* Forbes (zie Cotteau, 1880, pl. 3, fig. 14-18) en *E. pusillus*(?) zoals afgebeeld door P. Pereira (2010, pl. 22, fig. 1a-c), hoewel het periproct verder weg ligt van de rand, en met *Echinocyamus* spec. B van R. Janssen (1972, fig. 56; Mioceen van Bremen, Noord-Duitsland). De vorm met het marginale periproct lijkt sterk op *Echinocyamus* spec. A van R. Janssen (1972, fig. 55). Hoewel de meeste auteurs het erover eens zijn dat er te veel 'splitting' heeft plaatsgevonden in dit genus (Capeder, 1906), kan een reeks afwijkende morfologische types herkend worden, hoewel 'daarop-eennaam-plakken' geen sinecure is (vgl. Cahuzac & Roman, 1994). Maar, omdat er geen moderne revisie is van materiaal van oligocene (zeldzaam), miocene (behoorlijk algemeen, bijv. in Winterswijk-Miste) en pliocene ouderdom (algemeen tot plaatselijk heel algemeen) uit het Noordzebekken (Engel, 1953, 1957), is het beter dit voorlopig op te voeren in open nomenclatuur. Het is al gemeld uit Miste door Van der Hoek (1981, fig. 13a, b, als *Echinocyamus*

[sic] *pusillus ovata*). Engel (1941) refereerde aan materiaal uit het Laat Oligoceen van Staatsmijn Maurits (zuidelijk Limburg), en rekende dit tot *Echinocyamus ovatus* (von Münster, in Goldfuss, 1829). Die soort werd ook gemeld door Kutscher (1980) en Moths (2000) uit het Laat Oligoceen van Sternberg. Geys & Marquet (1979, pl. 2, fig. 2) rekenden materiaal uit de Zanden van Deurne (Fomatie van Diest, Mioceen) tot *Echinocyamus forbesi* Cotteau, 1880. Die soort is rondder, met een kleiner, verdiept liggend peristoom en het periproct halverwege de rand van de schaal en het peristoom.

Uit het Mioceen van de centrale Paratethys is een hele reeks soorten beschreven (Mączyńska, 1988; Kroh, 2005a; Zągoršek et al., 2008), maar de status van vele is nog verre van duidelijk. Hoe de Noordzee ‘populaties’ zich verhouden tot die uit de centrale Paratethys is ook nog een open vraag; daar kan het Miste materiaal (voorlopig) niet veel aan bijdragen, zij het dat er twee types vertegenwoordigd lijken te zijn.

#### SPATANGOIDA

De echte hartegels behoren tot de meest geavanceerde zee-eegels (Smith, 2005) die er zo goed als allemaal een graven-de leefwijze op nahouden (zie ook Mortensen, 1927). Ondanks dat is mij slechts een handjevol min of meer complete corona’s bekend uit het Mioceen van het Noordzeebekken. Losse platen van de corona, zeker als er vergrote interambulacrale tuberkels en/of fasciolen zichtbaar zijn, kunnen gemakkelijk herkend worden als die van hartegels, maar determineren tot op genus- of soortniveau zal vaak problematisch blijken en vereist uitgebreide vergelijkingen met fossiel materiaal van elders en recente soorten uit de Noordzee en Atlantische Oceaan en de Middellandse Zee.

Gebaseerd op een aantal steenkernen uit het Antwerpse (fig. 5B, C) en van Mill-Langenboom (Peters, 2013) zijn ook vertegenwoordigers van de diepgravende familie Schizasteridae Lambert, 1905 herkend. Juist vanwege het feit dat het hierbij gaat om steenkernen zal de juiste duiding van losse coronaplaten nogal wat hoofdbrekens kunnen bereiden. Dat geldt in mindere mate voor een labrale plaat (fig. 4F, rechtsboven) die sterker lijkt op die van sommige Schizasteridae, zoals *Schizaster* en *Linthia* (zie fig. 6C; vgl. Kroh, 2005a, figs. 64, 66, 67, 71), dan op die van Brissidae of Spatangidae (fig. 6B; zie ook Mączyńska, 1987; Né-raudeau et al., 1998). Aardig in dit verband is de melding van Cotteau (1880, 1881) van de soort ‘*Schizaster scillae*’, eveneens gebaseerd op een steenkern, uit de omgeving van Antwerpen. Vooralsnog lijkt het erop dat de vormen uit het Noordzeebekken gekoppeld kunnen worden aan typische soorten uit de centrale Paratethys, zoals *S. eurynotus* Sisonda, 1841 en *S. karreri* Laube, 1869 (zie Kroh, 2005a). De oudere vormen uit het Oligoceen, die vaak als *Schizaster acuminatus* worden aangeduid (Jagt, 1988; Janssen, 1988; Ott, 1999), staan hier mogelijk los van, als aparte ontwikkelingslijn die kenmerkend is voor het Noordzeebekken. Dit vergt nog nadere studie.

Vertegenwoordigers van het genus *Spatangus* (familie Spatangidae) zijn vaak van behoorlijke afmetingen, en gemakkelijk herkenbaar aan de brede voorste groeve (ambulacrum III) en de bloembladvormige petalen (amb I-II, IV-V) (fig. 4A). Opvallend zijn met name de rijen van vergrote tuberkels in interambulacra 1 en 4 (vgl. fig. 4B). Maar niet alle soorten hebben dergelijk uitgesproken tuberkulering, zoals een ?nieuwe vorm uit Midden Mioceen van Antwerpen illustreert (fig. 4C). Schaalfragmenten of losse interambulacrale platen van Spatangoida, soms met sterk verdiept liggende primaire tuberkels (fig. 4D, linksboven), zijn redelijk algemeen maar kunnen amper, of helemaal niet, tot op soort worden gedetermineerd.

In het Midden Mioceen van de Paratethys is met name *Spatangus austriacus* Laube, 1869 wijdverbreid (zie Schmid et al., 2001; Radwański & Wysocka, 2004; Kroh, 2005a), maar ook een aantal andere soorten, sommige nog niet van een soortnaam voorzien, is herkend. Hoe precies de verwantschappen liggen tussen deze vormen en de miocene ‘populaties’ uit het Noordzeebekken vraagt nog nader onderzoek, maar de twee zo goed als complete stukken (één ervan nog met stekels aan de onderzijde) uit Antwerpen (coll. R. Marquet) vormen een goed uitgangspunt.

Een heel apart stuk is afgebeeld in figuur 4E. Helaas is de bovenzijde van de corona slecht bewaard gebleven aan de achterzijde en ontbreken zo goed als alle platen op de onderzijde, met uitzondering van het peristoom. Een hard sediment vult de corona; een paar sporenfossielen zijn hierin zichtbaar. Verdere preparatie is zo goed als onmogelijk. Opvallende kenmerken van dit stuk zijn de brede, maar vrij ondiepe, voorste groeve (amb III), de brede, zo goed als rechte petalen en de grote, iets verzonken liggende tuberkels in IA 1, 4 en 5, dicht tegen de sutuur tussen beide platrijnen gelegen. In IA 2 en 3 ontbreken deze. Het karakter van deze tuberkels toont aan dat dit stuk niet tot de Spatangidae gerekend kan worden, en de nauwelijks verdiept liggende, rechte petalen wijken sterk af van de gebogen, diepe petalen van Schizasteridae. Sommige vertegenwoordigers van de familie Loveniidae komen dichter in de buurt, zoals het genus *Hemipatagus* dat uit het Midden Mioceen van de omgeving van Antwerpen bekend is (fig. 6A), maar dat heeft ook verdiept liggende tuberkels in IA 2 en 3. Het is heel goed mogelijk dat het nieuwe exemplaar uit Winterswijk-Miste aansluiting vindt bij wat Gagel (1903) opvoerde als *Chuniola carolinae* uit het Mioceen van noordelijk Duitsland. Omdat het type-materiaal daarvan slecht bewaard is gebleven is de status van dit taxon nog steeds onduidelijk. Het wordt als loveniide opgevat, en mogelijk als een synoniem van *Hemipatagus*. Op basis van het hier afgebeelde exemplaar ga ik niet mee met die interpretatie. Een gedetailleerd betoog hierover is in voorbereiding.

Hoewel in het Midden Mioceen van de Paratethys vertegenwoordigers van het genus *Echinocardium* (fig. 5A) voorkomen (Radwański & Wysocka, 2004; Kroh, 2005a;

Radwański *et al.*, 2014) zijn die nog niet herkend in het Mioceen van het Noordzeebekken. Ze schijnen pas in het Pliocceen hun intrede te doen, met *E. cordatum* en een tweede, zeldzamere soort die aan lijkt te sluiten bij *E. capense* (zie Jagt & de Vos, 1993; Jagt & Wille, 2003; Peters, 2013).

#### SPATANGOIDA INDET.

Losse stekels en corona fragmenten van niet nader determineerbare Spatangoida (waarschijnlijk Schizasteridae, Spatangidae of Loveniidae) zijn redelijk algemeen. Stekels zijn vrij lang (fig. 4D, linksboven), maar altijd gebroken, dun, bijna recht tot gebogen in meerdere of mindere mate, met een versiering van dunne ribben die gekruist worden door dwarsstaande elementen (traliësculptuur). De basis is omgekeerd kegelvormig, de schacht veel dunner en sommige stekels hebben een lepelvormig distaal uiteinde – dit zijn typische stekels van het sternum (middenrij van de onderzijde). Corona fragmenten vertonen dicht op elkaar staande, gecrenuleerde tuberkels van verschillende grootte, sommige met asymmetrische areolen en extra, kleinere granulen. Andere vertonen banden van dichtstaande kleine granulen waarop stekeltjes stonden die tot taak hadden de schaal schoon te houden – de fasciole (fig. 4F). Losse stekels van Spatangoida zijn zo goed als onmogelijk te determineren op genus- of soortniveau, met slechts weinig uitzonderingen (Kroh, 2002), hoewel recent onderzoek (Schlüter *et al.*, 2015; Wiese *et al.*, 2016) suggereert dat dit in de toekomst wel eens kan gaan veranderen. Er schijnen ook verbanden te bestaan tussen het voorkomen van stekels van spatangoïde zee-egels en watertemperatuur (Banno, 2008).

#### Asteroidea (zeesterren)

Op dit moment zijn mij geen samenhangende resten van zeesterren bekend uit het Midden Mioceen van Winterswijk-Miste, en zelfs niet uit het Noordzeebekken, met uitzondering van een half uit elkaar gevallen arm van een Astropectinidae uit Liessel, Noord-Brabant, maar die is van laat-miocene ouderdom (Jagt *et al.*, 2009). Op basis van losse skeletelementen, met name marginale platen (infero- en supermarginalia), is een vrije grote diversiteit aan zeesterren te documenteren. Helaas vereist dit tijdrovend onderzoek, met één-op-één vergelijkingen met materiaal van elders (Paratethys; Borghi 1996, 2006; Nosowska, 1997; Radwański *et al.*, 2014; fig. 8A) en met recente soorten. Ook andere delen van het skelet (mondskelet, adambulacralia, ambulacralia, terminale platen) zijn belangrijk voor een totaalbeeld maar een juiste duiding hiervan veronderstelt een grondige kennis van de skeletbouw van zeesterren, en van soorten uit de diverse ordes. Hieronder noem ik alleen die vormen waaraan een naam gekoppeld kan worden, ook al is het slechts die van het genus. Opvallend is de grote variatie in bewaringstoestand – er zijn skeletelementen die er bijna ‘vers’ uitzien, maar de meeste hebben geleden onder transport en een klein percentage is uitgeleegd, waarbij vaak eerdere groeifases van de plaat zijn bloot komen te liggen. De skeletstructuur van stekelhuidigen (stereoom) is heel ontvankelijk voor dit soort schade.

Vijfentwintig jaar geleden werden de eerste vertegenwoordigers van de familie Luidiidae Verrill, 1899 bekend uit het Noordzeebekken. Het materiaal uit Winterswijk-Miste werd geduid als een vorm uit de ‘*Ciliaris group*’ (*sensu* Blake, 1973), onder de noemer *Luidia* aff. *ciliaris* (Philippi, 1837) (fig. 7A), met name op basis van de inferomarginalia. De sterk verschillende lengte/breedteverhouding (fig. 7B) van de plaatjes suggereert dat alle arm- en lichaams-schijfposities vertegenwoordigd zijn in dit materiaal. De meeste zijn een paar millimeter breed met afgevlakte distale en proximale articulatievlakken, en een goed bewaard buitenoppervlak met 2 tot 4 stekelbases (Jagt, 1991). Dit type inferomarginalia van Luidiidae is ook bekend uit het Vroeg Mioceen van de omgeving van Bordeaux (Zuidwest-Frankrijk; fig. 7C), het Midden Mioceen van centraal Polen (Kaczmarzka, 1987) en van andere Mioceen voorkomens in de centrale Paratethys (Kroh & Harzhauser, 1999; Kroh, 2007). Mogelijk bestaan er zelfs zo goed als complete exemplaren uit het Vroeg Mioceen van Oostenrijk (Binder, 2002; Kroh, 2003b).

Getalsmatig vormen geïsoleerde randplaten van de families Astropectinidae Gray, 1840 en Goniasteridae Forbes, 1841 de hoofdmoot van de zeesterresten in Winterswijk-Miste. Recente vertegenwoordigers van de eerste, de kamsterren, zijn talrijk op de Noordzeekust (Wolff, 1975), en zijn een goed ijkpunt voor het interpreteren van fossiel materiaal. De kalkplaatjes in de bovenste en onderste rij van de lichaamsschijf en armen wijken sterk van elkaar af. De superomarginalia zijn blokvormig, hoger dan breed, en vertonen een duidelijke articulatieichel halverwege de zijkant (fig. 8C). Versiering van de buitenzijde is heel subtiel (fig. 8C, 9A), in tegenstelling tot de inferomarginalia (fig. 8B), die een redelijke grove granulering laten zien, met twee rijen hoefijzervormige stekelbases die in grootte naar de rand van de plaat toenemen. Alle armposities lijken te zijn vertegenwoordigd, en ook de rand van de lichaamsschijf is goed vertegenwoordigd (fig. 8C). Al met al zijn kamsterren behoorlijk algemeen in Winterswijk-Miste; waarschijnlijk stelt dit materiaal slechts één soort voor (R. Janssen, 1972; Jagt, 1991). Grotendeels vergelijkbare infero- en superomarginale randplaten werden door Kutscher (1980) uit het Laat Oligoceen van noordoostelijk Duitsland vermeld, onder de naam *Astropecten granulatus* W. Rasmussen, 1972. Omdat het type-materiaal uit het Eoceen (Bartoniën) van Hampshire (Engeland) stamt (zie Wienberg Rasmussen, 1972), lijkt me die determinatie allerminst juist. Voor een juiste duiding, en naamgeving, van het materiaal uit het Mioceen van het Noordzeebekken, komen soorten uit de Paratethys in aanmerking, met name *Astropecten navodicensis* Nosowska, 1997. Dat geldt ook voor niet tot op soort gedeetermineerd materiaal uit het Mioceen van andere plekken in de Paratethys (Zágoršek *et al.*, 2008) en van de omgeving van Bordeaux (fig. 7C), hoewel er bij die laatste verschillen in de grootte van de hoefijzervormige stekelbases te zien zijn. Heel apart zijn sporenfossielen die mogelijk aan kamsterren zijn toe te schrijven (fig. 8D); die kunnen uiteraard alleen maar bewaard blijven in verhard gesteente. Om die reden zullen ze wel nooit uit Winterswijk-Miste gemeld worden.

Typisch voor de andere familie, Goniasteridae, zijn de stevige, blokvormige randplaten van lichaamsschijf en (vaak korte) armen. Ook hier geldt dat voorschrijdende erosie leidt tot een soort ‘afpellen’ van eerdere groeistadia door uitloging. Soorten die in de literatuur tot het genus *Ceramaster* Verrill, 1899 zijn gerekend (fig. 9B) zijn meteen herkenbaar aan de duidelijk afgegrensde centrale regio, deels met grotere gaten (bases van granulen), deels glad. Die centrale regio kan bijna de hele plaat innemen (met een rand eromheen), of beperkt zijn tot het centrum van de plaat, afhankelijk van de oorspronkelijke positie in het lichaam en/of de arm.

Hoewel deze vormen lastig nader te determineren zullen zijn op basis van geïsoleerde marginale platen alleen, lijkt het er sterk op dat er meerdere soorten Goniasteridae zijn vertegenwoordigd in dit materiaal. Eén daarvan is duidelijk nauwverwant, zo niet identiek, aan materiaal uit de centrale Paratethys (Polen, Roemenië, Oostenrijk; zie Kaczmarška, 1987; Nosowska, 1997; Kroh, 2007; Jagt & Codrea, 2010) en het Vroeg Pliocene van de omgeving van Antwerpen. Hiervoor is de naam *Ceramaster muelleri* (Heller, 1858) beschikbaar; *Ceramaster polonicus* Nosowska, 1997 is mogelijk een synoniem. Het type-materiaal van beide vormen stamt uit het Midden Mioceen van de Paratethys (Oostenrijk, Polen; Kroh, 2007). Eerdere vormen, met grotendeels vergelijkbare randplaten, werden door Kutscher (1980, 1985) uit het ‘Midden’ en Laat Oligoceen van noordoostelijk Duitsland vermeld, onder de naam *Ceramaster* cf. *brandenensis* Rasmussen, 1951, maar bij deze is de centrale regio beter ontwikkeld en niet beperkt tot een kleiner veld midden op de plaat. Of deze vorm deel uitmaakt van dezelfde ontwikkelingsreeks kan op dit moment nog niet worden uitgemaakt. Voorlopig kan het materiaal uit het Mioceen van het Noordzeebekken het best aangeduid worden als *Ceramaster* aff. *muelleri* (fig. 9C).

Net als in het Midden Mioceen van de Paratethys (Zágoršek *et al.*, 2008) komen er in het Noordzeebekken nog een paar zeestersoorten voor die tot de familie Goniasteridae kunnen worden gerekend. Qua morfologie zijn ze goed van *Ceramaster* te onderscheiden (profiel, versiering, lengte/breedte-verhouding), maar, op basis van het nu beschikbare materiaal, kan er nauwelijks een genusnaam op worden geplakt, laat staan een soortnaam (fig. 9D).

Jagt (1991) ging uit van zeker negen soorten, maar misschien was zijn interpretatie van Astropectinidae (3 of 4 soorten; *Astropecten*, ?*Lophidiaster* en ?*Coulonia*) wel wat ambitieus. Losse marginale platen met een afgerond-hoekig profiel en een sterk verweerde, kraterachtige verhoging op het actinale/laterale oppervlak herinneren aan het genus *Nymphaster* Sladen, 1885 (Jagt in Wienrich, 2012). Deze vorm doet denken aan *Nymphaster fontis* (see Breton & Vizcaïno, 1997) uit het Ypresien (Vroeg Eoceen) van Aude (Frankrijk), maar die soort heeft een duidelijk opgezwollen actinale en een ‘overhangende’ lateraal oppervlak en er is variatie te zien in de afmeting van de stekelbasis. Sommige vormen uit het Laat Krijt zijn ook min of meer vergelijkbaar (Jagt, 2000). Daarnaast noteerde Jagt (1991)

vormen die leken op *Crateraster* (*Teichaster*), *Caletaster*, *Paragonaster* en *Mediaster*. Deze genera zijn zonder uitzondering laat-mesozoïsch in origine (zie ook Blake *et al.*, 2015), en of ze ook neogene vertegenwoordigers hebben gehad is moeilijk precies uit te maken.

### Crinoidea (zeelelies en haarsterren)

In deze klasse kunnen twee hoofdgroepen onderscheiden worden; de eigenlijke zeelelies die middels een steel en verankeringsorgaan (radix) aan de zeebodem gebonden zijn, en de haarsterren die in volwassen toestand steelloos zijn en in staat actief te zwemmen, maar meestal ook aan de zeebodem gebonden zijn (cirren op centrodorsale). Alle neogene en recente zeelelies worden samengevat in de onderklasse Articulata, die ten minste acht ordes omvat (Hess, 2011). Vertegenwoordigers van de Bourgueticrinida zijn meestal klein en eenvoudig in structuur, en fossiel zijn vooral soorten uit de genera *Bourgueticrinus*, *Democrinus* en *Conocrinus* bekend (fig. 10A, B). Van deze orde komen fossiel voornamelijk geïsoleerde steelementjes voor: de steel valt na de dood van het dier vrij snel uit elkaar, net als de kroon van 5 of 10 armen. De kelk daarentegen blijft vaak aan elkaar zitten. Eén enkele zeelelie kan duizenden arm-, pinnule- en steelstukjes opleveren, wat betekent dat het uitermate lastig is een indruk te krijgen van de populatiedichtheid. Alleen het aantal kelken kan dan een indicatie geven. Fossiele Bourgueticrinida waarbij nog meerdere delen van de steel en armen in oorspronkelijk verband liggen zijn uiterst zeldzaam (zie Wienberg Rasmussen, 1972; Hess, 2011). Wienrich (2012) noemde *Conocrinus?* sp. op basis van een enkel distaal steelement van Lüllingen (Nederrijn; fig. 10C, D), met een typisch ‘rhizocrinide’ lumen (8-vormige omtrek). Als het betreffende stuk niet is opgewerkt (geremanieerd) uit onderliggende eocene of oligocene laagpakketten, zou dit het eerste voorkomen zijn van Bathycrinidae in het Mioceen van het zuidelijke Noordzeebekken. Het werd voorlopig gerekend tot *Conocrinus*, maar zou net zo goed tot een ander bathycrinide geslacht kunnen horen. De kelk is nodig om dit met zekerheid vast te stellen. Soorten van *Conocrinus* zijn wijdverbreid in zuidelijk Europa (Roux, 1976, 1978a, b; Roux & Plaziat, 1978; Roux *et al.*, 2006; Hess, 2011), maar komen ook voor in het Noordzeebekken (Oligoceen; Boekschoten, 1963) en meer naar het oosten, in regio’s van de voormalige Sovjet Unie en Centraal Azië (Klikushin, 1982), waar ze algemeen zijn in het Eoceen.

Comatulida, of haarsterren (fig. 10E), waartoe praktisch alle recente zeelelies gerekend worden, vertegenwoordigen een aanpassing van Isocrinida aan bepaalde biotopen. In hun larvale stadium zijn ze middels een steel aan de zeebodem verankerd; deze steel wordt later afgestoten en er vormt zich direct onder de kelk een kalkprop, het zogenaamde centrodorsale, met daaraan in lengte variërende cirren. Hierna worden de dieren vrijzwemmend, en kunnen ontsnappen aan potentiële predatoren. In het materiaal van Winterswijk-Miste zijn bij mijn weten nog geen

zeelelieresten gevonden, maar theoretisch zouden ze wel voor moeten komen gezien de melding van losse onderdelen van vrijzwemmende soorten uit een boring bij Pey-Echt (Jagt et al., 2002).

In tegenstelling tot het Noordzeebekken zijn miocene zeelelies in de centrale Paratethys talrijker vertegenwoordigd, en ook meer divers (Kroh, 2003a, 2007), en dat zal uiteindelijk wel met waterdiepte en -temperatuur te maken hebben gehad.

### Ophiuroidea (slang- en brokkelsterren)

In Europa, en elders in de wereld, zijn zo goed als complete vormen (uit diverse families) bekend uit het Paleoceen (Eoceen, Oligoceen) en Neoceen (Vroeg Mioceen) van België, Duitsland, Oostenrijk, Antarctica en de Verenigde Staten. Dit soort voorkomens heeft vaak te maken met plotse gebeurtenissen, zoals stormen (Leriche, 1931; Berry, 1939; Binder & Steininger, 1967; Blake & Allison, 1970; Wienberg Rasmussen, 1972; Blake, 1975; Lienau, 1984; Blake & Aronson, 1998; Meyer, 2002; Ishida, 1999, 2004; Caviglia et al., 2007; Martínez & Del Río, 2008; Jagt & van Eijden, 2013; Jagt et al., 2014; Ishida et al., 2015). Bij hele exemplaren worden vaak ook ontsappingsstructuren en/of -sporen gevonden, die getuigen van 'fossiel gedrag'.

Helaas gaat het bij fossiel materiaal van slangsterren om geïsoleerd materiaal. Experimenteel is al meer dan eens aangetoond hoe snel de lichaamsschijf en armen uit elkaar vallen (Kerr & Twitchett, 2004), en tafonomische processen doen dan ook nog een duit in het zakje om het beeld te vertroebelen. Desondanks zijn zelfs losse kalkelementen, meestal laterale armplaten, van belang voor een beter idee van de geologische ontwikkelingsgeschiedenis van slang- en brokkelsterren (Sieverts-Doreck, 1953; Küpper, 1954; Kutscher, 1980; Smith et al., 1995; B.C. Pereira, 2009; O'Hara et al., 2014). Gedetailleerde vergelijkingen, vaak met inzet van SEM techniek, zijn onontbeerlijk in dit verband. Laterale armplaten, met 'aanliggende' of opstaande stekelbases, vanaf de lichaamsschijf tot aan het puntje van de arm, hebben al hun nut bewezen, maar ook kenmerken van de articulatie tussen de radiale platen in de lichaamsschijf en de genitale platen, en platen van het orale skelet (waarop een groot deel van de systematiek van recente slangsterren berust) zijn belangrijk. Helaas zijn die karakters niet altijd te scoren in fossiel materiaal.

In het materiaal van Winterswijk-Miste komt ten minste één soort voor uit de familie Ophiuridae. Hiervan zijn losse radiale platen, wervels en laterale en dorsale armplaten bekend (fig. 11B), maar die laten jammer genoeg niet toe de relatie met andere soorten te bepalen. Te denken valt daarbij aan *Ophiura? sternbergica* Kutscher, 1980 (Laat Oligoceen, noordoostelijk Duitsland; zie ook Moths, 2000), die gebaseerd is op een stuk arm en geïsoleerde skeletonderdelen, en *Ophiura paucilepis* Stöhr, Jagt & Klompmaker, 2011 uit het Vroeg Pliocene van Mill-Langenboom, Noord-Brabant (fig. 11A). Het lijkt erop dat de articulatie met de

genitale plaat in radiale platen uit Winterswijk-Miste iets verschilt van die van *O.? sternbergica*, maar buiten dat, lijkt die soort sterk verwant.

Van een andere familie, Gorgonocephalidae, zijn nog geen resten bekend, in tegenstelling tot het Pliocene (Formatie van Oosterhout) in de boring IJsselmuiden-1 (Overijssel; Kroh & Jagt, 2006). Toch mogen ze in het Noordzeebekken verwacht worden, omdat ze wel uit de Paratethys gemeld zijn (Kroh, 2003c, 2007), evenals vertegenwoordigers van de familie Euryalidae (Kroh, 2004; Thuy, 2015). De wervels daarvan zijn onmiskenbaar, met articulatievlakken die op een soort zandloper lijken.

### Conclusies – toekomstig onderzoek

Samenvattend kan worden gesteld dat er veel potentieel schuilt in de echinodermenfauna's uit het Mioceen van Winterswijk-Miste, en dat de 'total picture' nog redelijk ver weg is (vgl. Donovan, 2001). Gehorizonteerd zee-egelmateriaal uit het Antwerpse (RGM collecties; A.W. Janssen, pers. comm., 1993; coll. R. Marquet) zal als basis gaan dienen voor de interpretatie van schaalfragmenten uit Miste, om een beter beeld te verkrijgen van de samenstelling van de Spatangoida. Voor zeesterren lijkt het erop dat de enige manier om de diversiteit gedocumenteerd te krijgen het 'uitleggen' van marginale platen is, vanuit het midden van de lichaamsschijf naar de punt van de arm. Een vergelijkbare aanpak wordt voorgesteld voor slangsterren, in een direct vergelijk met gemacereerd materiaal van recente soorten uit het Noordzeebekken (Mortensen, 1927). Er is dus nog genoeg te doen.

### Dankwoord

Voor het aanreiken van materiaal en literatuur en voor discussies dank ik de volgende collega's en vrienden, in alfabetische volgorde: Barry W.M. van Bakel, Daniel B. Blake, Jan Boes, Adri W. Burger, Niek Dekker (†), René H.B. Fraaije, Renate Helwerda, Anton Janse (†), André F.J. Jansen, Arie W. Janssen, Stef Keulen, Andreas Kroh, Bram Langeveld, Peter Markies, Robert Marquet, Roland Meuris, Aad Mulder, René van Neer, Jacques Parren, Werner Peters, Klaas Post, Urszula Radwańska, Andrzej Radwański (†), Ben Roest, Marleen Schouten, Frans Smet, Sabine Stöhr, Nico Taverne, Willem Vergoossen, Jaap van der Voort, Guenter Wienrich (†) en Eric Wille. Voor een reeks foto's en/of hulp bij het maken van de afbeeldingen gaat mijn dank uit naar John W. Stroucken en Elena A. Jagt-Yazykova.

### Literatuur

- Allison, P.A., 1991. Variation in rates of decay and disarticulation of Echinodermata: implications for the application of actualistic data. – *Palaios* 5: 432-440.
- Ausich, W.J., 2001. Echinoderm taphonomy. In: Jangoux, M. & J.M. Lawrence (eds). *Echinoderm studies* 6: 171-227. Rotterdam/Brookfield (A.A. Balkema).
- Banno, T., 2008. Ecological and taphonomic significance of spatangoid spines: relationship between mode of oc-

- currence and water temperature. – *Paleontological Research* 12: 145-157.
- Berry, C.T., 1939. More complete remains of *Ophiura marylandica* [sic]. – *Proceedings of the American Philosophical Society* 80: 87-94.
- Binder, H., 2002. Asteroidea aus dem Karpatium des Korneuburger Beckens (Untermiozän; Niederösterreich). – In: Sovis, W. & B. Schmid (eds). *Das Karpat des Korneuburger Beckens, Teil 2. Beiträge zur Paläontologie* 27: 317-323, 1 pl.
- Binder, H. & F. Steininger, 1967. Drei fossile Ophiuren (*Amphiura* (?) *kühni* n. sp.) aus dem Jungtertiär von Österreich. – *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 71: 19-26.
- Blake, D.B., 1973. Ossicle morphology of some Recent asteroids and description of some West American fossil asteroids. – *University of California Publications in Geological Sciences* 104: viii + 1-59, pl. 1-19.
- Blake, D.B., 1975. A new West American Miocene species of the modern Australian ophiuroid *Ophiocrossota*. – *Journal of Paleontology* 49: 501-507.
- Blake, D.B. & R.C. Allison, 1970. A new West American Eocene species of the modern Australian ophiuroid *Ophiocrossota*. – *Journal of Paleontology* 44: 925-927.
- Blake, D.B. & R.B. Aronson, 1998. Eocene stelleroids (Echinodermata) at Seymour Island, Antarctic Peninsula. – *Journal of Paleontology* 72: 339-353.
- Blake, D.B., S.K. Donovan, C.L. Mah & H.L. Dixon, 2015. Asteroid (Echinodermata) skeletal elements from the upper Oligocene deposits of Jamaica and Antigua. – *Geological Magazine* 152 (6): 1043-1056.
- Boekschoten, G.J., 1963. Paleocological notes on the Septaria Clay (Oligocene) of the eastern Netherlands. – *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen B66* (5): 280-295.
- Booolootian, R.A., 1966 (ed.). *Physiology of Echinodermata*, xviii + 1-822. London/New York (John Wiley & Sons/Interscience).
- Borghi, E., 1996. Echinodermi fossili emiliani – VIII°. Asteroidei fossili dell'Emilia (Pliocene e Pleistocene). – *Società Reggiana Scienze Naturali* 15 (2): 1-13, pl. 1-2.
- Borghi, E., I. Bajo Campos & A.R. García, 2005. *Arbacina romana* (Merian, 1858) from the lower Pleistocene of Favignana Island (Sicily). – *Parva Naturalia* 7: 47-71, 4 pl.
- Breton, G. & D. Vizcaïno, 1997. Astérides (Echinodermata) du l'Ilerdien moyen (Yprésien) des Corbières (Aude, France): systématique, relations paléobiogéographiques et évolutives. – *Bulletin de la Société d'Études scientifique de l'Aude* 97: 11-28.
- Broadhead, T.W. & J.A. Waters, 1980. *Echinoderms*. Paleontological Society, Special Publications, Short Course Notes, 235 pp. Knoxville (The Paleontological Society).
- Cahuzac, B. & J. Roman, 1994. Les échinoides de l'Oligocène supérieur (Chattien) des Landes (Sud-Aquitaine, France). – *Revue de Paléobiologie* 13 (2): 351-373, pl. 1-3.
- Capeder, G., 1906. Fibularidi del Miocene medio di S. Gavino a Mare (Portotorres) Sardegna. – *Bollettino della Società geologica Italiana* 25: 495-533, pl. 10.
- Caviglia, S.E., S. Martínez & C.J. Del Río, 2007. A new Early Miocene species of *Ophiocrossota* (Ophiuroidea) from southern Patagonia, Argentina. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 245: 147-152.
- Cotteau, G., 1880. Description des Échinides tertiaires de la Belgique. – *Mémoires couronnés et Mémoires des Savants étrangers de l'Académie royal des Sciences, Lettres et des Beaux-Arts de Belgique* 43: 1-90, 6 pl.
- Cotteau, G., 1881. Note sur les Échinides des terrains tertiaires de la Belgique. – *Bulletin de la Société géologique de France* (3)9: 214-219.
- Cuénot, L., 1948. Anatomie, éthologie et systématique des Échinodermes. In: Grasse, P.-P. (ed.). *Traité de Zoologie* 11: 3-275.
- Donovan, S.K., 2001. Evolution of Caribbean echinoderms during the Cenozoic: moving towards a complete picture using all of the fossils. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 166: 177-192.
- Engel, H., 1941. Tertiaire en Quartaire echinodermen uit boringen in Nederland. – *Geologie en Mijnbouw, nieuwe serie* 3: 5-17.
- Engel, H., 1949. On *Arbacina sphaeroideus* (Nyst) and on a collection of cidarid spines from wells in the Netherlands (Miocene and Oligocene). – *Mededelingen van de Geologische Stichting, nieuwe serie* 3: 33-36.
- Engel, H., 1953. Echinoidea. In: Burck, H. (ed.). *Pliocene and Lower Pleistocene in a boring near Oosterhout*. – *Mededelingen van de Geologische Stichting, nieuwe serie* 7: 36-37.
- Engel, H., 1957. *Echinocyamus pusillus* [sic] (O.F. Müller). – *Mededelingen van de Geologische Stichting, nieuwe serie* 11: 41-42, pl. 27.
- Gagel, C., 1903. Ueber einige neue Spatangiden aus dem norddeutschen Miocän. – *Jahrbuch der Königlich Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie* 23(3) (1902): 525-543, pl. 24-25.
- Geys, J.F. & R. Marquet, 1979. *Veldatlas voor Cenozoische fossielen van België. Deel I. Neogeen*. – *Publicaties van de Belgische Vereniging voor Paleontologie v.z.w.* 2: 1-125, 45 pl.
- Hess, H., 2011. Suborder Bourgueticrinina Sieverts-Doreck, 1953. In: Hess, H. & Messing, C.G. (Hrsg.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part T, Echinodermata 2 (Revised), Crinoidea Volume 3*: 146-158. The University of Kansas, Paleontological Institute, Lawrence, Kansas.
- Hyman, L.H., 1955. *The invertebrates: Echinodermata*, vii + 1-763, New York (McGraw-Hill).
- Ishida, Y., 1999. Escape behavior and postures of epifaunal ophiuroids from burial: extant and Late Miocene *Ophiura sarsii sarsii* as an example. – *Memoirs of the Geological Society of Japan* 54: 161-173, pl. 1-2 [Japanse tekst].
- Ishida, Y., 2004. [Ophiuroids], 1-80. Tokyo (The Association for the Geological Collaboration in Japan).
- Ishida, Y., T. Fujita & B. Thuy, 2015. Two ophiuroid species (Echinodermata, Ophiuroidea) from lower Mio-



- cene deep-sea sediments of Japan. – Paleontological Research 19: 208-218.
- Jagt [sic], J.[W.M.] & G. Wienrich, 2012. Echinodermata. In: Wienrich, G. Die Fauna des marinen Miozäns von Kevelaer (Niederrhein). Band 6. Arthropoda, Echinodermata Jagt & Wienrich, Planta, Ichnofossilia, Indet., Stratigraphie Ronald Janssen, p. 1269-1278, 1312-1313, 1328-1335, pl. 227, fig. 1-4; pl. 235, fig. 3-6; pl. 236, fig. 1-16; pl. 237, fig. 1-12; pl. 238, fig. 1-4. Leiden (Backhuys Publishers)/Weikersheim (Margraf Publishers).
- Jagt, J.W.M., 1986. Skeletmorfolgie van fossiele zeesterren, slangsterren en zeelelies. – Afzettingen WTKG 7 (2): 26-38, 3 pl.
- Jagt, J.W.M., 1988. Additional data on the echinoid genus *Schizaster* from the Late Oligocene of the Lower Rhine District (F.R.G.). – Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie 25: 243-245.
- Jagt, J.W.M., 1990. Echinodermata (Stekelhuidigen) – hun lichaamsbouw, leefwijze en rol als fossiel in tertiaire afzettingen. – Afzettingen WTKG 10 (4) (1989): 80-97, 3 pl.
- Jagt, J.W.M., 1991. Early Miocene luidiid asteroids (Echinodermata, Asteroidea) from Winterswijk-Miste (The Netherlands). – Contributions to Tertiary and Quaternary Geology 28: 35-43, 1 pl.
- Jagt, J.W.M., 2000. Late Cretaceous-Early Palaeogene echinoderms and the K/T boundary in the southeast Netherlands and northeast Belgium – Part 5: Asteroids. – Scripta Geologica 121: 377-503, pl. 1-27.
- Jagt, J.W.M. & V. Codrea, 2010. A goniasterid starfish (Echinodermata, Asteroidea) preserved in a mid-Miocene rhyolitic ignimbrite, northwest Romania. – Acta Geologica Polonica 60: 275-282.
- Jagt, J.W.M., M.J.M. Deckers & J. Parren, 2002. Notes on North Sea Basin Cainozoic echinoderms, Part 1. Miocene comasterid crinoids from central Limburg, the Netherlands. – Cainozoic Research 1 (2001): 83-90.
- Jagt, J.W.M. & T. van Eijden, 2013. Heeft iemand misschien nog 'sterretjes' uit Egem?. – Afzettingen WTKG 34 (4): 174-175.
- Jagt, J.W.M., R.H.B. Fraaije & B.W.M. van Bakel, 2009. A late Miocene astropectinid (Echinodermata, Asteroidea) and associated trace fossils from Liessel, province of Noord-Brabant, the Netherlands. – Netherlands Journal of Geosciences 88: 127-131.
- Jagt, J.W.M., R.H.B. Fraaije & B.W.M. van Bakel, 2016. Kreeftachtigen (Ostracoda, Thoracica, Caridea, Axioidea, Anomura en Brachyura) van Winterswijk-Miste. – Afzettingen WTKG 37 (2): 54-66.
- Jagt, J.W.M. & J.J. de Vos, 1993. A note on *Echinocardium cordatum* (Pennant, 1777) (Echinoidea, Loveniidae) from the late Pliocene of Nieuw Namen (The Netherlands). – Contributions to Tertiary and Quaternary Geology 30: 75-79, 1 pl.
- Jagt, J.W.M., B. Thuy, S.K. Donovan, S. Stöhr, R.W. Portell, R.K. Pickerill, D.A.T. Harper, W. Lindsay & T.A. Jackson, 2014. A starfish bed in the Middle Miocene Grand Bay Formation of Carriacou, The Grenadines (West Indies). – Geological Magazine 151: 381-393.
- Jagt, J.W.M. & E. Wille, 2003. Pliocene echinoid faunules from Kallo (Antwerp area, NW Belgium). In: J.-P. Féral & B. David (eds). Echinoderm Research 2001. Proceedings of the Sixth European Conference on Echinoderms/Banyuls-sur-Mer/France/3-7 September 2001: 65-67. Lisse (Swets & Zeitlinger/A.A. Balkema Publishers).
- Janssen, A.W., 1988. Late Oligocene fossiliferous concretions of local origin from Quaternary Rhine-deposits at Kamp-Lintfort, Lower Rhine District, F.R.G., with a description of *Schizaster* (*Schizaster*) sp. (Echinodermata, Spatangoida) by J.W.M. Jagt. – Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie 24 (1987): 247-260, 3 pl.
- Janssen, R., 1972. Beiträge zur Kenntnis der Bryozoa, Vermes, Crustacea und Echinodermata aus dem nordwestdeutschen Mittel- und Obermiozän. – Veröffentlichungen aus dem Überseemuseum in Bremen A4: 71-108.
- Kaczmarek, G., 1987. Asteroids from the Korytnica Basin (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, central Poland). – Acta Geologica Polonica 37: 131-144, 8 pl.
- Kerr, T.J.V. & R.J. Twitchett, 2004. Experimental decay and disarticulation of *Ophiura texturata*: implications for the fossil record of ophiuroids. In: Heinzeller, T. & J.H. Nebelsick (eds.). Echinoderms: München, 439-446. Leiden (A.A. Balkema Publishers).
- Klikushin, V.G., 1982. Cretaceous and Paleogene *Bourgueticrinina* (Echinodermata, Crinoidea) [sic] of the USSR. – Géobios 15: 811-843.
- Kroh, A., 2002. Die Echiniden (Echinodermata) aus dem Karpatium des Korneuburger Beckens und der Kreuzstettener Bucht (Niederösterreich, Untermiozän). – In: Sovis, W. & B. Schmid (eds). Das Karpat des Korneuburger Beckens, Teil 2. Beiträge zur Paläontologie 27: 305-315, pl. 1-2.
- Kroh, A., 2003a. The Echinodermata of the Langhian (Lower Badenian) of the Molasse Zone and the northern Vienna Basin (Austria). In: Daxner-Höck, G. (ed.). Middle Miocene vertebrates from the Austrian Molasse Basin – tie points for marine/continental correlation. – Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien 104A: 155-183, 5 pl.
- Kroh, A., 2003b. Echinoderms of the Karpatian. In: Brzobohatý, R., I. Cicha, M. Kováč & F. Rögl (eds.). The Karpatian – a Lower Miocene Stage of the Central Paratethys, 247-256, pl. 1. Brno (Masaryk University Brno).
- Kroh, A., 2003c. First record of gorgonocephalid ophiuroids (Echinodermata) from the Middle Miocene of the Central Paratethys. – Cainozoic Research 2: 143-156 [erratum, Cainozoic Research 4 (2006): 119].
- Kroh, A., 2004. First fossil record of the family Euryalidae (Echinodermata: Ophiuroidea) from the Middle Miocene of the Central Mediterranean. In: Heinzeller, T. & J.H. Nebelsick (eds.). Echinoderms: München, 447-452. Leiden (A.A. Balkema Publishers).
- Kroh, A., 2005a. Band 2. Echinoidea neogenica. In: Piller, W.E. (ed.). Catalogus Fossilium Austriae. Ein systematisches Verzeichnis aller auf österreichischem Gebiet festgestellten Fossilien, lvi + 210 p., 82 pl. Wien (Ver-

- lag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften).
- Kroh, A., 2005b. The Echinodermata of the Langhian (Lower Badenian) of the Molasse Zone and the northern Vienna Basin (Austria). – *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 104A: 155-183, pl. 1-5.
- Kroh, A., 2007. Climate changes in the Early to Middle Miocene of the Central Paratethys and the origin of its echinoderm fauna. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 253: 185-223.
- Kroh, A. & M. Harzhauser, 1999. An echinoderm fauna from the Lower Miocene of Austria: paleoecology and implications for central Paratethys paleobiogeography. – *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 101A: 145-191.
- Kroh, A. & J.W.M. Jagt, 2006. Notes on North Sea Basin Cainozoic echinoderms, Part 3. Pliocene gorgonocephalid ophiuroids from borehole IJsselmuiden-1 (Overijssel, the Netherlands). – *Cainozoic Research* 4 (2004): 67-70.
- Kroh, A. & J.H. Nebelsick, 2010. Echinoderms and Oligo-Miocene carbonate systems: potential applications in sedimentology and environmental reconstruction. – *International Association of Sedimentologists, Special Publication* 42: 201-228.
- Küpper, K., 1954. *Ophiuroidea* [sic] aus dem Torton des Wiener Beckens. – *Paläontologische Zeitschrift* 28: 159-166, pl. 14, 15.
- Kutscher, M., 1980. Die Echinodermen des Oberoligozäns von Sternberg. – *Zeitschrift für geologische Wissenschaften (Berlin)* 8: 221-239, pl. 1-4.
- Kutscher, M., 1985. Die Echinodermen des Magdeburger Grünsandes (Mittel-Oligozän). – *Abhandlungen und Berichte für Naturkunde und Vorgeschichte* 12: 3-14, pl. 1-3.
- Leriche, M., 1931. Une ophiure du «Panisélien» de la mer du Nord (*Ophiurites eocænus* nov. sp.). – *Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie* 40 (1930): 109-116.
- Lienau, H.-W., 1984. Die marinen Deckschichten (Mittel-oligozän-Unteroiligozän) der Helmstedter Braunkohlen (Niedersachsen, BRD). – *Documenta naturae* 22: iv + 1-120, pl. 1-12.
- Mączyńska, S., 1977. Echinoids from the Korytnica Basin (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Poland). – *Acta Geologica Polonica* 27: 193-200, pl. 1-8.
- Mączyńska, S., 1987. A supplementary account on the echinoids from the Korytnica Basin (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Central Poland). – *Acta Geologica Polonica* 37 (3-4): 145-153, pl. 1-8.
- Mączyńska, S., 1988. Echinoids from the Middle Miocene (Badenian) sands from southern Poland. – *Prace Muzeum Ziemi* 40: 59-64, pl. 1-6.
- Mączyńska, S., 1993. Echinoids from the Pińczów Limestones (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, central Poland). – *Acta Geologica Polonica* 43: 103-114, pl. 1-6.
- Mancosu, A., J.H. Nebelsick, A. Kroh & G.L. Pillola, 2014. The origin of echinoid shell beds in siliciclastic shelf environments: three examples from the Miocene of Sardinia, Italy. – *Lethaia* doi: 10.1111/let.12090.
- Martínez, S. & C.J. Del Río, 2008. A new, first fossil species of *Ophioderma* Müller and Troschel, 1842 (Echinodermata: Ophiuroidea) (Late Miocene, Argentina). – *Zootaxa* 1841: 43-52.
- Meyer, C.A., 2002. Ophiuroidea aus dem Karpatium des Korneuburger Beckens (Niederösterreich; Untermiozän). In: Sovis, W. & B. Schmid (eds). *Das Karpat des Korneuburger Beckens, Teil 2. – Beiträge zur Paläontologie* 27: 325-331, 1 pl.
- Mortensen, T., 1927 (1977). *Handbook of the echinoderms of the British Isles*. W. Backhuys, Rotterdam, 470 p.
- Moths, H., 2000. Die Echinodermen (Seeigel, Schlangensterne, Seelilien) des oberoligozänen Sternberger Gesteins von Kobrow und des Unteroiligozäns von Malliß. – *Geschiebekunde aktuell* 16: 79-85.
- Néraudeau, D., E. Borghi & J. Roman, 1998. Le genre d'échinide *Spatangus* dans les localités du Pliocène et du Pléistocène d'Émilie (Italie du Nord). – *Annales de Paléontologie* 84: 243-264, pl. 1-5.
- Nichols, D.J., 1969. *Echinoderms* (4th edition), 1-192. London (Hutchinson University Library).
- Nosowska, E., 1997. Asteroids from the Nawodzice Sands (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, central Poland). – *Acta Geologica Polonica* 47: 225-241, pl. 1-12.
- O'Hara, T.D., A.F. Hugall, B. Thuy & A. Moussalli, 2014. Phylogenomic resolution of the class Ophiuroidea unlocks a global microfossil record. – *Current Biology* 24: 1874-1879.
- Ott, W., 1999. Die Meeresfauna von Offenbach am Main. Eine paläontologische Dokumentation des Oberen Rupeltons (mittleres Oligozän, Alttertiär) von der S-Bahn Baustelle. – *Abhandlungen Offenbacher Verein für Naturkunde* 9: 1-55.
- Pereira, B.C., 2009. Ophiuroidea (Echinodermata) do Miocénico da Lagao de Albufeira (Portugal). – *Paleolusitana* 1 [No. 1 Numero especial/Actas do VII Encontro de Jovens Investigadores em Paleontologia]: 125-127.
- Pereira, P., 2010. Echinoidea from the Neogene of Portugal Mainland. – *Palaeontos* 18: 1-154, pl. 1-39.
- Peters, N., 2009. Brabant tussen walvissen en mastodonten: 1-110. (Nationaal Beiaard- en Natuurmuseum, Asten/Oertijdmuseum De Groene Poort, Boxtel).
- Peters, N. (met medewerking van John Jagt), 2013. Stekelhuidigen (Echinodermata): 113-115, 5 figs. In: Peters, N. *Van reuzenhaai tot Chalicotherium*. Fossielen uit Mill-Langenboom, 158 p. Boxtel (Oertijdmuseum De Groene Poort).
- Philippe, M., 1998. Les échinides miocènes du Bassin du Rhône: revision systématique. – *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire naturelle de Lyon* 36: 3-241, 249-441, pl. 1-26.
- Radwański, A., M. Górka & A. Wysocka, 2014. Badenian (Middle Miocene) echinoids and starfish from western Ukraine, and their biogeographic and stratigraphic significance. – *Acta Geologica Polonica* 64: 207-247.
- Radwański, A. & A. Wysocka, 2004. A farewell to Świniary sequence of mass-aggregated, spine-coated echinoids

- Psammechinus* and their associates (Middle Miocene, Holy Cross Mountains, central Poland). – *Acta Geologica Polonica* 54: 381-399, 10 pl.
- Roux, M., 1976. Découverte dans le Golfe de Gascogne de deux espèces actuelles du genre cénozoïque *Conocrinus* (Échinodermes, Crinoïdes pédonculés). – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris D283*: 757-760.
- Roux, M., 1978a. Les crinoïdes pédonculés (Échinodermes) du genre *Conocrinus* provenant de l'Éocène des environs de Biarritz. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris D286*: 265-268.
- Roux, M., 1978b. Importance de la variabilité de la forme du calice chez les Bathyrynidae (Échinodermes, Crinoïdes): l'exemple de l'espèce éocène *Conocrinus doncieuxi* nov. sp. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris D287*: 797-800.
- Roux, M. & J.-C. Plaziat, 1978. Inventaire des crinoïdes et interprétation paléobathymétrique de gisements du Paléogène pyrénéen franco-espagnol. – *Bulletin de la Société géologique de France* (7)20: 299-308.
- Roux, M., B. Cahuzac & K. Sztrákos, 2006. Les paléoenvironnements éocènes à pédonculés des marnes de Miretrain (Angoumé, SW France): interprétations paléobathymétriques. – *Comptes Rendus Geoscience* 338: 262-271.
- Schlüter, N., F. Wiese & M. Reich, 2015. Systematic assessment of the Atelostomata (Spatangoida and Holasteroida; irregular echinoids) based on spine microstructure. *Zoological Journal of the Linnean Society*, doi: 10.1111/zoj.12291
- Schmid, H.P., M. Harzhauser & A. Kroh, 2001. Hypoxic events on a Middle Miocene carbonate platform of the Central Paratethys (Austria, Badenian, 14 Ma). – *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 102A: 1-50.
- Schneider, S., B. Berning, M.A. Bitner, R.-P. Carriol, M. Jäger, J. Kriwet, A. Kroh & W. Werner, 2009. A parautochthonous shallow marine fauna from the Late Burdigalian (early Ottnangian) of Gurlam (Lower Bavaria, SE Germany): macrofaunal inventory and paleoecology. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 254: 63-103.
- Schormann, J., 1989. Aus dem Sammlungen unserer Mitglieder: Fossilien aus den miozänen Schichten von Twistringen der Sammlung Jürgen Krug, Holzminden. – *Arbeitskreis Paläontologie Hannover* 17: 100-104, pl. 1-3.
- Sieverts-Doreck, H., 1953. Zur Verbreitung känozoischer Ophiuren. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* 1953: 275-286.
- Smith, A.B., 1984. *Echinoid palaeobiology*, x + 1-190. London (George Allen & Unwin).
- Smith, A.B., 2005. Growth and form in echinoids: the evolutionary interplay of plate accretion and plate addition. In: Briggs, D.E.G. (ed.). *Evolving form and function: fossils and development. Proceedings of a symposium honoring Adolf Seilacher for his contributions to paleontology, in celebration of his 80th birthday, April 1-2, 2005, New Haven, Connecticut*, 181-195. New Haven, Connecticut (Peabody Museum of Natural History, Yale University).
- Smith, A.B., G.L.J. Paterson & B. Lafay, 1995. Ophiuroid phylogeny and higher taxonomy: morphological, molecular and palaeontological perspectives. – *Zoological Journal of the Linnean Society* 114: 213-243.
- Stöhr, S., J.W.M. Jagt & A.A. Klompmaker, 2011. *Ophiura paucilepis*, a new species of brittlestar (Echinodermata, Ophiuroidea) from the Pliocene of the southern North Sea Basin. – *Swiss Journal of Palaeontology* 130 [Special Issue: Echinoderms – from the early past to the near future. A tribute to Hans Hess on his 80th birthday]: 113-121.
- Thuy, B., 2015. Unravelling the origin of the euryalid brittle stars: a preliminary report. In: Zamora, S. & I. Rábano (eds). *Progress in echinoderm palaeobiology. Cuadernos del Museo Geominero* 19: 185-188.
- Van der Hoek, B., 1981. Fossielen uit de miocene afzetting van Miste bij Winterswijk. – *Grondboor en Hamer* 35: 3-28.
- Vervoenen, M., 1994. Taphonomy of some Cenozoic seabeds from the Flemish region, Belgium. In: Herman, J. & H. Van Waes (eds). *Elasmobranches et stratigraphie, Volume spécial*. – Service Géologique de Belgique, Professional Paper 1994/5 (272): viii + 1-115.
- Wienberg Rasmussen, H., 1972. Lower Tertiary Crinoidea, Asteroidea and Ophiuroidea from northern Europe and Greenland. – *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter* 19: 1-83, pl. 1-14.
- Wienrich, G., 2012. Die Fauna des marinen Miozäns von Kevelaer (Niederrhein). Band 6. Arthropoda. Echinodermata Jagd [sic] & Wienrich. Planta [sic]. Ichnofossilia. Indet. Stratigraphie Ronald Janssen, ii + 1231-1344, pls 122-241. Leiden (Backhuys Publishers)/Weikersheim (Margarit Publishers).
- Wiese, F., N. Schlüter, M. Reich & J. Herrle, 2016. From bycatch to main dish! Spines of irregular echinoids as monitors for diversity trends in the deep sea during Cenozoic critical intervals. A pilot study. In: 17th Annual Meeting of the Gesellschaft für Biologische Systematik, 21.-24. February 2016. Abstracts. – *Zitteliana* 88: 53.
- Wolff, W.J., 1975. *Stekelhuidigen – Echinodermata* (Vierde herziene druk). – *Wetenschappelijke Mededelingen van de Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. Tabellenserie van de Strandwerkgemeenschap* 105: 1-20.
- Zágoršek, K., K. Holcová, S. Nehyba, A. Kroh & Š. Hladilová, 2008. The invertebrate fauna of the Middle Miocene (Lower Badenian) sediments of Kralice nad Oslavou (Central Paratethys, Moravian part of the Carpathian Foredeep). – *Bulletin of Geosciences* 84 (3): 465-496.

## Websites

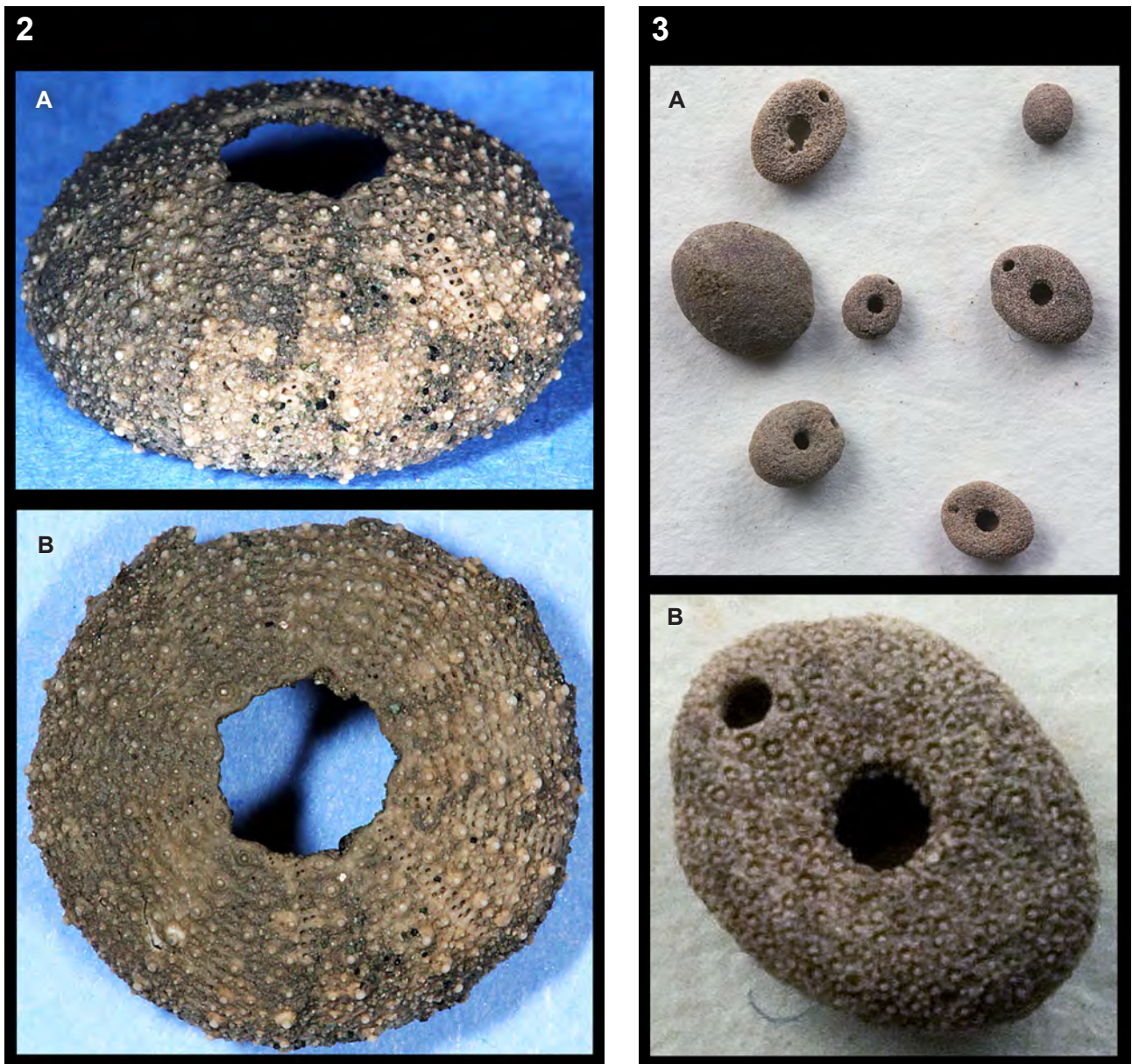
[www.nhm.ac.uk/our-science/data/echinoid-directory/](http://www.nhm.ac.uk/our-science/data/echinoid-directory/)

<sup>1</sup>John W.M. Jagt, *Natuurhistorisch Museum Maastricht, De Bosquetplein 6-7, 6211 KJ Maastricht, e-mail: john.jagt@maastricht.nl*



FIGUUR 1

*Stylocidarid*? sp. (= *Cidarid belgica* Cotteau, 1880) (Cidaroida); **A.** Primaire stekels en losse interambulacrale (IA) platen (NHMM JJ 15743, leg. A.F.J. Jansen); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1971), maatbalk in mm (foto: J.W. Stroucken); **B.** Drie losse IA platen en een primaire stekel (NHMM JJ 15742a); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988), grootste lengte stekel 25 mm (foto: J.W. Stroucken); **C.** Losse primaire stekel, begroeid met kokerwormen en de kalkige basis van een zeepok [zie Jagt *et al.*, 2016] (coll./foto: S. Keulen), lengte 22 mm; Laag van Miste, Aalten Member; Winterswijk-Miste (2013). **D, E.** Hele corona met primaire stekels, mogelijk identiek aan het Miste materiaal (coll. F. Smet, Sint-Gillis-Waas), Rumst, Antwerpen (België), ?Miocene zanden (foto: E.A. Jagt-Yazykova).



FIGUUR 2

**A, B.** Echinoida indet., corona in apicolateraal en apicaal aanzicht (coll./foto's: S. Keulen). Laag van Miste, Aalten Member; Winterswijk-Miste (2013). Grootste diameter 11,5 mm.

FIGUUR 3

**A, B.** *Echinocyamus* spp. (NHMM JJ 15745a, leg. W. Vergoossen), oraal aanzicht van een aantal corona's (lengte 2,2-3,5 mm) en detail van een 2,3-mm-groot exemplaar (NHMM JJ 15745b); Laag van Miste, Aalten Member; Winterswijk-Miste (2013) (foto's: J.W. Stroucken).



FIGUUR 4

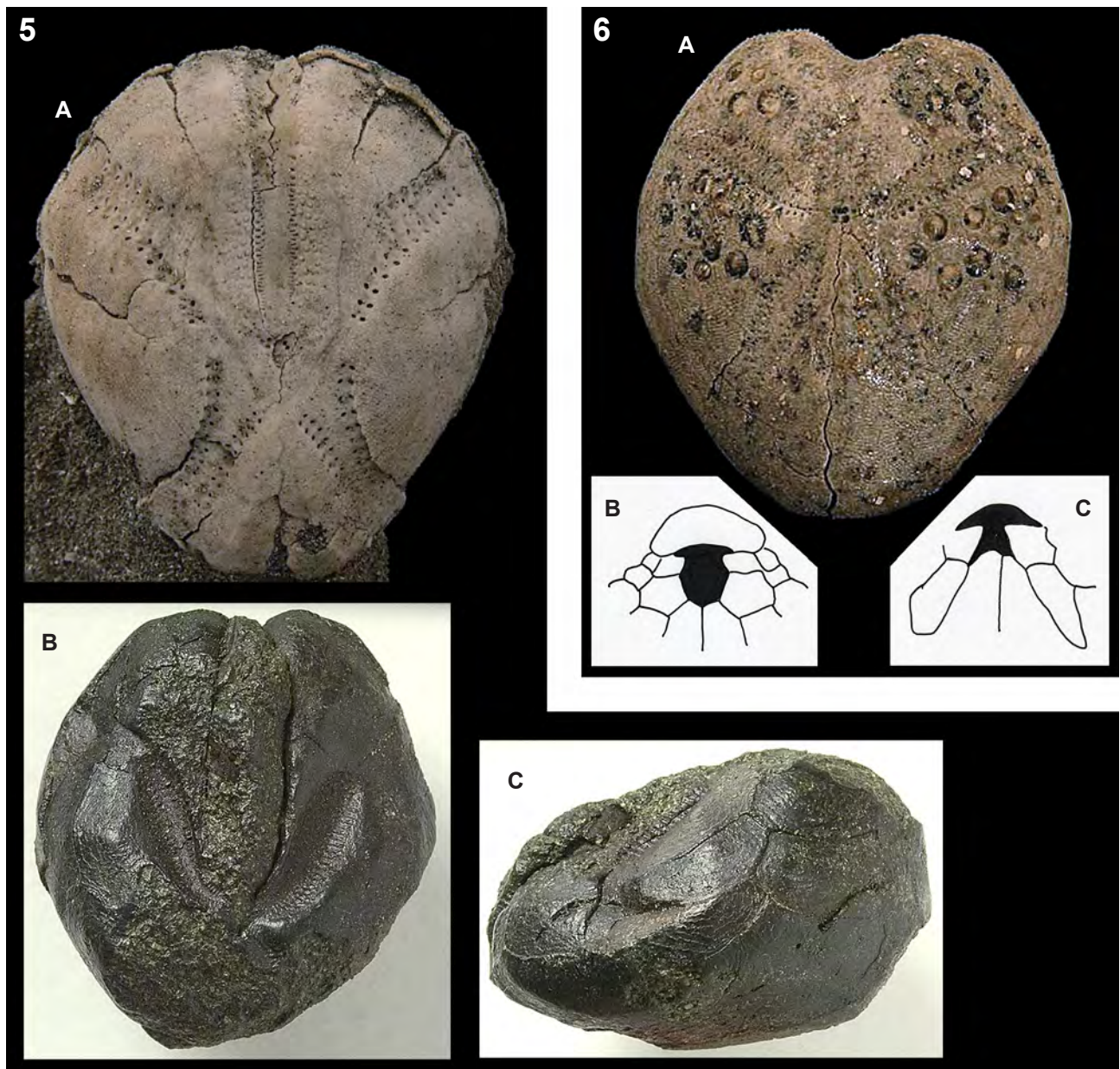
**A.** *Spatangus* ex gr. *austriacus* Laube, 1869, scan uit Radwański *et al.* (2014, fig.23/1); Midden Mioceen, Oekraïne; grootste lengte 80 mm; **B.** *Spatangus* sp. (NHMM JJ 15745c), losse interambulacrale plaat (IA), grootste breedte 12 mm; Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (2013) (foto: J.W. Stroucken); **C.** *Spatangus* sp. (?nov.), Antwerpen (Ploegstraat, 1990), Zanden van Antwerpen (*Panopea* laag; Midden Mioceen; coll. R. Marquet; foto: A. Kroh); lengte 80 mm; **D.** *Spatangoidea*, div. spp., fragmenten van interambulacralen (NHMM JJ 15742b); grootste breedte 11,5 mm; Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988) (foto: J.W. Stroucken); **E.** *Spatangoida* indet. (?*Chuniola* sp.), apicale zijde van een fragmentarische corona (MAB collecties; leg. P. Markies), grootste lengte 46 mm; Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (2013) (foto: J.W. Stroucken); **F.** *Spatangoida* indet. (NHMM JJ 15742c), corona fragmenten met fasciolen (in breedte toenemende banden van dichtstaande granulen), deel van de orale corona met ambulacrale poriën en losse labrale plaat (labrum; grootste breedte 5,5 mm); de laatste [rechtsboven] lijkt sterk op een exemplaar uit het Midden Mioceen van Polen (Maćczyńska, 1987, pl. 7, fig. 3a); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988) (foto: J.W. Stroucken).

FIGUUR 5

**A.** *Echinocardium cordatum* (Pennant, 1777), adorale zijde van corona, Pliocene (Zanden van Oorderen), Antwerpen-Kallo (coll. E. Wille; foto: A. Kroh), grootste lengte 67 mm; **B., C.** *Schizaster* gr. *eurynotus/karreri*, adoraal en lateraal aanzicht van fosfaatsteenkern van corona (NHMM JJ 15784a, leg. R. Meuris), Rumst (Antwerpen), Midden Mioceen (foto's: J.W. Stroucken).

FIGUUR 6

**A.** *Hemipatagus* sp. (?nov.), Antwerpen, metrostation Schijnpoort, Midden Mioceen, Zanden van Antwerpen, *Glycymeris* laag (coll. R. Marquet; foto: A. Kroh); grootste lengte 37,5 mm; **B.** labrum (zwart ingekleurd) van *Spatangus* cf. *austriacus* Laube, 1869 (naar Kroh, 2005a, fig. 87); **C.** labrum (zwart ingekleurd) van *Schizaster laubei* Hoernes, 1875 (naar Kroh, 2005a, fig. 66).





FIGUUR 7

**A.** *Luidia* aff. *ciliaris* (Philippi, 1837), kopie van Jagt (1991, pl. 1); **B.** Inferomarginale platen van dezelfde soort (NHMM JJ 4550); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988); lengte 1,5-3,5 mm; **C.** *Luidia* aff. *ciliaris* en *Astropecten* sp. (NHMM JJ 15744, leg. A.F.J. Jansen), Pas de Barreau, Frankrijk, Midden Mioceen; lengte 2-5 mm (foto's: J.W. Stroucken).

FIGUUR 8

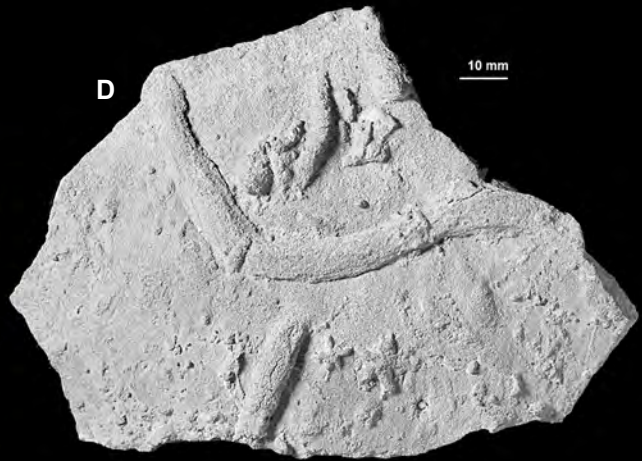
**A.** *Astropecten forbesi* Heller, 1858, scan uit Radwański *et al.* (2014, fig. 3), Midden Mioceen, Oekraïne; **B.** *Astropecten* sp., infero- en superomarginale platen (NHMM JJ 15785a, b); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988) (foto's: J.W. Stroucken), lengte resp. 2-5 mm en 2-7 mm; **D.** *Asteriacites lumbricalis* (von Schlotheim, 1820), kopie van Jagt *et al.* (2009, fig. 2), Liessel, Noord-Brabant, Laat Mioceen.



8

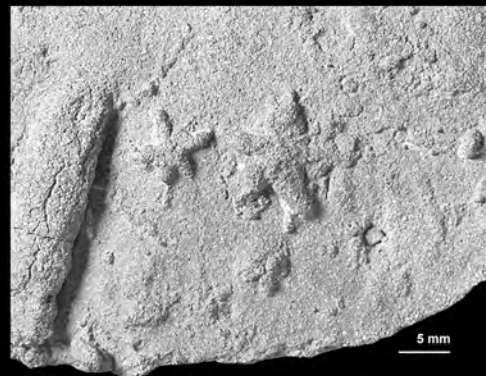


A



D

10 mm



5 mm



B



C



FIGUUR 9

**A.** Goniasteridae indet. en *Astropecten* sp. (NHMM JJ 15745d, leg. W. Vergoossen); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (2013), grootste lengte 9,1 mm (foto: J.W. Stroucken); **B.** *Ceramaster* aff. *muelleri*, losse marginale platen (NHMM JJ 15786); Laag van Miste, Aalten Member, Winterswijk-Miste (1988) (foto's: J.W. Stroucken), lengte 2-4,5 mm; **C.** *Ceramaster* aff. *muelleri* (Heller, 1858), kopie uit Jagt & Codrea (2010), Laat Mioceen, omgeving Antwerpen (coll. E. Wille); **D.** *Ceramaster* aff. *muelleri* en Goniasteridae indet., uit Wienrich (2012, pl. 237 [deels]).

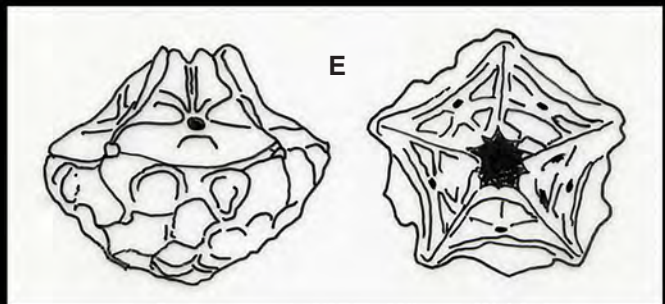
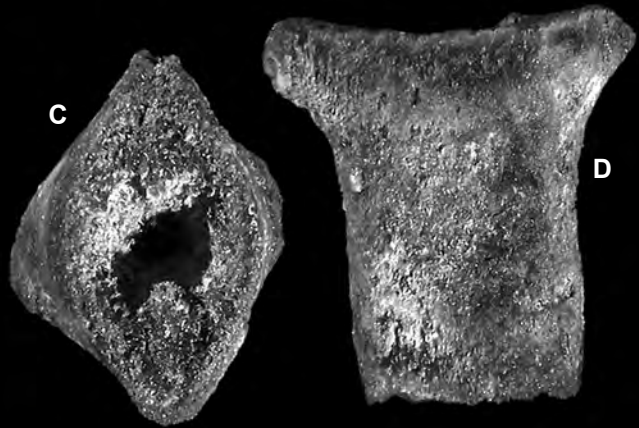
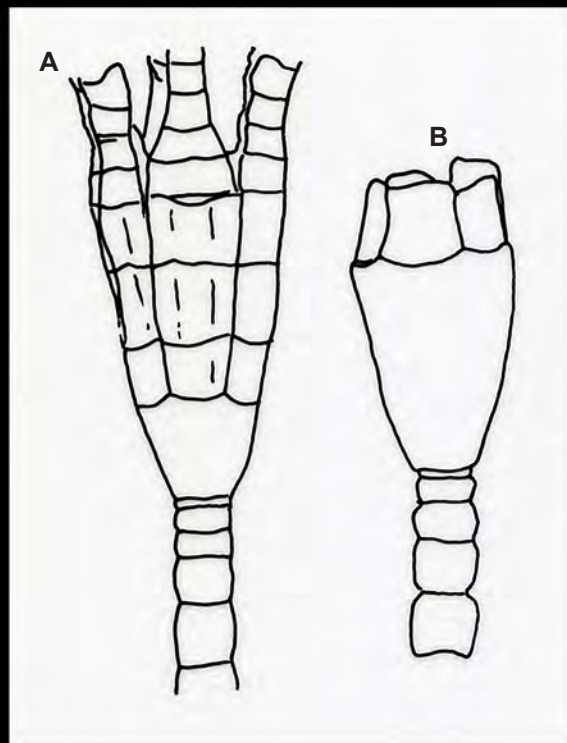
FIGUUR 10

Zeelelies. **A, B.** *Conocrinus* spp. (naar Hess, 2011, fig. 72); **C, D.** Bathyrinidae indet., steelelement in articulatievlak en lateraal (zie Wienrich, 2012, pl. 238, fig. 4a, b). **E.** *Hertha* (familie Antedonidae; kelk en centrodorsale) als voorbeeld van een comatulide (naar Hess, 2011, fig. 67).

FIGUUR 11

Slangsterren. **A.** *Ophiura paucilepis* Stöhr, Jagt & Klompemaker, 2011; Pliocene, Mill-Langenboom (naar Stöhr et al., 2011, fig. 3 [deels]); **B.** *Ophiura* sp., losse radiale platen (peervormig), laterale armplaten en wervels (NHMM JJ 15742d); Laag van Miste, Aalten Member; Winterswijk-Miste (1988) (foto: J.W. Stroucken)

10



11

