



Wetenschapper
in de ruimte wint maar
langzaam aan betekenis

Duur en discutabel

Het internationale ruimtestation ISS is er nu eenmaal vanwege een hele waslijst aan andere redenen, waaronder politiek prestige en internationale verbroedering, dus laten we er dan maar gebruik van maken voor bemand ruimte-onderzoek. En zo zoetjes aan krijgt dat onderzoek ook wat meer wetenschappelijke betekenis.

■ Drie jaar heeft de bouw van ISS, het ruimtelaboratorium dat op zo'n 350 kilometer boven onze hoofden zijn baantjes draait, stilgelegen omdat er geen space-shuttles vlogen na het verongelukken van het ruimteveer Columbia. Atlantis leverde in september een nieuw, 17,5 ton zwaar segment met zonnepanelen af bij het ISS. Zijn Russische tegenhanger, de Sojoez-raket, kan slechts voorraden en personeel halen en brengen. Wie het ISS beziet in het belang van de wetenschap (en dat is het enige waar het concreet toe dient, politiek wordt er niet bedreven daarboven) heeft het over het duurste wetenschappelijke project aller tijden. Maar de wetenschappelijke resultaten zijn onderwerp van felle kritiek van veel wetenschappers: 'Als we het nu in de oceaan gooien kunnen we nuttige dingen doen voor al dat geld.' Hoe goed is bemand ruimteonderzoek?

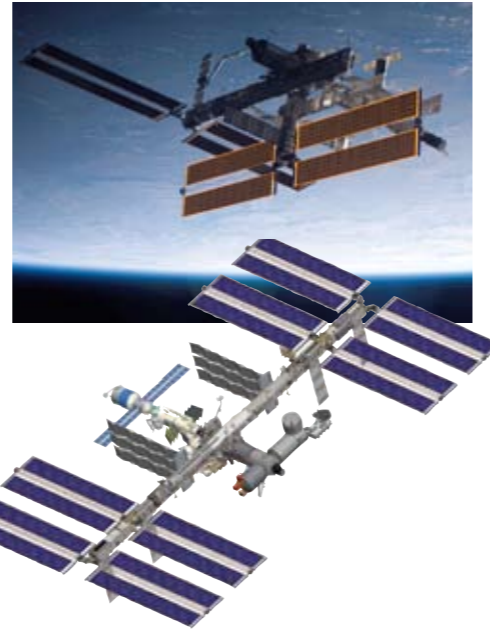
Voor 2010, de pensioendatum van de shuttle, rest voor het voltooiën van ISS een druk vluchtschemametrogachtienshuttle-vluchten, bijvoorbeeld voor het afleveren van de Europese laboratoriummodule Columbus in 2007. 'Het idee is om het ISS na 2010 zo lang mogelijk draaiend te houden om onderzoek te doen', zegt woordvoerder Michel van Baal bij Estec in Noordwijk, het technologiecentrum van ESA, de Europese ruimtevaartorganisatie die deelneemt in het Amerikaans-Europees-Canadees-Russisch-Japanse prestigeproject. Officieel heeft het ISS dan dertig miljard euro gekost, al zijn de werkelijke kosten vermoedelijk tot een factor twee hoger. De ESA-bijdrage, zegt Van Baal, blijft overigens beperkt tot drie miljard euro (waarvan Nederland jaarlijks vijftien miljoen betaalt).

Ter vergelijking: de Large Hadron Collider, het nieuwe hoofdonderdeel van het deeltjesversnellersinstituut CERN in Genève, gaat volgens de schattingen acht miljard euro kosten. De kosten van de internationale experimentele kernfusiereactor ITER

die in Frankrijk wordt gebouwd, zijn geraamd op tien miljard euro. ITER is bedoeld als gehoopt tussenstap naar vrijwel onbeperkte fusie-energie. CERN zal onder andere het door wetenschappers fel begeerde Higgs-boson moeten aantonen, of anders onverwachte nieuwe deeltjesfysica. Welke waardevolle wetenschappelijke kennis levert het ISS op? 'Niet veel', verwacht Jan-Pieter Abrahams van de Universiteit Leiden, als het gaat over zijn eigen vakgebied de eiwitkristallografie. Vanouds is dat een van de prominentste vakgebieden in het micro-zwaartekrachtonderzoek, zoals het onderzoek in gewichtloosheid aan boord van het ISS genoemd wordt. 'Tot nog toe is het één grote PR-stunt geweest', zegt Abrahams.

De belofte was dat in gewichtloosheid biologisch belangrijke eiwitten veel beter zouden kristalliseren uit oplossing, omdat er geen convectiestromingen in optreden, veroorzaakt door dichtheidsverschillen in combinatie met zwaartekracht. Met hulp van die kristallen valt met röntgenstraling de precieze molecuulstructuur van het eiwit te bepalen, en dat zou weer leiden tot beter begrip van vorm en functie en wie weet medicijnen of therapieën.

Vanaf de jaren tachtig dampen astronauten kosmonauten duizenden plasjes eiwitoplossing in, in de Amerikaanse space shuttle en de Russische ruimtestations Saljoeten Mir. het werkte, althans volgens de PR. Zo zou volgens NASA een potentieel griepmedicijn gevonden zijn met hulp van in de ruimte gevormde grote kristallen van een neuraminidase, een eiwit op de wand van het griepvirus. Toch waren veel wetenschappers kritisch, net als Abrahams. In 1999 eiste de American Society for Cell Biology, nota bene een van de 'afnemers' van het onderzoek, stopzetting van het ruimte kristallografieprogramma. 'De impact van micro-zwaartekracht-kristallisatie als geheel is zeer beperkt', concludeerde een rapport van een commissie van de Amerikaanse National

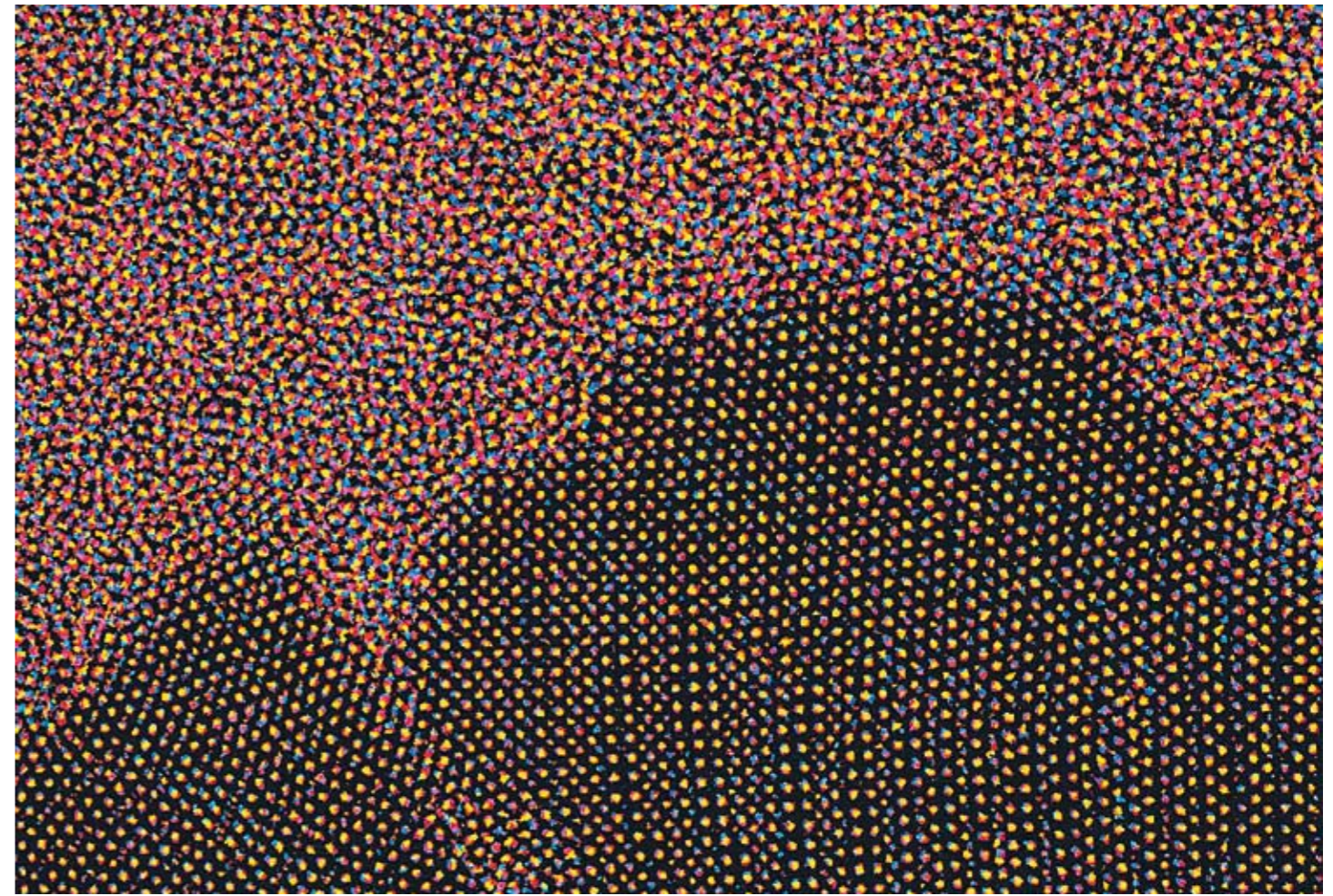
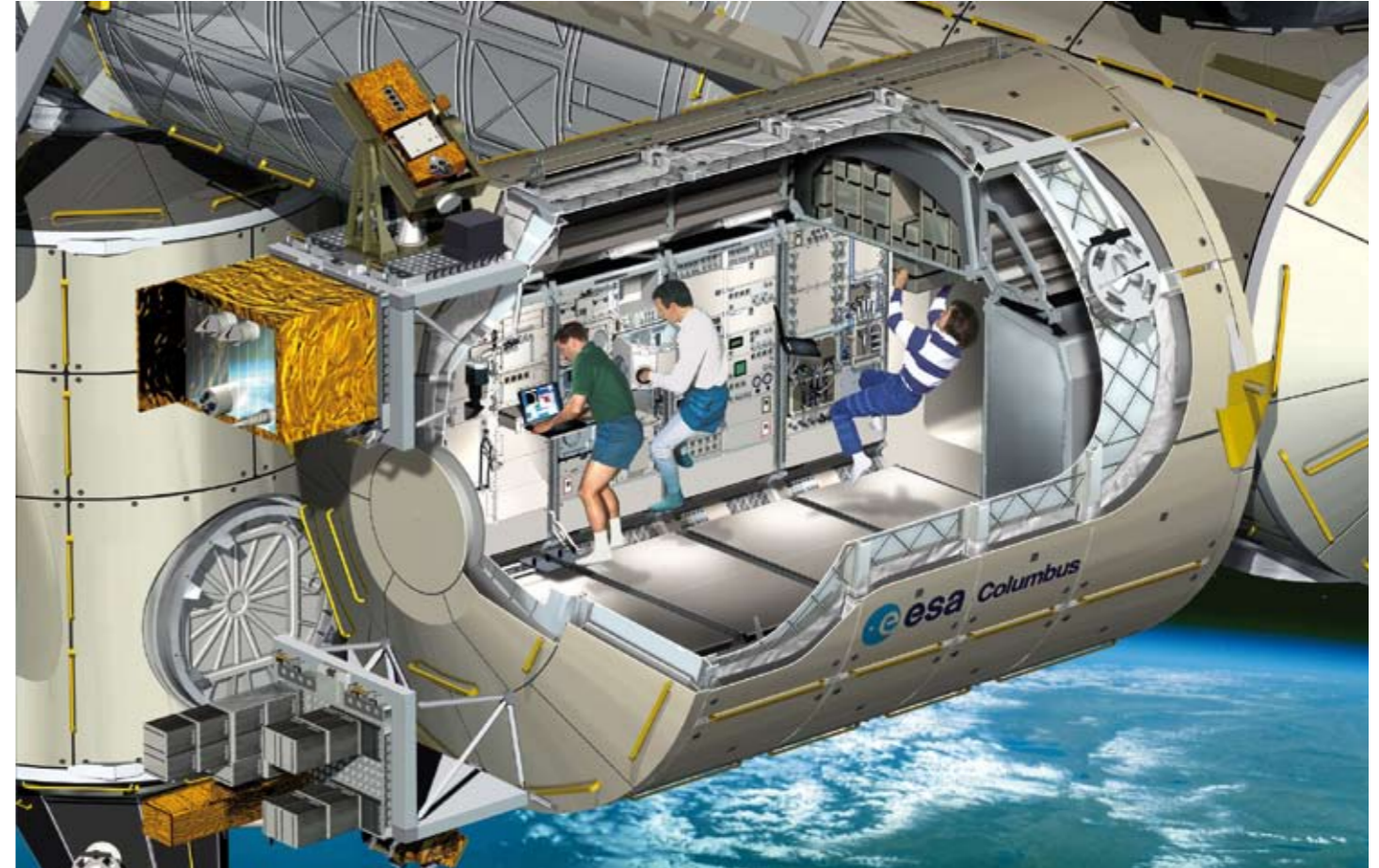


Plasma

Een explosie van micro-zwaartekracht-onderzoek hebben de *plasmakristallen* opgeleverd, structuren van kleine, maar met het oog zichtbare deeltjes die kunnen optreden in 'stoffige plasma's'. Plasma's worden vaak de vierde vorm van materie genoemd naast gas, vloeistof en vaste stof. Het zijn wolken van geladen deeltjes, vaak elektronen en ionen, maar in stoffige plasma's zit de lading op micrometergrote deeltjes, die elkaar daardoor afstoten. Door die afstoting kunnen ze zich ordenen in regelmatige patronen, die 'plasmakristallen' gedoopt zijn, naar analogie van als atomen in een kristalrooster. De eerste, tweedimensionale, plasmakristallen werden in 1994 op aarde gemaakt, maar alleen onder gewichtloze omstandigheden, waar de bolletjes niet naar beneden vallen, is het mogelijk om driedimensionale plasmakristallen te maken. De eerste daarvan werden in 2001 aan boord van het ISS gemaakt, waarna een golf van publicaties volgde, die nu in de honderden loopt.

Doordat de bewegingen van individuele 'atomen' te volgen zijn, bieden plasmakristallen een model van het gedrag van kristalstructuren: fase-overgangen, vloeistofstromingen, kristallisatie, het is allemaal 'atoom' voor 'atoom' te filmen. Vooral theoretisch natuurkundigen kunnen ermee uit de voeten. 'Dit is een belangrijk nieuw vakgebied, met vooral fundamenteel wetenschappelijk belang', zegt Niek Lopes Cardozo, plasmafysicus aan het FOM-instituut Rijnhuizen, die het onderzoek kent maar er niet zelf in deelneemt. Naast de plasmakristallen spelen gewichtloze stoffige plasma's een rol in het onderzoek naar

• STS-88 mission specialist James Newman, holding on to a handrail, waves back at the camera during the first of three Extravehicular activities (EVAs) performed during the mission. The orbiter can be seen reflected in his visor. De eerste assemblagev-



• De Europese Columbusmodule die in 2007 de ruimte in gaat om aan het internationale ruimtestation ISS te worden vast gebouwd.

Research Council het jaar daarop, 'Op dit moment kan ergeen geval aangewezen worden waaraan ruimte-gebaseerde kristallisatiepoging de cruciale stap was in het bereiken van een wetenschappelijk mijlpaal'. Het neuraminidase-kristal bleek niet aan boord van het ISS, maar in Australië gekweekt te zijn. 'Ruimte-kristallen zijn anders: ze zijn veel duurder', sneerde de fysicus en bekende bemander ruimtevaartcriticus Bob Park, hoogleraar aan de universiteit van Maryland. Ook op andere gebieden is er weinig van wetenschappelijke waarde geproduceerd, vindt Park. 'Ruimtestations zijn een slechte omgeving voor wetenschappelijk onderzoek', zegt hij aan de telefoon, 'Je kunt niet improviseren. Elke verandering in een experiment kost je maanden of jaren, en is bovendien peperduur.' De wetenschappelijke en technologische revolutie die de ruimtevaart wel degelijk gebracht heeft, is volgens de natuurkundige dan ook vooral te danken aan de niet-bemande ruimtevaart: ruimtetelescopen, aardobservatiesatellieten en sondes naar andere hemellichamen reizen hebben de wetenschap onvergelijkelijk veel verder gebracht dan welke microzwaartekrachtproef ook. De technologie van GPS-, militaire, remote sensing- en communicatiesatellieten heeft de wereld veranderd zonder dat er een astronaut of kosmonaut aan te pas kwam. Soortgelijke kritiek klonk in Nederland in 2004, toen André Kuipers elf dagen in het ISS verbleef, en zich uit de naad werkte om zestien proeven af te ronden, waarvan er later drie mislukt bleken. 'Zwaartekracht is gewoon niet zo'n interessante variabele', vindt Park, 'en dat is vrijwel het enige dat anders is aan boord van het ISS'. Daar is onderzoek gedaan aan verbranding, schuimvorming, fysiologie van het menselijk lichaam, vloeistoffysica, druppels gesmolten metaal en de oriëntatie van spinen en ratten in gewichtloosheid, om maar een paar voorbeelden te noemen. Maar volgens Park stelt het allemaal weinig voor. 'Er is maar heel weinig van gepubliceerd in peer-reviewed (door vakgenoten op merites beoordeelde, BvW) literatuur, het was gewoon te laag van kwaliteit.' Volgens Park zijn veel wetenschappers het met hem eens, al zouden ze van hem meer van zich mogen laten horen. 'Ik loop hier zo vaak tegenaan', bevestigt Marc Heppener, directeur microzwaartekrachtonderzoek bij ESA Parks indruk. 'Het is echt een van de grootste tekortkomingen van het ruimtevaartonderzoek dat het zich niet zou kunnen meten met onderzoek op aarde', zegt hij in zijn werkkamer in ESTEC, het ESA-onderzoekscentrum in Noordwijk. 'Dat is echt apekool. Sorry, ik kan het niet anders noemen.' Hij schuift een vuistdikke stapel rapporten over zijn werktafel. Het zijn overzichten van wetenschappelijke resultaten en daarnaast visitatierapporten van de European Science Foundation (ESF) in Straatsburg, die experts aanzocht die ESA-microzwaartekrachtonderzoek op zijn merites beoordeelden. De verslagen zijn overwegend zeer positief, met hier en daar een kritiekpunt of aanbeveling. 'Dat zeggen dus experts van buiten', aldus Heppener, 'Ook als wij een oproep doen voor onderzoeksvoorstellen,

worden die bekeken door onafhankelijke reviewers, en moeten we driekwart afwijzen. Er gaan geen slechte proeven naar boven.' Overigens wil Heppener daarmee niet beweren dat elke kritiek onterecht is. 'Ik ben het helemaal met dat Amerikaanse eiwitkristallisatie rapport eens. Dat onderzoek was gebaseerd op veel verkeerde veronderstellingen, het is telang doorgegaan, en het is volgens mij een typische NASA-aanpak geweest om dat op zo'n manier aan te pakken. ESA, entrouwens ook wetenschappers zelf, hebben zich daar nooit schuldig aan gemaakt.'

Het huidige ruimte kristallisatie onderzoek van ESA is inmiddels een van de kleinere onderzoeksgebieden, zegt Heppener, en bovendien veel fundamenteeler van opzet, meer gericht op onderzoeken hoe kristallisatieproces nu eigenlijk werkt dan op het kweken van zo groot mogelijke kristallen.

Ook over het verleden wil Heppener wel toegeven dat het microzwaartekracht onderzoek misschien niet altijd even hoogstaand is geweest. 'Het is eerlijk om te zeggen dat men in het begin gewoon niets wist. Veel aanvankelijke aannames zaten eraan, het was gewoon kijken wat je kunt doen. Als je onderzoek in de jaren zeventig en tachtig vergelijkt met de *state of the art* op aarde, was er een groot verschil. Het idee is blijven bestaan dat dat heden ten dage ook nog zo gaat.'

Ten onrechte, stelt Heppener, want microzwaartekracht onderzoek is sinds halverwege negentig volwassen geworden. 'Je ziet dat de hoeveelheid publicaties en de kwaliteit toeneemt, en ook dat er steeds meer onderzoekers van buiten de traditionele microzwaartekracht-incrowd meedoen.'

Ten bewijze schuift hij nog een rapport over tafel, een net afgeronde bibliometrische evaluatie van Space Life and Physical Sciences, door het Leidse Centrum voor Wetenschap- en Techniekstudies (CWTS). Het CWTS maakt analyses van wetenschappelijke publicaties en citaties. Publicaties zijn hierbij een maat voor wetenschappelijke productie, en het aantal keren dat een wetenschappelijk artikel door collega's geciteerd wordt, de 'citatie-impact', geldt als een indicatie van de invloed van het beschreven onderzoek. 'Dit is de meest geaccepteerde, objectieve methode om naar de kwaliteit van wetenschap te kijken', zegt Heppener.

Het CWTS telde wereldwijd van 1985 tot en met 2004 ruim 5000 publicaties van microgravitatie-onderzoek, waarvan circa 2000 Europees of van ESA-onderzoekers. 'Meer dan verwacht', melden de onderzoekers. Het onderzoek werd uitgevoerd in het ISS, maar ook in het Russische ruimtestation Mir, de Amerikaanse spaceshuttles.

In de aantallen publicaties zit een forse groei: tussen 1985 en 1994 publiceerde Europa 388 artikelen (de VS 507), tussen 1995 en 2004 waren dat er 1530 (de VS 1776). 'De echte groei is begonnen in het midden van de jaren negentig', wijst Heppener aan in een grafiek, als zie je ook de afzwakking van de groei vanaf 2003 door het uitvallen van de spaceshuttle.

Superkritisch

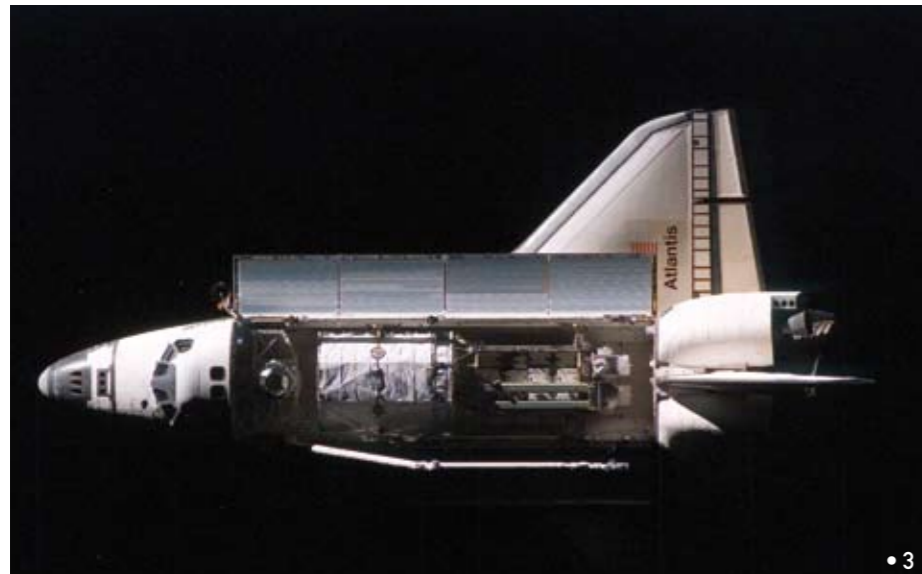
Bij bepaalde temperaturen en drukken gaan gas en vloeistof naadloos in elkaar over. Het punt in het temperatuur-druk-diagram waarbij de grens opgeheven wordt heet het 'kritisch punt', en in de buurt daarvan escaleren volgens de theorie allerlei eigenschappen van de stof: zo gaan de warmtecapaciteit en de samendrukbaarheid naar oneindig naarmate het punt kritische punt dichter benaderd wordt.

Maar juist omdat de samendrukbaarheid zo groot wordt, wordt de stof erg gevoelig voor de zwaartekracht. Er ontstaan onvermijdelijke dichtheidsverschillen die leiden tot convectiestromingen, waardoor precieze metingen verhinderd worden. En dat terwijl fase-overgangen en het exacte gedrag rond het kritisch punt in de natuurkunde een centraal en theoretisch belangrijk thema vormen. Europees, onder andere Nederlands, microzwaartekracht onderzoek, leverde precieze metingen op aan kritisch en superkritisch

zowel hexafluoride, zonder storende zwaartekracht-invloeden. Vergelijkbaar is Amerikaans onderzoek aan het kritische punt in de overgang van vloeibaar naar zogeheten supervloeibaar helium. Metingen aan boord van Mir en het ISS bevestigden de twintig jaar oude 'renormalisatiegroep'-theorie voor dit verschijnsel tot op een miljardste graad van het kritische punt, waarmee het een van de meest precies geteste theorieën van de natuurkunde werd. Toevallig genoeg heeft juist de Amerikaanse bemande-ruimtevaartcriticus en natuurkundige Bob Park eerder onderzoek gedaan in dit vakgebied, wat het opmerkelijker maakt dat hij er niet van weet. 'Dat is inderdaad belangrijk onderzoek, iets dat we zouden moeten doen', zegt hij. Weet hij dan niet dat dat ook al gebeurd is? 'Niet in detail', pareert Park, 'maar ik heb ook weer niet het idee dat het een revolutie in het vakgebied veroorzaakt heeft.'

De valtoeren voor microzwaartekracht onderzoek in het John H. Glenn Research Center van Nasa. De toren is 140 meter hoog en stelt onderzoekers in staat om objecten bloot te stellen aan 5.18 seconden gewichtloosheid. De hoogte komt ongeveer overeen met die van het hoogste kantoorgebouw in Nederland, Delfse Poort in Rotterdam.





• 1 / De bemanning van Space Shuttlemissie STS-115. V.l.n.r.: Pavel Vinogradov, Jeffrey Williams, Thomas Reiter, Christopher Ferguson, David Burbank, Heidemarie Stefanyshyn-Piper.

• 2 / Een opname uit de voorganger van het internationale ruimtestation ISS, Skylab, dat in de jaren tachtig om de aarde draaide. Astronaut Jack R. Lousma heeft hier net een bad genomen en droogt zich af. Om te kunnen douchen in gewichtloosheid werd het douchegordijn waterdicht aan het plafond, de ronde deksle boven Lousma's hoofd, bevestigd. Het badwater werd door een vacuümsysteem afgezogen.

• 3 / Ruimteveer Atlantis nadert het ISS met een zeventien ton zware sectie van de draagconstructie ter uitbreiding van het ISS tijdens missie STS-115 (september 2006).

Leven in de ruimte

Veel ruimte-onderzoek bestudeert het effect van gewichtloosheid op leven. Zo blijkt het menselijk immuunsysteem erdoor verzwakt te worden, neemt de spierkracht af en ook treedt ernstige botontkalking op, allemaal effecten die (in die mate) niet verwacht waren. Kosmonauten moeten vaak bij terugkeer per brancard afgevoerd worden. Effecten op oriëntatie, 'ruimteziekte', valt juist nogal mee, en zijn meestal in een paar dagen over. Een belangrijk oogmerk van dergelijk onderzoek is natuurlijk het gezond houden van astronauten, aan boord van het ISS maar ook voor eventuele langere ruimtereizen. Dat geeft de reden van dit onderzoek iets zichzelf-in-de-staart-bijtjends: ruimte-onderzoek in dienst van meer ruimte-onderzoek.

Maar toch is er ook hier een fundamenteel wetenschappelijk belang, stelt Marc Heppener van ESA: Zo blijkt de rol van de 'interstitiële' vloeistof tussen de cellen in de menselijke vloeistofhuishouding veel groter dan verwacht, wat van belang is van theoretische modellen van de menselijke vloeistofhuishouding. 'Zo kun je aantonen dat het hart in gewichtloosheid het efficiëntst pompt, en in een liggende houding juist niet. Dit soort onderzoek heeft

langzamerhand ook invloed op klinische protocollen.'

Op vergelijkbare manier kan de de extreme botontkalking bij astronauten als medisch model dienen voor botontkalking bij ouderen op aarde, zegt Heppener.

Bij plantencellen, die de zwaartekracht moeten voelen om omhoog (of juist omlaag) te kunnen groeien is dit proces van 'gravisensing' wel grotendeels opgehelderd, ook dankzij microzwaartekrachtonderzoek, zegt Heppener. Kleine elementjes van afwijkende dichtheid in het cytoskelet, het 'skelet' van de cel, geven signalen binnen de cel, en beïnvloeden daarmee de groei. Maar hoogleraar Ben Scheres, plantencelbioloog aan de Universiteit Utrecht, stelt dat de meeste inzichtelijke experimenten op dit gebied toch op aarde zijn uitgevoerd. 'De relevantie en impact van het ruimteonderzoek is mij in deze context niet bekend', zegt hij. Voor planten, die zelden snel bewegen, is het bovendien meestal mogelijk de zwaartekracht effectief op te heffen met een klinostaat, een apparaat waarin de te onderzoeken plant voortdurend rondjes draait.

**Fysicus Bob Park:
"Zwaartekracht is
gewoon niet zo'n
interessante
variabele. Vrijwel
alleen dat is anders
in het ISS."**

Ook wat betreft citaties gaat het de laatste jaren beter. In de eerste periode kregen de ESA-levenswetenschappen-artikelen gemiddeld 50 procent van het aantal citaties dat vakmatig vergelijkbaar onderzoek op aarde kreeg, in de tweede periode was dat al 73 procent. In de fysische wetenschappen sprong de citatiescore van 48 procent naar 82 procent van het aantal citaties dat vergelijkbaar onderzoek op aarde kreeg.

Dat is nog niet precies even goed, maar wel 'concurrerend', volgens het CWTS, al zou je ook kunnen zeggen: 'nog altijd slechter dan het gemiddelde'. Bovendien verwachten de citatietellers dat de citatiescores van het huidig onderzoek nog verder bijtrekken tot nominaal, omdat er door de lange verzamelperiode enige vertraging in de citatiescores zitten.

'hier ben ik heel trots op', zegt Heppener. Maar als de publicatie- en citatietellingen de vergelijking met grondgebaseerde wetenschap steeds beter doorstaan, wat zijn dan de concrete ontdekkingen, doorbraken, nieuwe opwindende vakgebieden en theorieën? Wat zijn de parels van het steeds beter wordende microzwaartekrachtonderzoek?

Heppener noemt een aantal voorbeelden: plasma-onderzoek, celbiologie, kritische verschijnselen en fase-overgangen, metallurgie, menselijke fysiologie, metallurgie en exobiologie. *Natuurwetenschap & Techniek* selecteerde er een drietal, en vroeg Nederlandse wetenschappers uit het aanpalende aardse vakgebied om hun deskundige maar afstandelijke oordeel (zie kaders:plasma, leven in de ruimte, sukerkritische verschijnselen)

De conclusies zijn gemengd: plasma-onderzoek kan op bijval rekenen van plasmafysicus Niek Lopez Cardozo, maar de resultaten uit de ruimte-celbiologie zijn celontwikkelingsbioloog Ben Scheres onbekend. Zoals eerder beschreven, is eiwitkristallografie een geliefd mikpunt van aardse kristallografen als Abrahams, maar zelfs fysicus en criticus Bob Park heeft afgemeten, maar mooie woorden over voor het ruimteonderzoek naar kritische verschijnselen.

'Het is goed onderzoek, en het is ook onzin om te zeggen dat er helemaal nooit iets uit microzwaartekrachtonderzoek is gekomen', nuanceert Park, 'Alleen niet heel veel. Robots aan boord van sondes en satellieten zouden hetzelfde veel goedkoper hebben kunnen doen.'

Maar we hebben nooit gekeken hoe ver we daarmee komen. Nu kost één enkel experiment in de ruimte meer dan zo'n beetje al het onderzoek dat in dit gebied ooit gedaan is op aarde.'

En daarmee wordt het eindoordeel over de wetenschappelijke oogst van bemand ruimteonder-

zoek toch weer een ordinaire centenkwestie. Is dertig miljard euro niet wat veel voor de behaalde successen, hoe wetenschappelijk relevant ook?

Nee, zegt Heppener, want het is niet reëel om dit complete bedrag op te tellen bij het wetenschapsbudget. 'ISS is om allerlei redenen gebouwd, waarvan wetenschap er maar één was.'

Al sinds de eerste ruimtevaarder Joeri Gagarin, en de maanlanding is ruimtevaart óók, zelfs vooral, een zaak van politiek, prestige, en technologie-ontwikkeling, betoogt Heppener. De Amerikaanse bemoeienis met Mir en de afspraken over ISS uit de jaren negentig dienden vooral om Rusland politiek en financieel te helpen, en om te voorkomen dat raketgeleerden uit de ingestorte Sovjet-Unie dubieuze werkgevers zouden opzoeken.

Ook Europese politici als Maria van der Hoeven zijn niet ongevoelig voor de glamour van een eigen ruimtevaarder, met wetenschap en het enthousiasmeren van de jeugd als loffelijk excuus. Volgens Heppener zou je dan als wetenschapper wel gek zijn om hier geen gebruik van te maken, 'Nu dat lab is gebouwd, kun je daar maar beter het beste onderzoek mogelijk doen.'

'Tegen die redenering valt natuurlijk weinig in te brengen', zegt Bob Park, 'maar de Koude oorlog is nu voorbij. Ik zie in het politieke voordeel niet meer, en volgens mij wordt het vermogen van bemande ruimtevaart om de jeugd te enthousiasmeren sterk overschat. De ruimtevaart verhalen van de afgelopen tijd waren de ruimtetelescoop Hubble en karretjes op Mars, niet het ISS. En Heppener vergeet dat het ISS jaarna jaar budget zal opsloppen. Als we het ISS nu in de oceaan gooien, kunnen we heel andere dingen gaan doen voor dat geld.'

Eiwitkristallograaf bemande ruimtevaartcriticus Abrahams van de Universiteit Leiden maakt zich geen illusies over die laatste steoptie. Het is een vergissing om te denken dat het geld anders voor andere wetenschap bestemd zou zijn, is hij het onverwacht met Heppener eens. Abrahams: 'Het is veel geld, maar het gaat toch niet van ons budget af. Dus ach, laat die mensen nou maar.'

