

Die kleinsten Schönheiten des Meeres in 3D:

Diatomeen, Radiolarien und Foraminiferen

Ausstellung von Heribert Cypionka, Eberhard Raap und Roland Verreet

Die meisten Menschen denken bei der Vielfalt des Lebens in den Ozeanen an Fische, Wale, Seehunde, Tintenfische, Muscheln, Krabben, Seesterne und vielleicht noch an Korallen und große Algen. Tatsächlich aber sind die meisten Lebewesen im Meer Einzeller – egal, ob man Anzahl, Biomasse, biologische Aktivität oder Artenvielfalt betrachtet. Winzige Bakterien, einzellige Algen und Urtierchen (Protisten) leisten einen großen Teil der Photosynthese und der Abbauprozesse im Meer. Viele der Einzeller tragen Skelette oder Gehäuse aus Silikat oder Calciumcarbonat und lassen nach ihrem Absterben gewaltige Mengen an Mikrofossilien zurück. Diese bedecken große Teile des Meeresbodens, bleiben den Menschen aber meist verborgen, da sie kleiner als Sandkörner (1/100 bis 1/10 mm) sind. Wer hat noch nicht auf einer Mittelmeerinsel am Strand gesessen, ohne zu wissen, dass dieser großenteils aus Mikrofossilien von Einzellern besteht? Wer weiß, wie die Kreidefelsen auf Rügen entstanden sind?

In unserer Ausstellung wollen wir drei Gruppen dieser einzelligen Meeresbewohner zeigen: **Diatomeen, Radiolarien und Foraminiferen** (kurz vorgestellt bei den Übersichtsbildern). Es geht uns nicht um Vollständigkeit und taxonomische Genauigkeit. Wir möchten zeigen, wie schön und vielfältig die Formen dieser Mikroorganismen und ihre fossilen Reste sind, wenn man sie in ihrer natürlichen, dreidimensionalen Struktur wahrnimmt.

Herzlichen Dank für Unterstützung an cewe, Oldenburg, und das Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Universität Oldenburg.

Mehr Bilder von den Einzellern der Ozeane im Internet unter

www.mikrobiologischer-garten.de

(E1)



Diatomeen oder Kieselalgen

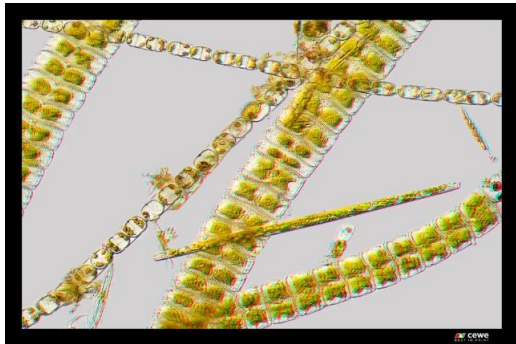
Diatomeen oder Kieselalgen sind eine artenreiche Gruppe einzelliger Algen mit einem Gehäuse aus glasartigem Silikat (Silizium-Dioxid). Die Gehäuse bestehen aus einer Oberschale und einer Unterschale, ähnlich wie Camembert-Pappschachteln. Sie zeigen viele Formvariationen und ornamentartige Strukturen mit einer stabilen Leichtbauweise, die Ingenieure in der Bionik nachzuahmen versuchen. Diatomeen kommen in allen Meeren und im Süßwasser vor. Sie bilden einen großen Teil des Phytoplanktons und haben einen wesentlichen Anteil der globalen photosynthetischen Primärproduktion. Im Wasser treibende (planktische) Formen sind meist rundlich (radiärsymmetrisch), auf dem Meeresboden lebende (benthische) hingegen länglich und bilateral symmetrisch wie kleine Schiffe.

Lebende Diatomeen zeigen oft eine gelblich-braune Färbung durch ihre Chloroplasten. Die Größe der Zellen liegt meist im Bereich von 0.01 bis 0.3 mm (10 bis 300 μm). Viele Arten können Ketten bilden. In Ablagerungen auf dem Meeresboden (oder nach Säurebehandlung zur Reinigung der Diatomeen) findet man oft nur die Ober- oder Unterschalen, und feine Fortsätze fehlen.

Das hier gezeigte Kreispräparat (Durchmesser etwa 1.35 mm) zeigt 145 Diatomeen-Formen ohne 3D-Effekt. Es wurde von Eberhard Raap [ER] nach Auslesen von marinen Sedimentproben hergestellt, dauerhaft fixiert (in Aroclor) und von Heribert Cypionka [HC] fotografiert.

(E2)

Lebende Diatomeen sowie eine mit Ober- und Unterschale



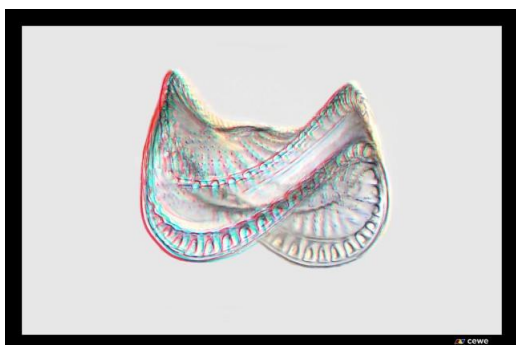
Salzwasserdiatomeen aus der Solequelle bei Artern (Thür.). Lebende Zellen mit gelblicher Färbung. Viele Diatomeen bilden Zellketten, hier *Achnanthes* (gr.) u. *Melosira* (kl.) [ER]



Ditylum brightwellii, Nordsee, man sieht, wie die Zelle mit gelblich-braunen Chloroplasten durch feine Fäden in der Mitte des „Glas“gehäuses aufgehängt ist. [HC]



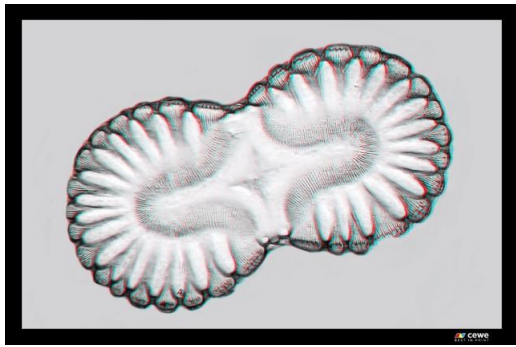
Chaetoceros spec., Nordsee, Kette aus lebenden Zellen mit langen Fortsätzen (*Setae*). Der Name *Chaetoceros* bedeutet auf Deutsch „Borstenhaar“. [HC]



Surirella spec., Seitenansicht der von Natur aus stark verdrehten Zelle mit Ober- und Unterschale. [HC]

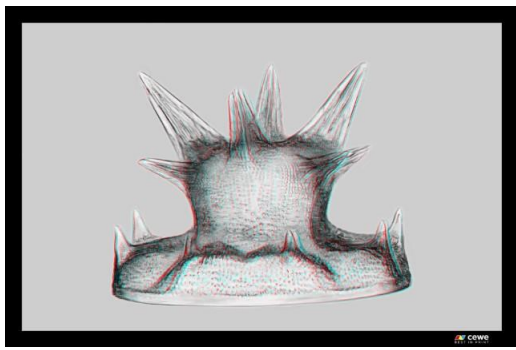


Diatomeen oder Kieselalgen



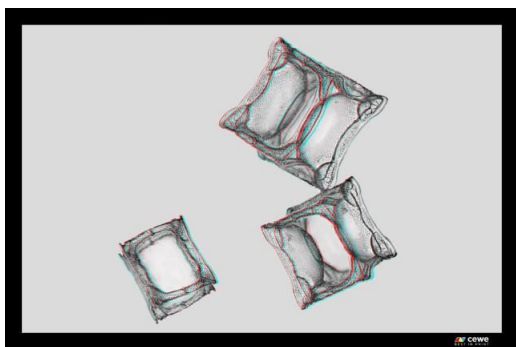
Surirella baldjickii Norman,
Frankreich, Aufsicht

[ER]



Pyrgodiscus armatus aus Brno,
Tschechien, ein sehr seltener Fund
in diesem Erhaltungszustand

[ER]

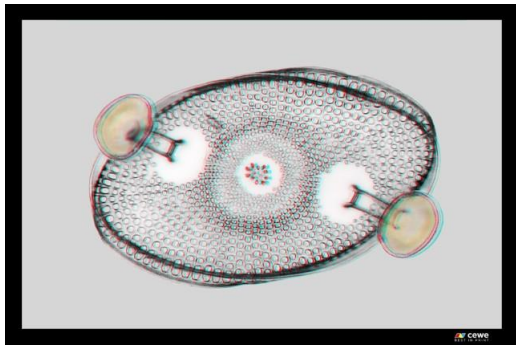


Solium exsculptum aus der Fur-
Formation, Insel Mors, Dänemark

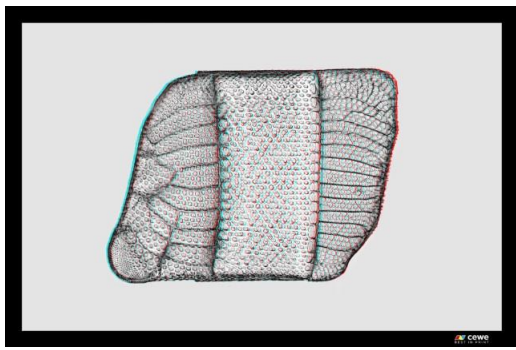
[ER]



Diatomeen oder Kieselalgen



Kittonia elaborata, Oamaru,
Neuseeland. Für das Bild wurde ein
spezielles Objektiv verwendet um
Aufnahme von der Unterseite des
Präparats zu machen, vgl. dieselbe
Zelle im Kreispräparat [ER]

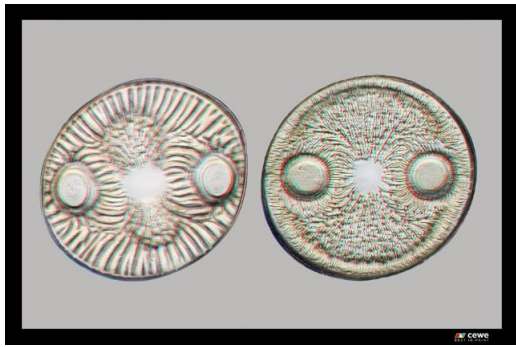


Isthmia nervosa Kützing,
Californien, USA

[ER]

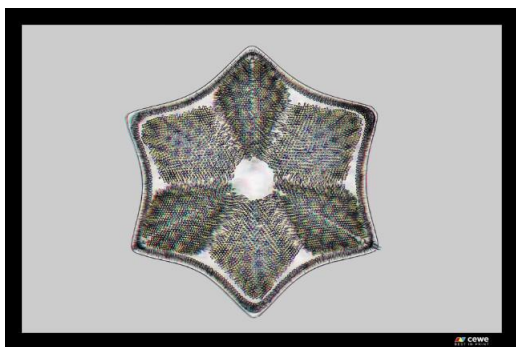


Diatomeen oder Kieselalgen



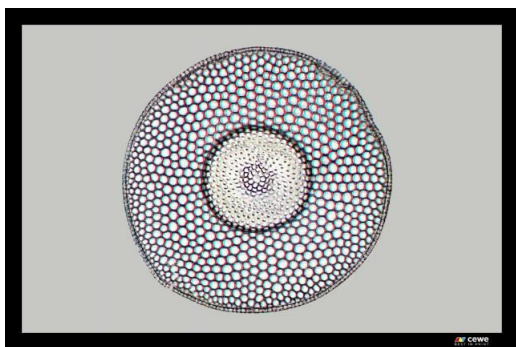
Auliscus sculptus und *Auliscus accedens* Rattray, Oamaru, Neuseeland. Man hat den Eindruck, dass hier die Diatomeen auch den Betrachter beobachten!

[ER]



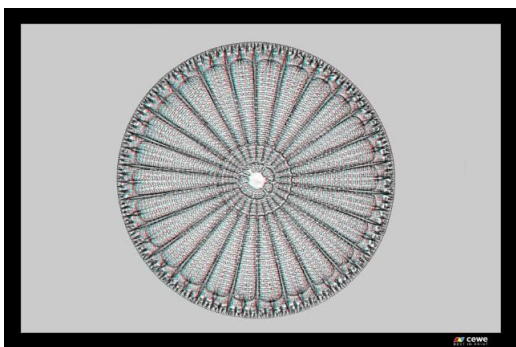
Actinoptychus decorans, Oamaru, Neuseeland

[ER]



Craspedodiscus coscinodiscus
Ehrenberg, Atlantik

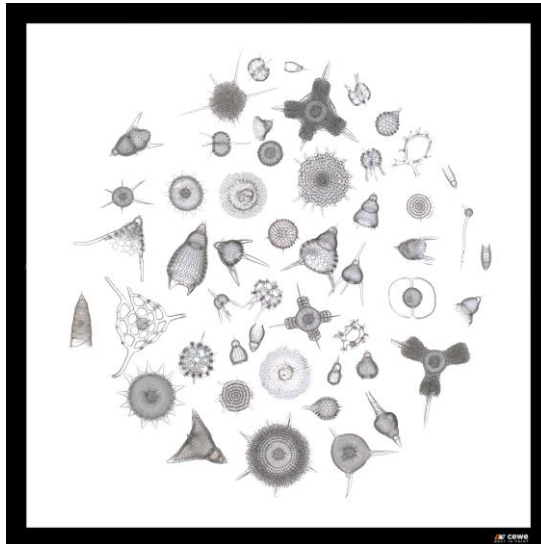
[ER]



Arachnodiscus ehrenbergii var.
oamaruensis, Oamaru,
Neuseeland

[ER]





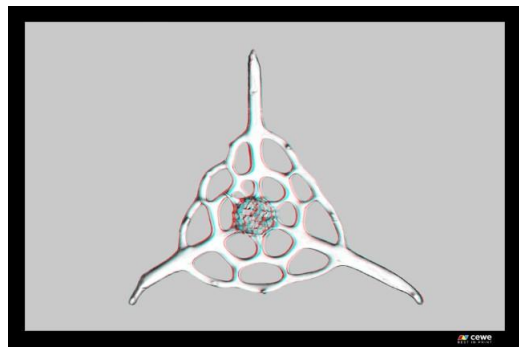
Radiolarien oder Strahlentierchen

Radiolarien oder Strahlentierchen sind einzellige Lebewesen mit einem Endoskelett aus Silikat, wie die Diatomeen. Anders als die Diatomeen machen Radiolarien aber keine Photosynthese sondern ernähren sich von gelösten oder partikulären Nährstoffen (heterotroph). Diese sammeln sie mit Hilfe von radial abstehenden Fortsätzen (Axopodien), die aus Silizium-Dioxid und Proteinen bestehen. Die Axopodien gehen strahlenförmig vom Endoskelett aus, das aus einer oder mehreren konzentrisch angeordneten durchlöcherten Kapseln besteht. Radiolarien findet man ausschließlich im Meer. Nach der Ablagerung auf dem Meeresboden sieht man die Axopodien normalerweise nicht mehr. Sie gehören zu den Wurzelfüßern (Rhizopoden), wie die Amöben und Foraminiferen, sind aber nicht eng mit diesen verwandt. Ihre Größe ist der der Diatomeen vergleichbar (0.01 bis 0.1 mm). In fossilen Proben.

Das hier gezeigte Kreispräparat (Durchmesser etwa 1.8 mm) zeigt die Endoskelette von Radiolarien der Insel Barbados in der Karibik ohne 3D-Effekt. Die Radiolarien wurden von Eberhard Raap aus fossilen Proben (Eozän, etwa 40 Millionen Jahre alt) ausgelesen, dauerhaft fixiert (in Neutralbalsam) und von Heribert Cypionka fotografiert.

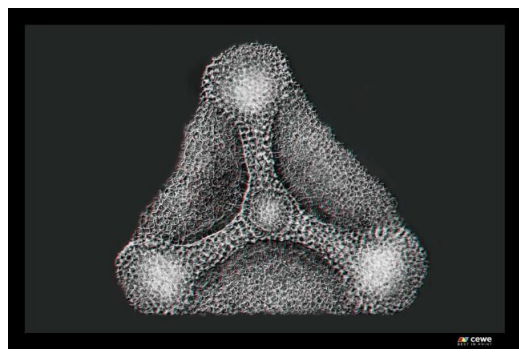
(E3)

Radiolarien oder Strahlentierchen



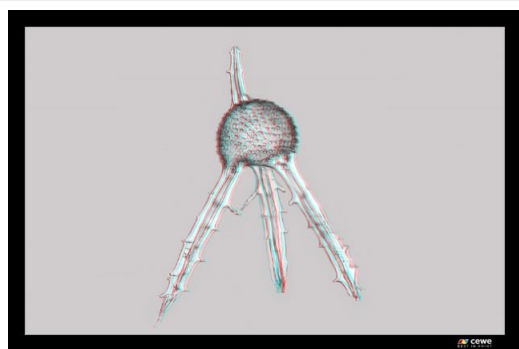
Dictyophimus craticula Ehrenberg,
Insel Barbados

[ER]



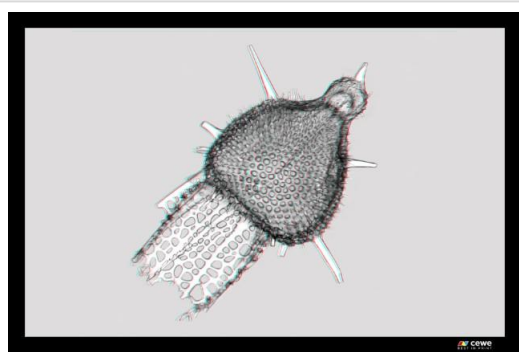
Dictyocoryne profunda Ehrenberg,
Insel Barbados,
Negativdarstellung, um
kontrastarme Strukturen besser
hervorzuheben

[ER]



Tripospyris tribrachiata Ehrenberg,
Insel Barbados, auffällig sind die
kräftig ausgebildeten „Standbeine“

[ER]

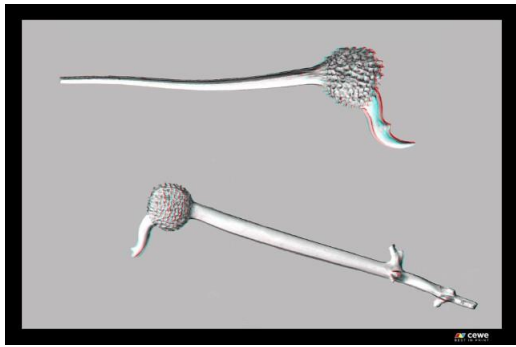


Anthocyrtis grossularia Ehrenberg,
Insel Barbados

[ER]

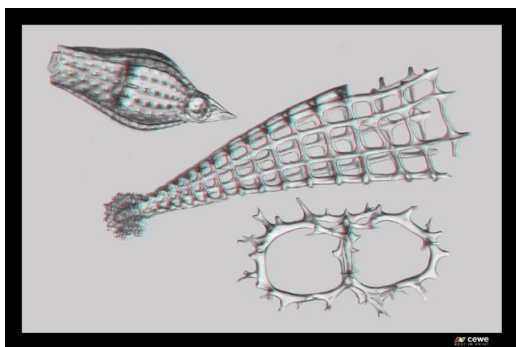


Radiolarien oder Strahlentierchen



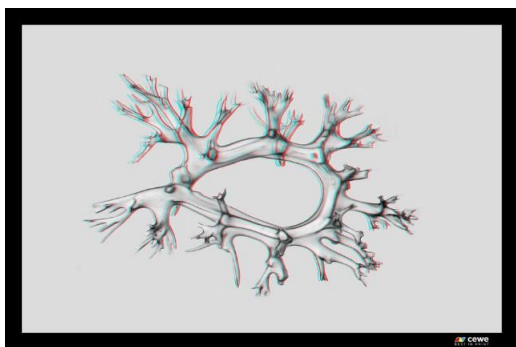
Xyphostylus sp. Haeckel, Insel Barbados

[ER]



(von oben) *Podocyrtis* sp.
Ehrenberg, Insel Barbados,
Plectopyramis magnifica
Ehrenberg, Insel Barbados
Acanthodesmia veniculata Müller,
Insel Barbados

[ER]

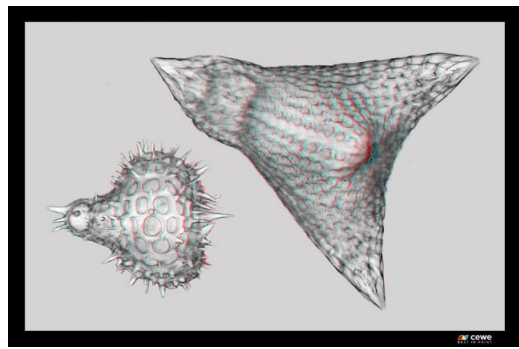


Lithocircus sp. Müller, Insel Barbados

[ER]

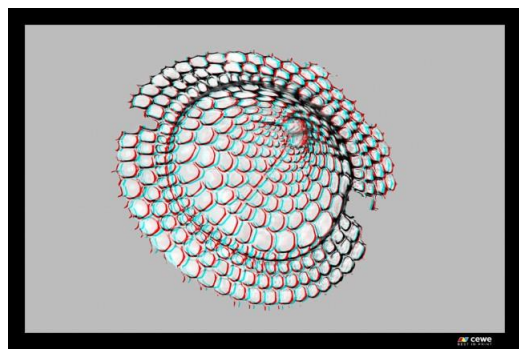


Radiolarien oder Strahlentierchen



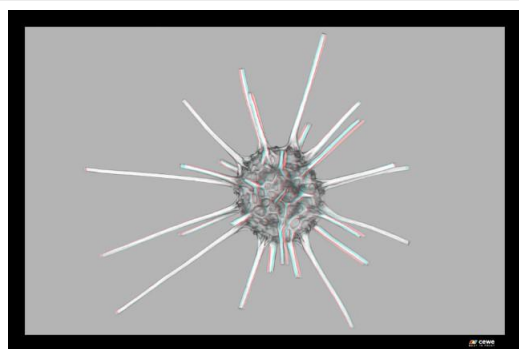
Lithochytris pyramidalis Ehrenberg,
die etwas größere Radiolarie
kommt häufiger auf der Insel
Barbados in den
Meeressedimenten vor

[ER]



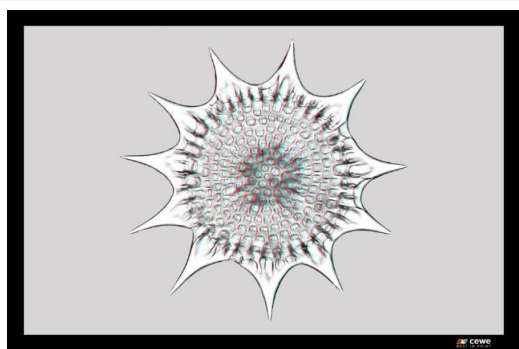
Theopilium tricostatum Haeckel
1887, Südchinesisches Meer

[ER]



Eine mit reichlich Stacheln
behaftete Spumellarie zeigt
eindrucksvoll die räumliche
Ausdehnung der Radiolarie im 3D-
Bild

[ER]



Heliodiscus umbonatus
(Ehrenberg), Insel Barbados

[ER]





Foraminiferen oder Kammerlinge

Foraminiferen sind gehäusetragende Einzeller. Man kennt mehr als 10 000 rezente Arten und noch mehr fossile. Wie die Radiolarien machen sie keine Photosynthese, sondern ernähren sich von organischer Substanz, und man findet sie fast ausschließlich im Meer; auch sie gehören zu den Wurzelfüßern (Rhizopoden), ohne eng mit Amöben und Radiolarien verwandt zu sein. Die Tiere besiedeln zumeist den Meeresboden (Benthos); einige, die Globigerinen leben im Wasser schwebend (planktisch). Im Unterschied zum Endoskelett der Radiolarien besteht das Gehäuse der Foraminiferen meist aus Kalk (Calciumcarbonat). Die außerordentlich formenreiche Gruppe lässt sich mindestens seit dem Kambrium (vor rund 560 Millionen Jahren) nachweisen. Foraminiferen dienen in der Paläontologie aufgrund ihrer fossil erhaltenen, oft gesteinsbildenden Schalen als Leitfossilien. Einige tropische Foraminiferen können, eine Größe von mehreren Zentimetern erreichen. Meistens sind sie jedoch 0.05 bis 2 mm groß. Viele bilden im Laufe ihres Lebens zahlreiche an Größe zunehmende Kammern, so dass ihr Aussehen an Schnecken oder Ammoniten erinnert.

Das hier gezeigte Kreispräparat (Durchmesser 1.5 mm) zeigt 52 Foraminiferen aus der Sulusee (zwischen den Philippinen und Malaysia) ohne 3D-Effekt. Es wurde von Eberhard Raap nach Auslesen von Sedimentproben aus 500 m Wassertiefe hergestellt, dauerhaft fixiert (in Neutralbalsam) und von Heribert Cypionka fotografiert.

(E4)

Foraminiferen oder Kammerlinge



Foraminiferen im Schräglicht

2D-Mosaik aus Stapelbildern von
Dipl.-Ing. Roland Verreet, Aachen

Je 20 bis 50 Bilder, aufgenommen am
Keyence Mikroskop VHX 600

Herkunft der Proben:

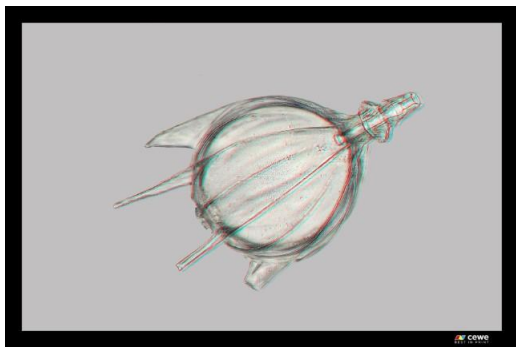
- Bild 1: Zypern (rezent)
- Bilder 2, 3, 4, 5, 6: Grand Cayman (rezent)
- Bild 7 Mallorca (rezent)
- Bild 8: Sternberg, Mecklenburg-Vorpommern
(Alter ca. 25 Mio. Jahre)
- Bild 9: Grand Cayman (rezent)

Foraminiferen oder Kammerlinge



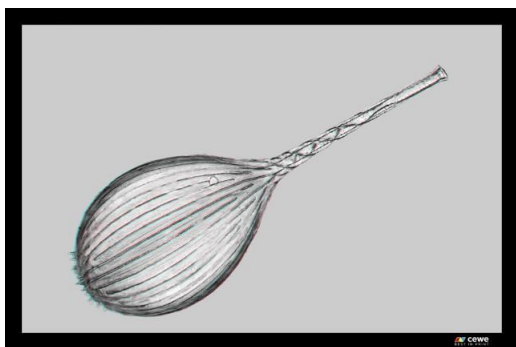
Foraminiferen-Parade in 3D, eine Zusammenstellung verschiedener Foraminiferen, um die Formenvielfalt zu demonstrieren

[ER]



Lagenella sp. mit seitlichen Ansätzen

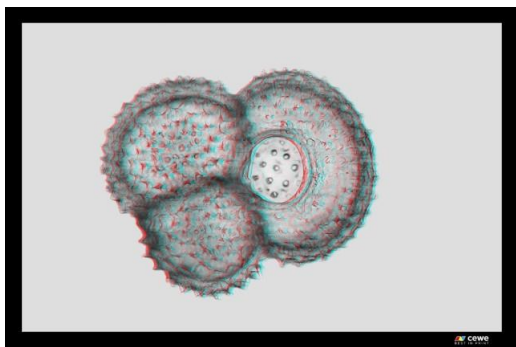
[ER]



Lagenella sulcata Walker & Jacob

Das Gehäuse ist eine einzelne Kammer, oft kunstvoll verziert.

[ER]



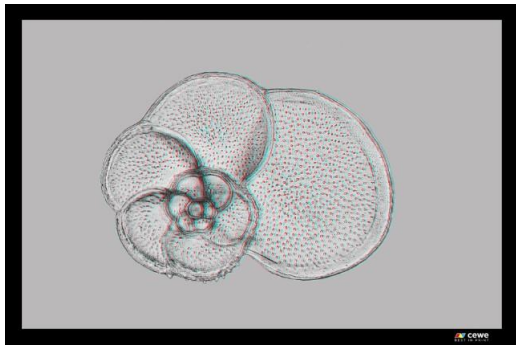
Globigerina sp., die häufigste planktische Foraminifere im Ozean.

Hier kann man wunderschön in die Mundöffnung hineinschauen.

[ER]

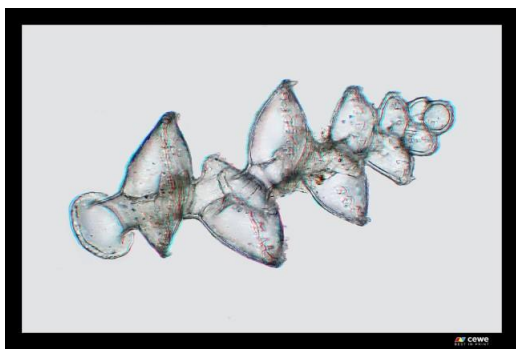


Foraminiferen oder Kammerlinge



Globorotalia menardii

[ER]



Siphouvigerina fimbriata, Sulusee.
Der Namenszusatz *fimbriata* macht auf die Fransen an den „Flügelblättern“ aufmerksam.

[ER]



Bei den hier gezeigten Foraminiferen sieht man Röhrchen als Verbindung zwischen den Kammern, von der kleinsten Ausgangskammer (*Proloculus*) bis zur Mundöffnung

[ER]

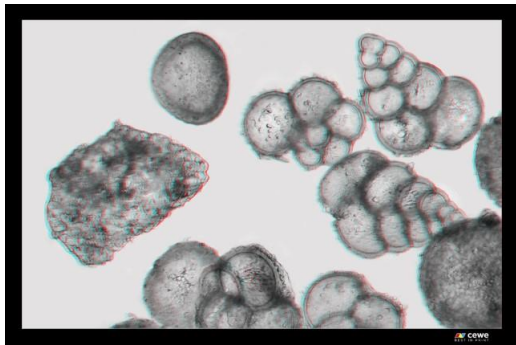


Spiroloculina spec.

[ER]



Foraminiferen oder Kammerlinge



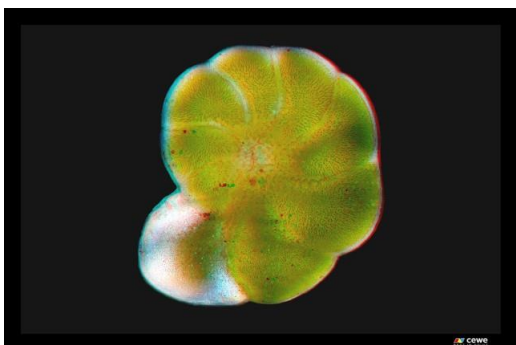
Foraminiferen aus der Familie Heterohelcidae, Rügener Kreide, ca. 70 Mio. Jahre alt (Kreidezeit, Maastrichtium).

[ER]



Auflichtaufnahme einer Foraminifere aus dem Sternberger Sand in Mecklenburg-Vorpommern, ca. 25 Mio. Jahre alt (Oligozän)

[HC]



Lebende Foraminifere aus Dangast, Nordsee (Dunkelfeld). Foraminiferen machen keine Photosynthese. Diese hat aber offenbar Algen als Symbionten aufgenommen.

[HC]

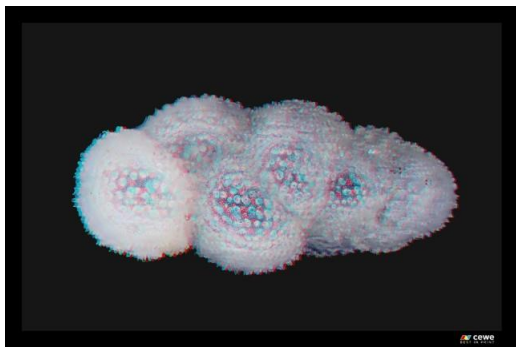


Foraminiferen oder Kammerlinge



Dunkelfeldaufnahme einer Foraminifere aus Mallorca (*Elphidium* sp.) Man sieht weniger die innere Struktur als die Oberflächenbeschaffenheit.

[HC]



In der Auflichtaufnahme dieser Foraminifere wird die raue Struktur der Kalkschale gut erfasst

[HC]

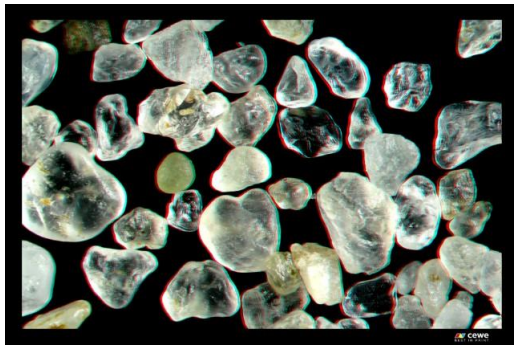


Diese rezente Foraminifere von den Cayman-Inseln hat einen Durchmesser von ca. 2 mm (Auflichtaufnahme).

[HC]



Sandproben



Sand aus Borkum, Nordsee, im Dunkelfeld. Man sieht fast ausschließlich Quarzkörner.

[HC]



Sand aus Alcudia, Mallorca. Anders als bei Sand aus der Nordsee, sieht man keine Quarzkörner, dafür überwiegend Foraminiferen, sowie Reste von Seeigeln, Schwämmen und Muscheln.

[HC]



Sternensand aus Japan besteht größtenteils aus recht großen Foraminiferen (ca. 1 - 2 mm)

[HC]



Wie die 3D-Bilder dieser Ausstellung entstanden sind

(siehe dazu auch die kurze Videopräsentation)

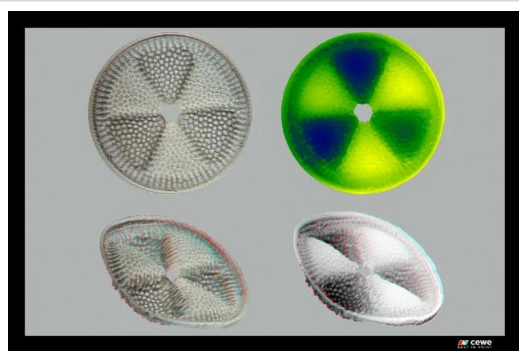
Objekte mit räumlicher Tiefe erscheinen wegen der geringen Schärfentiefe von stark vergrößernden Objektiven im Mikroskop überwiegend unscharf. Macht man nun eine Serie fein abgestufter Schichtaufnahmen, lassen sich alle Strukturen in einem Bilderstapel erfassen. Mit Hilfe eines Computerprogramms wird aus dem Bilderstapel ein einziges, scharfes Bild errechnet. Diesen Prozess nennt man *Focus-Stacking*. Für diese Ausstellung wurde dazu das Programm PICOLAY benutzt, das von Heribert Cypionka entwickelt wurde.

Das aus einem Bilderstapel errechnete scharfe Gesamtbild (Stapelbild) allein enthält keine Information über die dreidimensionale Struktur. PICOLAY erstellt aber gleichzeitig eine Tiefenkarte mit der Information, aus welcher Ebene des Bilderstapels jedes Bildelement (Pixel) stammt, vergleichbar den Farben einer physikalischen Karte im Atlas. Mit Hilfe dieser Tiefenkarte lassen sich die räumlichen Strukturen der Objekte rekonstruieren und dreidimensionale Projektionen oder stereoskopische Bilder erzeugen, wie sie in unserer Ausstellung gezeigt werden. PICOLAY errechnet dazu zwei Bildprojektionen für das linke und rechte Auge. Betrachtet man diese beiden Bilder getrennt, scheinen sie sich kaum zu unterscheiden. Überlagert man sie, nachdem man von einem Bild nur die Rot-Anteile, vom anderen die Cyan-Anteile (blaugrün) extrahiert hat, kann man durch eine sogenannte Anaglyphenbrille oder Rot-Cyan-Brille die natürliche dreidimensionale Struktur der Objekte stereoskopisch sichtbar machen.

Die Bilder dieser Ausstellung beruhen auf Stapeln mit je 30 bis 100 Bildern, aufgenommen im Abstand von wenigen Mikrometern. Die großen Übersichtsbilder sind ohne 3D-Effekt, da die Tiefe der einzelnen Objekte im Vergleich zum Gesamtbild sehr gering ist.

Das *Stacking*-Programm PICOLAY ist Freeware und kann heruntergeladen werden unter www.picolay.de

Vom Stapelbild über die Tiefenkarte zur 3D-Darstellung



Schale der Diatomee *Actinopterychus* spec., Stapelbild aus 31 Schichtaufnahmen, Tiefenkarte, sowie unten räumliche Projektionen, rechts unten mit zusätzlicher Schattierung [HC]



- Links oben das von PICOLAY aus 31 Schichtaufnahmen errechnete scharfe Stapelbild ohne Tiefeninformation.
- Rechts daneben die Tiefenkarte, die PICOLAY aus dem Bilderstapel errechnet hat, mit einem Farbcode von Gelb (= oben) über Grün (= Mitte) nach Blau (= unten).
- Unten: Mit Hilfe der Tiefenkarte lassen sich durch PICOLAY räumliche Projektionen erzeugen, die durch eine Rot-Cyan- Anaglyphenbrille eine stereoskopische Betrachtung ermöglichen.
- 😊 Schichtaufnahmen kann man mit jedem Mikroskop aufnehmen, indem man für jedes Bild den Feintrieb in feinsten Stufen von oben nach unten verstellt. Alle Bilder dieser Ausstellung wurden nach diesem Verfahren aus 30 - 100 Aufnahmen zusammengesetzt.
- 😊 Das Programm PICOLAY wurde entwickelt von Heribert Cypionka und ist Freeware: www.picolay.de