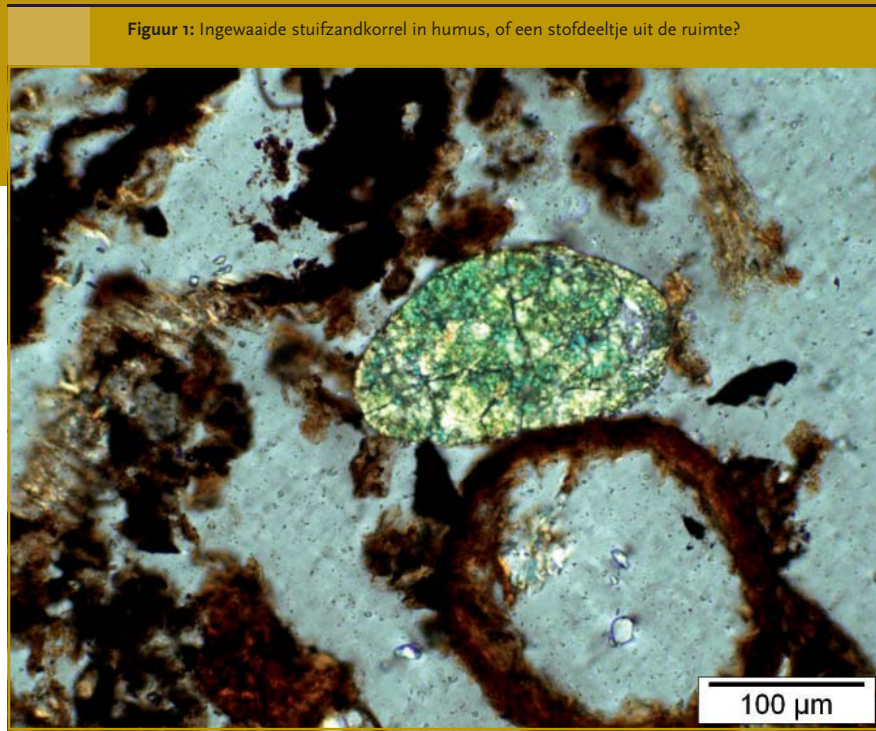


Onze planeet komt aan; elke dag gemiddeld zo'n 0,16 gram per vierkante kilometer. Voor Nederland is dat al snel 7 kilo. Wereldwijd gaan de voorzichtigste schattingen uit van 30.000 ton per jaar. Die gewichtstoename komt vooral door microscopische stofdeeltjes uit de ruimte. Waar blijft al dat stof en wat kunnen we ermee?



Stof voor onderzoek in Nederland

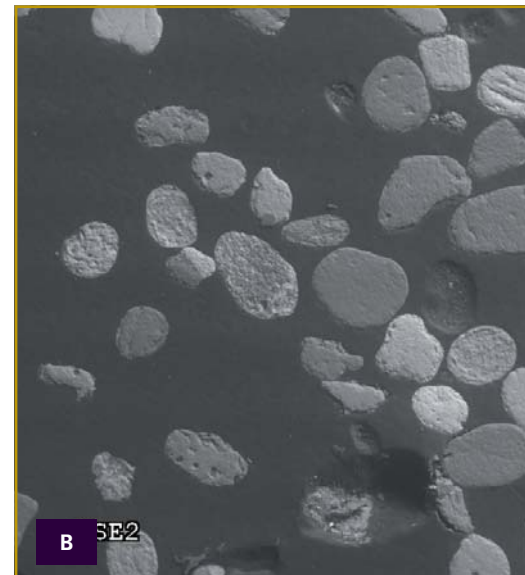
# Micrometeorieten

Voor de oorsprong van ruimtelijk stof moeten we 4,7 miljard jaar terug in het geologisch verleden. Lang voordat de aarde bestond waren alle ingrediënten voor de vorming van ons zonnestelsel al aanwezig. Uit een grote gaswolk begon onze zon te

condenseren en klonterden vaste bestanddelen samen – de eerste bouwstenen voor planeten. Het gros van deze *chondrulen* zit nu in de rotsachtige planeten die het binnenste deel van ons zonnestelsel vormen. Een ander deel is ingesloten in het ijs van kometen die

op grotere afstanden van de zon bewegen, bij temperaturen ver onder de  $-200^{\circ}\text{C}$ . Pas als deze 'vieze sneeuwballen' weer binnen de warme invloedssfeer van de zon geraken en smelten, komen de stofdeeltjes vrij. De vallende sterrenregens die we op aarde met

Figuur 2: Microscopiebeelden van de verschillende schalen en stappen in het micrometeorietenonderzoek. Na een zware vloeistofscheiding worden de overgebleven mineralen (A) geselecteerd, gegoten in epoxyhars en gepolijst tot een doorsnede voor onder de SEM-microscop (B). Met deze kennis duiden unieke kenmerken op mogelijke micrometeorieten in slijpplaatjes (C).



enige regelmaat kunnen zien, zijn hiervan bekende voorbeelden. Daarnaast zijn de inslagen op de maan en Mars en de kilometergrote brokstukken steen tussen Mars en Jupiter verantwoordelijk voor het stof dat jaarlijks met tienduizenden tonnen op aarde neerduart.

#### De oorsprong

De samenstelling van de stofdeeltjes is over 4,7 miljard jaar onveranderd gebleven. Daarom zijn deze 'micrometeorieten' ideaal om de vorming van ons zonnestel te reconstrueren. De Antarctische ijskap is een populaire locatie om micrometeorieten te verzamelen. De South Pole Water Well, die diverse poolstations van drinkwater voorziet, levert vele kilo's per jaar op. Ook op andere poollocaties, in scheuren en depressies in gesteente, zijn grote hoeveelheden micrometeorieten te vinden die de wind daar vanaf de ijsvlakte heeft heengeblazen. En aan de randen van ijskappen zorgen gletsjerprocessen voor condensatie van micrometeorieten. Het lastige voor onderzoekers is dat er in de huidige geïndustrialiseerde maatschappij veel vergelijkbare stofdeeltjes vrijkomen bij verbrandingsprocessen. De drek uit de dakgoot zal bijvoorbeeld zeker micrometeorieten bevatten, maar waarschijnlijk veel meer vuil van industriële processen,

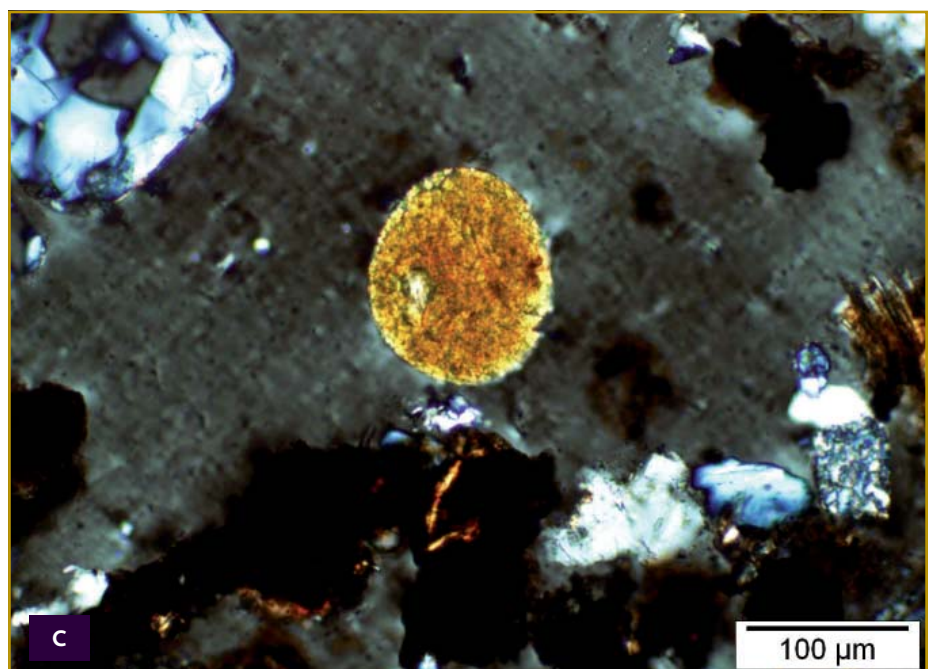
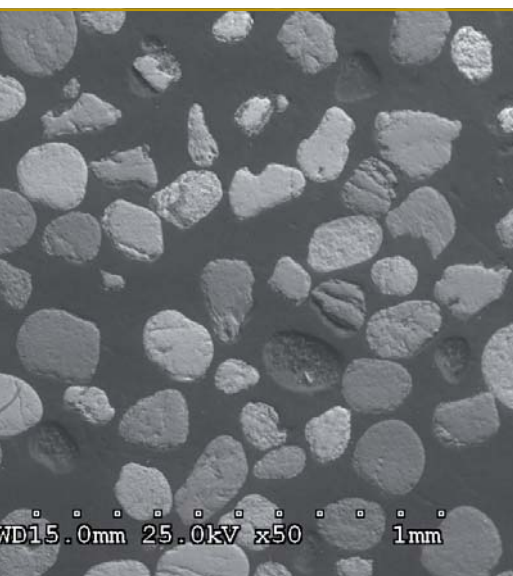
dat qua vorm sterk kan lijken op micrometeorieten. Dé manier om micrometeorieten te onderscheiden is de unieke mineralogische samenstelling.

#### Onderscheid

Bij een frontale botsing van kosmische stofdeeltjes met de atmosfeer van de aarde kunnen de snelheden oplopen tot 71 kilometer per seconde – van Amsterdam naar Utrecht en terug in minder dan een seconde tijd. Door de warmte die bij zulke botsingen vrijkomt, verdampen de stofdeeltjes geheel. Veel vaker zullen ze met lagere snelheden de atmosfeer inkomen en zijn de deeltjes groter dan 100-500 µm alleen gevoelig voor smelten terwijl nog kleinere deeltjes min of meer intact op aarde belanden. Door de relatief geringe temperatuurstijging (tot maximaal 500°C) zijn micrometeorieten die lange tijd in de ruimte rondzweven ideale capsules om aminozuren naar het oppervlak van de aarde te brengen (kader Murchinsons aminozuren). Door de atmosferische opwarming zijn de wat grotere deeltjes na smelting bijna perfect rond of licht ovaal van vorm. Door het contact met onze atmosfeer vormt zich in de deeltjes bovendien het ijzermineraal magnetiet. Vanwege hun hoge ijzergehalte zijn micrometeorieten dan ook gemakkelijk met een hand-

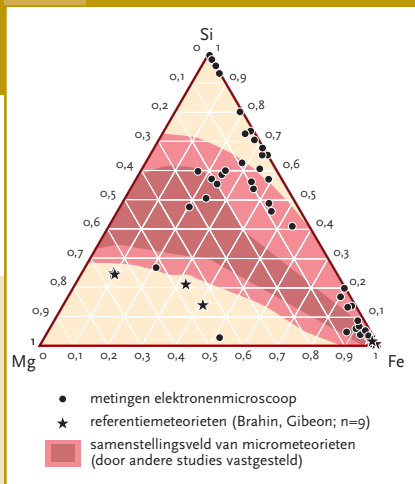
## Murchinsons aminozuren

Op 28 september 1969 sloeg in de buurt van het plaatsje Murchison in Australië een diepzwarte meteoriet in die snel wereldfaam vergaarde. In de meteoriet werden sporen aangetroffen van meer dan 100 verschillende aminozuren. Daarvan komen er 20 overeen met de aminozuren die aanwezig zijn in de eiwitten van aardse biologische systemen. De meerderheid bestaat uit verbindingen die alleen in de ruimte zijn waargenomen met infrarood telescopen. Dit geeft de meteoriet ook zijn kenmerkende geur, die lijkt op vochtige aarde. Verzamelaars betalen grof geld om deze lucht in een potje te kunnen bewaren! Uit experimenten met het opwarmen van stukjes Murchison-meteoriet blijkt ondermeer dat de temperatuur waarbij de aminozuren 'gekraakt' worden, boven de smeltemperatuur van micrometeorieten ligt. Daarom kunnen de aminozuren onbeschadigd in aardse ecosystemen en bodems terecht komen. Vooral in het Precambrium kan deze input van belang zijn geweest voor vorming van het eerste prebiotische leven op aarde.





**Figuur 3:** Atomaire verhouding tussen magnesium (Mg), ijzer (Fe) en silicium (Si)



## Unieke samenstelling

De verhouding van isotopen in meteorieten en aards gesteente verschilt sterk. Door het radioactief verval van  $^{26}\text{Al}$  naar  $^{26}\text{Mg}$  in gesteente in de ruimte bevatten (micro)meteorieten in verhouding meer magnesium dan aards gesteente. Figuur 3 toont de atomaire verhouding tussen magnesium (Mg), ijzer (Fe) en silicium (Si). Door de sterk afwijkende verhoudingen clusteren micrometeorieten op een heel andere plek in de grafiek dan aardse bronnen die vergelijkbare bolvormige deeltjes maken, zoals vulkanisme en industriële processen. De grafiek laat zien waar diverse deeltjes uit humuslagen zich bevinden in dit samenstellingsveld. Enkele korrels zijn micrometeorieten, maar een groot deel van de deeltjes uit de stuifzanden bestaat ook uit 'normale' aardse deeltjes.

magneet uit sediment te vissen. (Micro)meteorieten verschillen ook sterk van aards gesteente door andere atomaire verhoudingen (kader Unieke samenstelling). Als je micrometeorieten in epoxyhars giet en polijst tot een halve korrel (dus een doorsnede van de korrel), is met geavanceerde technieken, zoals *Energy Dispersive X-ray*-spectrografie, de unieke samenstelling te meten (figuur 3).

### Nederlands onderzoek

In Nederland hebben we geen gletsjers; daarmee lijkt het onderzoek naar micrometeorieten hier al snel op een dood spoor te belanden. Maar nee. In de soms wel 10 cm dikke humuslagen onder aangeplant dennenbos kan zich een redelijke hoeveelheid micrometeorieten verzameld hebben (figuur 4).

De langzame compostering in humuslagen in deze bossen creëert namelijk een perfect accumulatiemilieu voor dit soort buitenaardse deeltjes. Vooral op gematigde breedten zijn humuslagen dus veruit de beste plekken om micrometeorieten te vinden. Humuslagen van een eeuw oud komen op veel locaties in Nederland voor. In elke schep humus zitten al snel een paar honderd micrometeorieten. Dat lijkt een hoop, maar vergeleken met de hoeveelheid stuifzand die er óók in zit, zijn deze aantallen al snel ontmoedigend. In Nederland zijn micrometeorieten dus aanzienlijk moeilijker te herkennen. De korrels in dekzanden en stuifzanden die in het laatste glaciaal zijn afgezet hebben allemaal mooie afgeronde vormen, net als de ronde micrometeorieten. Maar micrometeorieten hebben eigenschappen die kunnen helpen om ze tussen de overvloed aan korrels te herkennen. Stuifzanden als de Herperduinen en Bedafse Bergen (op en rondom de Maashorst, niet ver van de plek waar de zeldzame 'Uden' meteoriet uit 1840 is neergekomen) bestaan vooral uit kwarts en veldspaat, en verschillen met hun dichtheid van  $2,51\text{-}2,75\text{ gcm}^{-3}$  sterk van de gemiddelde dichtheid van olivijn- en metaalrijke micrometeorieten van  $3,00\text{-}5,80\text{ gcm}^{-3}$ . Door gebruik te maken van diiodomethaan, een zware vloeistof met een dichtheid van  $3,08\text{ gcm}^{-3}$ , kun je mineralen van elkaar scheiden. In een centrifuge worden met een versnelling van 700 keer de aardse zwaartekracht de zwaardere mineralen door de vloeistof 'geperst' en blijven kwarts- en veldspaatkorrels op de vloeistof drijven (figuur 2 op pag. 56). Wetenschappers van het Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica aan de Universiteit van Amsterdam zijn erin geslaagd op deze manier micrometeorieten uit humuslagen te halen. Het gaat hier om humuslagen die zich in zo'n tachtig jaar konden ontwikkelen onder aangeplant dennenbos op voormalige heide – bodems die dus tachtig jaar lang een neerslag van micrometeorieten ontvingen. In micromorfologische bodemstudies werd tot nu toe nooit melding gemaakt van waargenomen micrometeorieten, simpelweg omdat ze onbekend waren en gerekend werden tot opake of dubbelbrekende mineralen. Maar met de identificatie van micrometeorieten in bodems is een nieuwe exotische groep van deeltjes toegevoegd aan de bodemanalyses.

**Figuur 4:** Dunne doorsnede van een humuslaag onder naaldbos. Organisch materiaal vergaet, terwijl onverteerbare bestanddelen, ingestoven zand en micrometeorieten achterblijven in het decenniaoude humusprofiel.



### Onderzoeksvragen

De dekzandgebieden van de Herperduinen en Bedafse Bergen ontvingen zo'n 9000 jaar lang micrometeorieten. Waar zijn al deze stofdeeltjes gebleven? Nu we micrometeorieten beter herkennen, kunnen we nieuwe onderzoeksvragen uitwerken. Een ervan betreft de invloed van het buitenaardse ijzer op de bodemvorming in onze chemisch arme zandgronden. De bodemvorming is hier vooral herkenbaar aan de ontwikkeling van prominente ijzerinspoelingshorizonten. Is de aanvoer van buitenaards ijzer daar een belangrijke factor in? Een andere vraag gaat over de samenhang tussen de neerslag van micrometeorieten en het klimaat. Veranderingen van concentraties micrometeorieten in sedimentkernen en veenafzettingen zijn mogelijk een reflectie van neerslagpatronen en klimaatverandering. Voldoende perspectief dus voor nieuw bodemkundig onderzoek. •