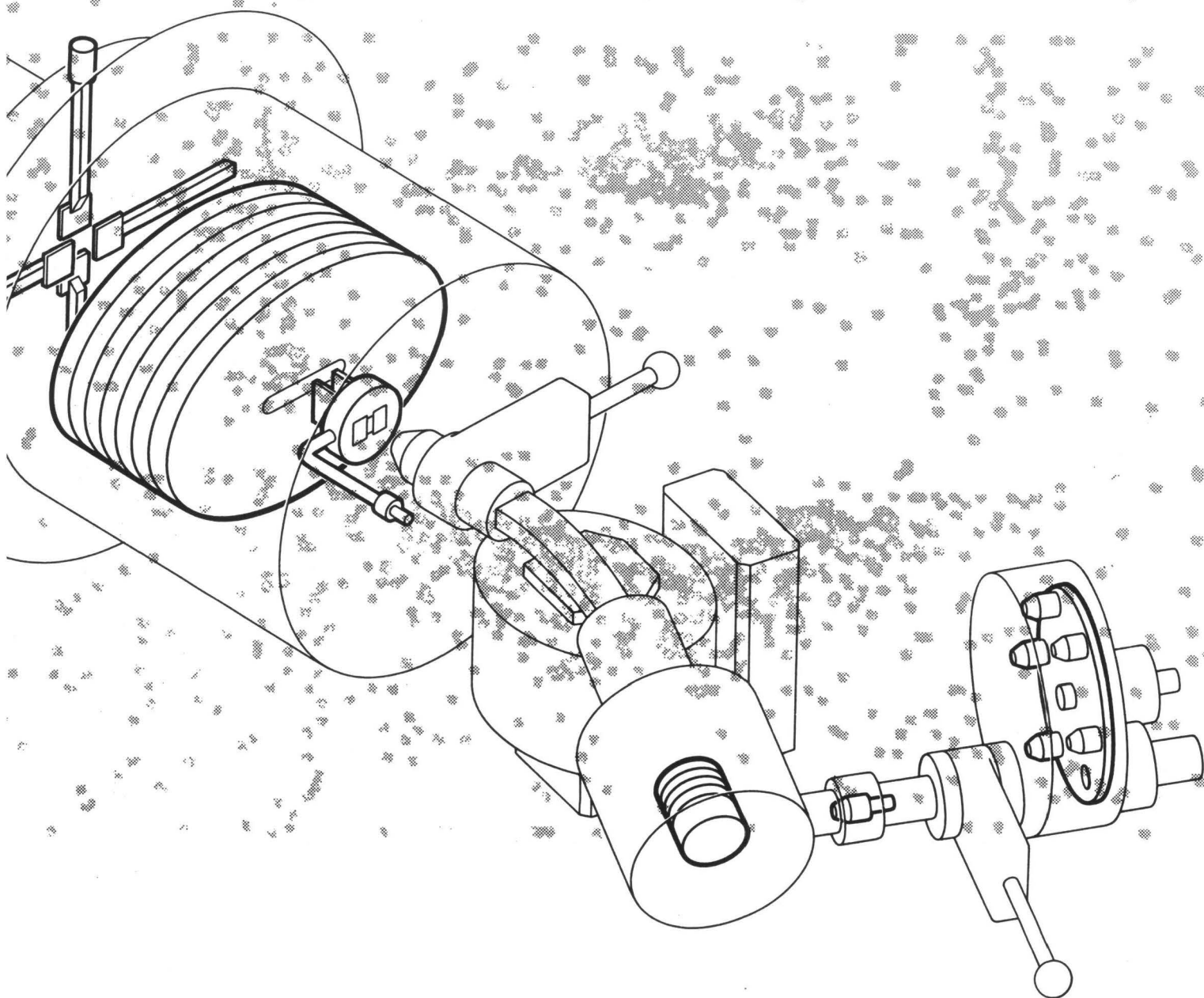
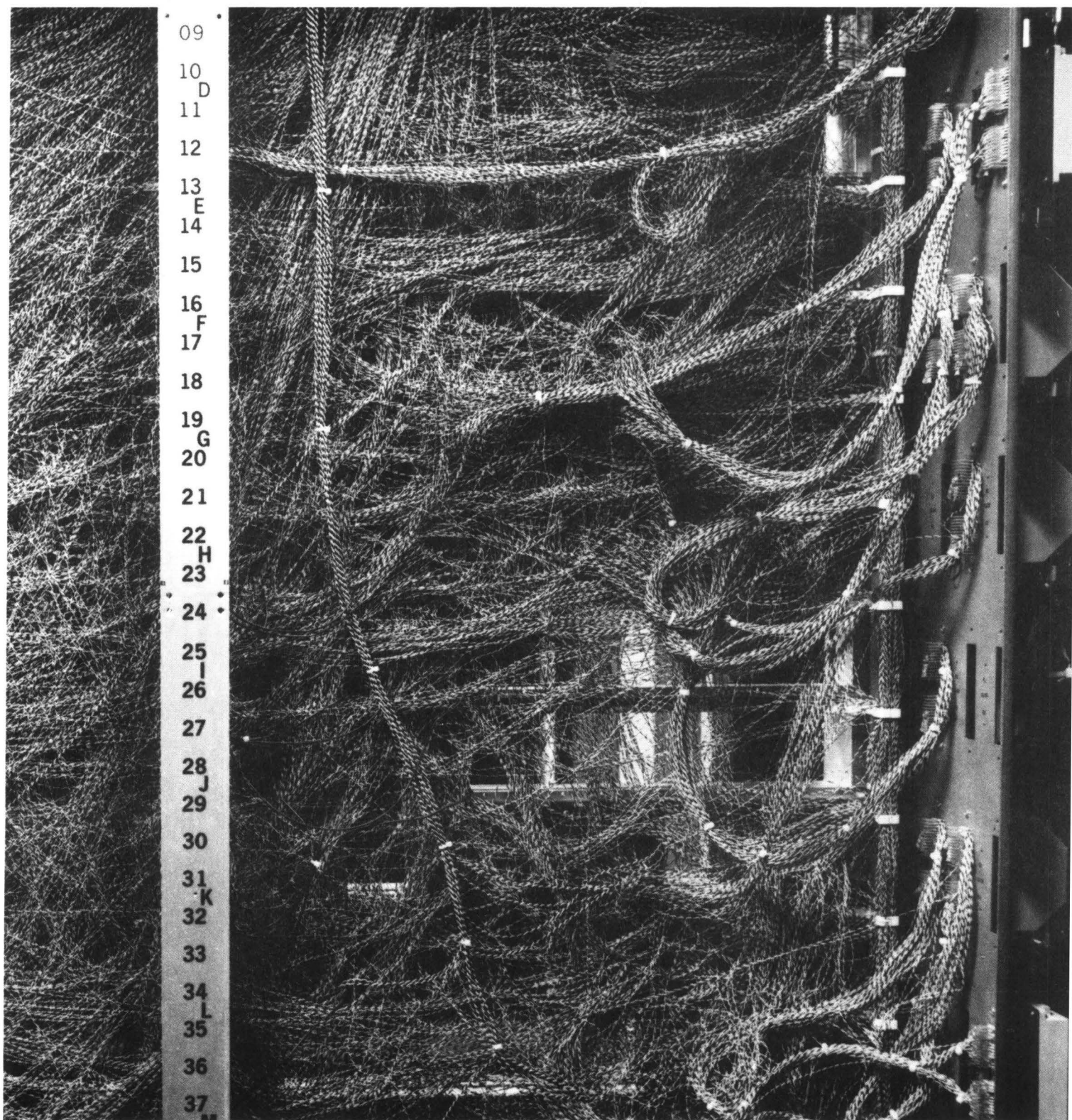


WOW

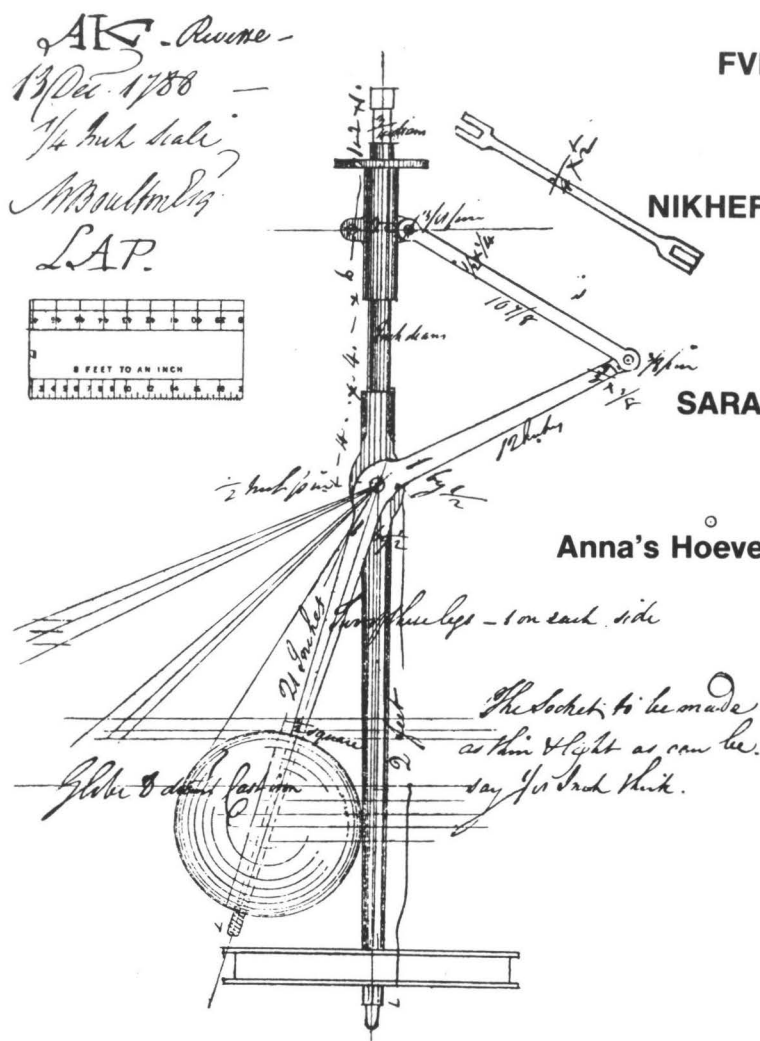
ARCHIEF

Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer





Het binnenwerk van de Cyber 205
supercomputer.



AMOLF

FOM-instituut voor Atoom- en Molecuulfysica
Nieuwe materialen, zonnecellen, plasma's, lasers, oppervlakten, dunne lagen, biomoleculen, atomen, moleculen.

4

CWI

Centrum voor Wiskunde en Informatica
Chaos en orde, routeplanning, epidemiebestrijding, beeldverwerking, geheimschrift, programmatuur, numerieke modeloplossingen, statistiek.

6

FVI

Facultaire Vakgroep Informatica
Computers, programmeermethoden, procesalgebra, robotica, kunstmatige intelligentie.

8

NIKHEF

Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-Energiefysica
Atoomkernen, elementaire deeltjes, radioactiviteit, protonen, elektronen, quarks, W- en Z-bosonen, deeltjesversnellers.

10

SARA

Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam
Supercomputer, mainframes, microcomputers, programma's.

14

Anna's Hoeve

Biologisch Centrum
plantkunde, dierkunde, aquatische oecologie, moleculaire biologie, plantenfysiologie, milieubiologie, algenbloei, biologische bestrijding, epilepsie, sex bij planten, erfelijkheid

16

AMOLF

Fom-Inst voor Atoom- en Molecuulfysica
Postbus 41883, 1009 DB Amsterdam
Kruislaan 407, 1098 SJ Amsterdam
telefoon 94 67 11

CWI

Centrum voor Wiskunde en Informatica
Postbus 4079, 1009 AB Amsterdam
Kruislaan 413, 1098 SJ Amsterdam
telefoon 592 9333

SARA

Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam
Postbus 40680, 1009 BR Amsterdam
Kruislaan 415, 1098 SJ Amsterdam
telefoon 592 9222

Anna's Hoeve

Biologisch Centrum van de Universiteit van Amsterdam
Kruislaan 318-320, 1098 SM Amsterdam
telefoon 68 05 51

NIKHEF

Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-Energiefysica
Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam
Kruislaan 409, 1098 SJ Amsterdam
Oosterringdijk 18, 1098 TW Amsterdam

FVI

Facultaire Vakgroep Informatica van de Universiteit van Amsterdam
Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam
Kruislaan 409, 1098 SJ Amsterdam
telefoon 592 9444

Het Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica (AMOLF) is een van de onderzoekscentra van de stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM). Medewerkers van het instituut houden zich niet alleen bezig met atoom- en molecuulfysica, maar ook met onderzoek aan plasma's, materiaaloppervlakken en grote

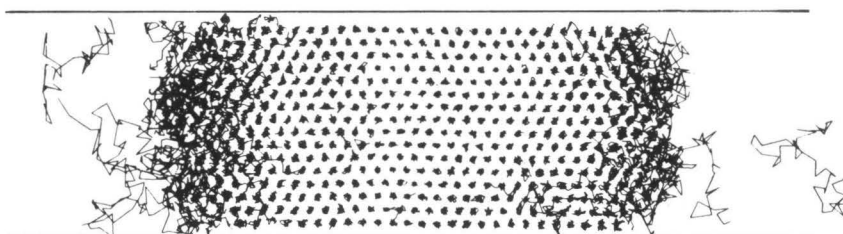
moleculen. Er werken ongeveer 160 mensen, onder wie 50 natuurkundigen op een tijdelijke aanstelling die een proefschrift voorbereiden en 60 mensen voor de technische ondersteuning van het onderzoek in de werkplaats, het elektronisch laboratorium, het constructiebureau en bij de verwerking van gegevens met behulp

Smeltend lood en de schaduw van atomen

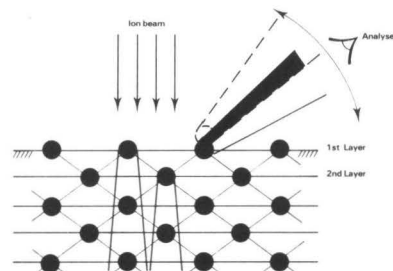
Lood kennen we als een vaste stof. Het heeft een kristalstructuur, dat wil zeggen dat de loodatomen een min of meer vaste plaats hebben in een regelmatige rangschikking. Die structuur is in belangrijke mate bepalend voor de eigenschappen van de stof. Bekend is het voorbeeld van grafiet en diamant, op het oog twee totaal verschillende stoffen. Ze bestaan echter uit dezelfde atomen: koolstof. Het is de kristalstructuur die deze stoffen zulke van elkaar verschillende eigenschappen geeft. Het is mogelijk de kristalstructuur kapot te maken door de stof te verwarmen. De stof smelt dan. Bij lood gebeurt dat bij $327,5^{\circ}\text{C}$. Als het vloeibare lood weer afkoelt tot beneden die temperatuur, vormen zich opnieuw kristallen. Natuurkundigen hebben zich erover verwonderd dat een stof in bepaalde gevallen wel beneden zijn vriespunt vloeibaar kan zijn — dat heet *onderkoeld* — maar niet boven zijn smeltpunt vast; dat is althans nog nooit waargenomen.

Om te weten te komen wat er precies gebeurt als een stof smelt zijn macroscopische onderzoekstechnieken niet toereikend. Daarvoor is het nodig te bestuderen wat er bij welke temperatuur gebeurt met de kristalstructuur en de afzonderlijke atomen daarin. Medewerkers van AMOLF hebben de afgelopen tien jaar een methode ontwikkeld waarmee dit soort onderzoek mogelijk is: *ionen-bundelkristallografie*. Zoals zo vaak bij het bestuderen van zeer kleine structuren, beschieten natuurkundigen stukjes van het te onderzoeken materiaal met een bundel geladen deeltjes — in dit geval snelle ionen. Door de eigenschappen te meten van de deeltjes die er weer uit komen proberen ze vast te stellen hoe het materiaal precies in elkaar zit.

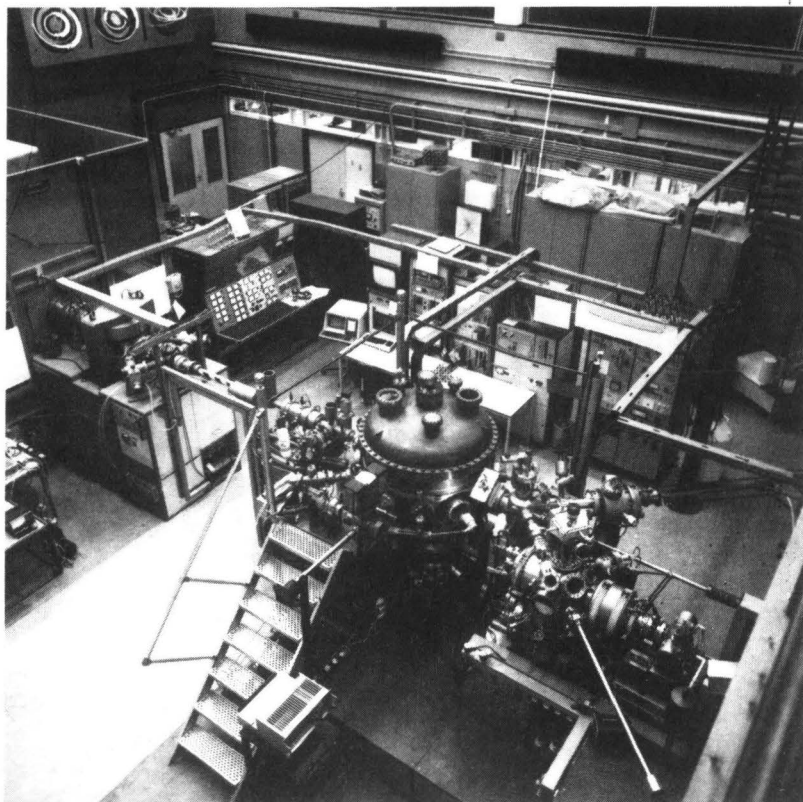
Dit is het prototype van de apparatuur voor ionenverstrooiing die nu 'kant en klaar' te koop is. Links de versneller, de grote ronde pot in het midden is de verstrooikamer, waarin de eigenlijke meting gedaan wordt. In de constructie rechts op de foto worden proefplaatjes geprepareerd.



Computer simulatie van oppervlakte-smelten. De linker- en rechterzijde zijn de oppervlakten van het materiaal. Weergegeven is de thermische beweging van de atomen vlak onder en vlak boven het 'bulk'smeltpunt. Duidelijk is te zien dat vlak onder het smeltpunt (boven) de wanorde aan het oppervlak al zo groot is dat je van een vloeistof kunt spreken. De temperatuur aan de rand is echter gelijk aan die in het midden. Dit verschijnsel is in het echt ook waargenomen met de ionenverstrooietechniek.



Een deel van de ionen wordt aan de buitenste lagen van het trefplaatjes verstrooid. De hoekverdeling van de verstrooide ionen houdt verband met de structuur van het te bestuderen materiaal.

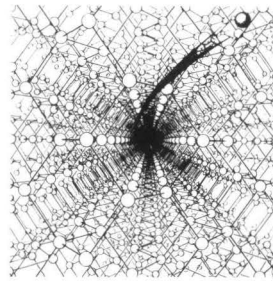


van computers. Het instituut ont-
vangt daarnaast vele gast-
medewerkers uit binnen- en
buitenland, alsmede studenten en
stagiaires van universiteiten en
technische opleidingen. AMOLF
werkt veel samen met de
industrie.

De versnelde ionen — meestal
waterstof- of heliumkernen — bot-
sen in een grote tank waarin bijna
absoluut vacuüm heerst op een
klein stukje van het te onder-
zoeken materiaal. De energie van
de inkomende ionen is bekend,
evenals de hoek waaronder ze het
materiaal treffen. Ze dringen een
eindje in het materiaal door, maar
worden dan naar alle kanten
verstrooid. Met gevoelige
apparatuur meten de natuurkun-
digen hoeveel ionen onder welke
hoeken terugkomen en met welke
energie.

Een vaste stof zo als lood lijkt
heel dicht, maar op het niveau
van atomen is dat niet zo. Een
kristal is een gigantische open
ruimte met hier en daar een
atoomkern. Sterk vergroot zouden
in een flinke fabriekshal slechts
enkele atoomkernen ter grootte
van hagelkorrels zitten. In de
tussenruimte zwermen elektronen.
De inkomende ionen zijn duizend
maal zo zwaar als de elektronen,
zodat ze daarvan weinig hinder
ondervinden. Ze verliezen er
slechts een klein beetje energie
aan, en wel meer naarmate ze
dieper in het kristal doordringen.
Op een gegeven moment botst
het ion tegen een van de atomen.
Door die botsing wordt het van
richting veranderd — bij een fron-
tale botsing gaat het langs
dezelfde weg terug, bij een
'schampschot' wordt het onder
een hoek teruggekaatst. Hoe
zwaarder het atoom hoe minder
energie het ion bij de botsing ver-
liest. Doordat het kristal zo leeg is
kan het verstrooide ion betrek-
kelijk ongehinderd weer naar bui-
ten gaan, het materiaal verlaten
en uiteindelijk in de detectieap-
paratuur terechtkomen.

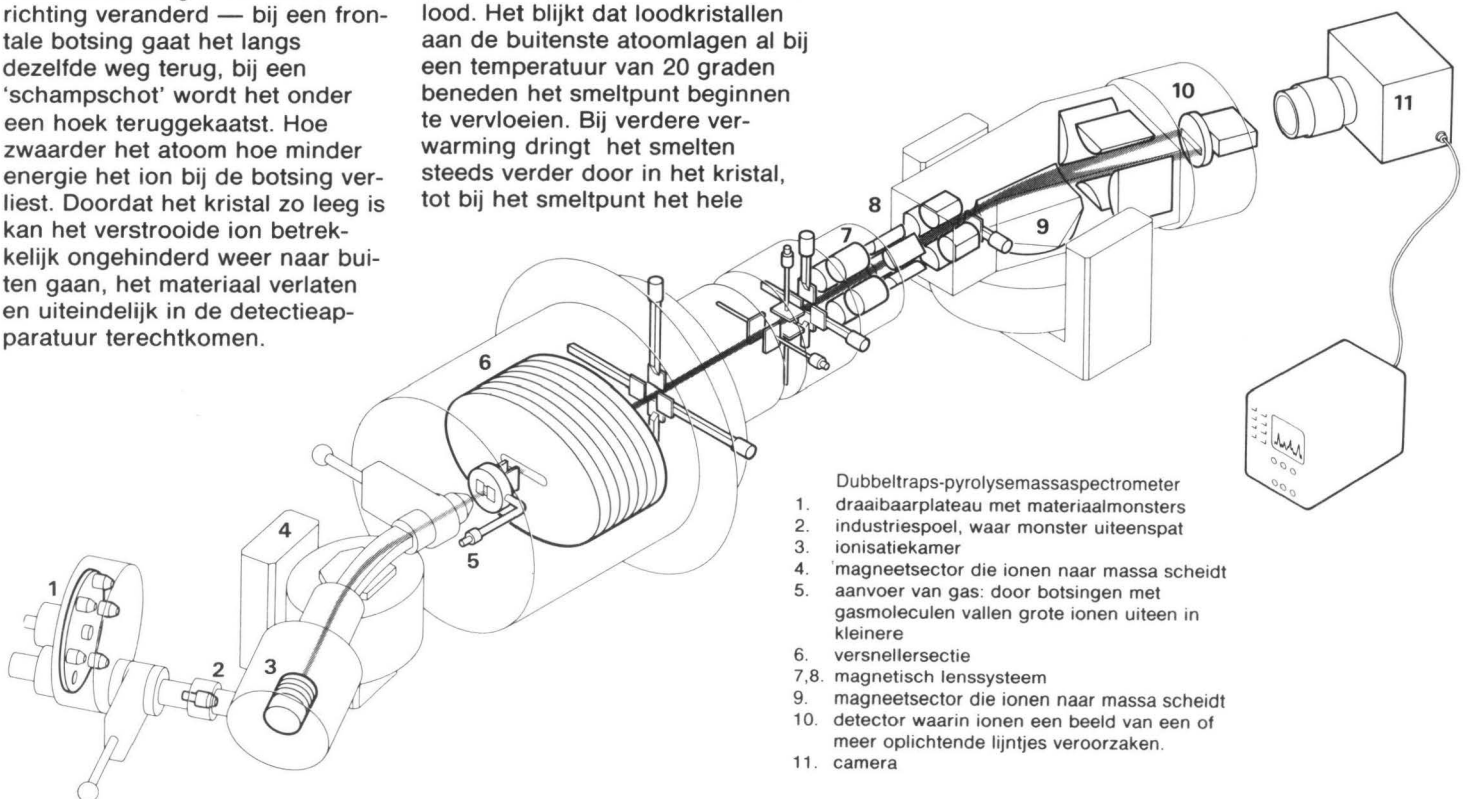
Onder bepaalde hoeken van ter-
kaatsing botsen de ionen echter
tegen andere atomen. Onder die
hoeken komen er dus geen ionen
uit en ontstaat er een soort scha-
duw op de detectieapparatuur.
Door de oriëntatie van de
kristalstructuur te variëren ten
opzichte van de inkomende ionen-
bundel kan aan de hand van de
optredende schaduw effecten wor-
den vastgesteld waar atomen zit-
ten. Energiemetingen maken
duidelijk welke soort atomen het
zijn. Doordat langzame ionen in
het kristal eerder storende invloed
ondervinden dan snelle, kunnen
onderzoekers het materiaal op
verschillende diepten bestuderen
door met bundels van verschil-
lende energieën te werken. Deze
onderzoeksmethode heeft
het mogelijk gemaakt kristallen te
bestuderen met een detaillering
die nog niet eerder was verwezen-
lijkt. De posities van de afzonder-
lijke atomen kunnen hiermee tot
op een duizendste nanometer —
dat is een fractie van de
doorsnede van de atomen zelf —
worden bepaald. De ionenbundelkristallografie
heeft in de korte tijd dat die wordt
toegepast, onder meer nieuw licht
geworpen op het eerder
genoemde probleem van smeltend
lood. Het blijkt dat loodkristallen
aan de buitenste atoomlagen al bij
een temperatuur van 20 graden
beneden het smeltpunt beginnen
te vervloeien. Bij verdere ver-
warming dringt het smelten
steeds verder door in het kristal,
tot bij het smeltpunt het hele



Artist impression: een deeltje vliegt
door een kristal.

kristal vloeibaar is geworden. Dit
onderzoek is tot nu toe alleen bij
lood en alleen in vacuüm gedaan,
maar onderzoekers van AMOLF
willen het de komende tijd ook
met andere materialen en onder
andere omstandigheden uit-
voeren. Ze vermoeden namelijk
dat dit effect dan ook zal
optreden. Voorlopig is dit zuiver
wetenschappelijk onderzoek
Ionenbundelkristallografie leent
zich echter ook voor industriële
toepassingen, omdat het met deze
methode mogelijk is snel en
nauwkeurig een materiaalop-
pervlak te bestuderen. Dat is met
name in de elektronische industrie
van belang. Bij het fabriceren van
chips brengt men zeer kleine
verontreinigingen aan in een
schijfje siliciumkristal. Met behulp
van ionenbundelkristallografie is
te controleren of de
verontreinigingen op de juiste
diepte zitten en van goede kwal-
teit zijn.

Bij de industrie blijkt zelfs zo'n
grote vraag naar dergelijke
apparatuur te bestaan dat een
Nederlands bedrijf inmiddels een
kant en klare opstelling voor
ionenbundelkristallografie op de
markt brengt en over de gehele
wereld met succes exporteert.



Dubbeltraps-pyrolysemassaspectrometer

1. draaibaarplateau met materiaalmonsters
2. industriespoel, waar monster uiteenspat
3. ionisatiekamer
4. 'magneetsector die ionen naar massa scheidt
5. aanvoer van gas: door botsingen met
gasmoleculen vallen grote ionen uiteen in
kleinere
6. versnellersectie
- 7,8. magnetisch lenssysteem
9. magneetsector die ionen naar massa scheidt
10. detector waarin ionen een beeld van een of
meer oplichtende lijntjes veroorzaken.
11. camera

Het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) is het onderzoeksinstituut van de Stichting Mathematisch Centrum een zelfstandige organisatie met als doelstelling het bevorderen van de systematische beoefening van zuivere en toegepaste wiskunde en van informatica. In het toegepast onderzoek worden ook

regelmäßig opgenomen van het bedrijfsleven uitgevoerd. Binnen het CWI bestaan de volgende afdelingen: Zuivere Wiskunde, Toegepaste Wiskunde, Mathematische Statistiek, Mathematische Besliskunde en Systeemtheorie, Numerieke Wiskunde, Programmatuur, Algoritmiek en Architectuur; en

De verspreiding van ziekten wiskundig bestreden

Als iemand op een afdeling van een bedrijf of in een schoolklas griep heeft, volgen er meestal spoedig meer: griep is besmettelijk. Via een kettingreactie verspreidt de ziekte zich over stad en land. Op een zelfde manier verspreiden schadelijke ziekten zich in landbouwgewassen zoals koffie en tarwe.

De verspreiding van besmettelijke ziekten vertoont zekere wetmatigheden, die men op het spoor kan komen door het analyseren van een wiskundig model voor die verspreiding. Wiskundigen die zich hiermee bezighouden lopen niet van dag tot dag te tellen hoeveel mensen er ziek zijn. Door gesprekken met biologen en door na te denken proberen ze erachter te komen welke factoren de verspreiding zouden kunnen beïnvloeden, zoals de

besmettelijkheid van het virus, de algemene gezondheidstoestand van de mensen en de bevolkingsdichtheid. Vervolgens stellen ze een vergelijking op (een soort formule) die het verband weergeeft tussen het aantal besmettingen en de verschillende beïnvloedingsfactoren. De kunst is uit die vergelijking te halen, hoe snel de ziekte zich zal verspreiden.

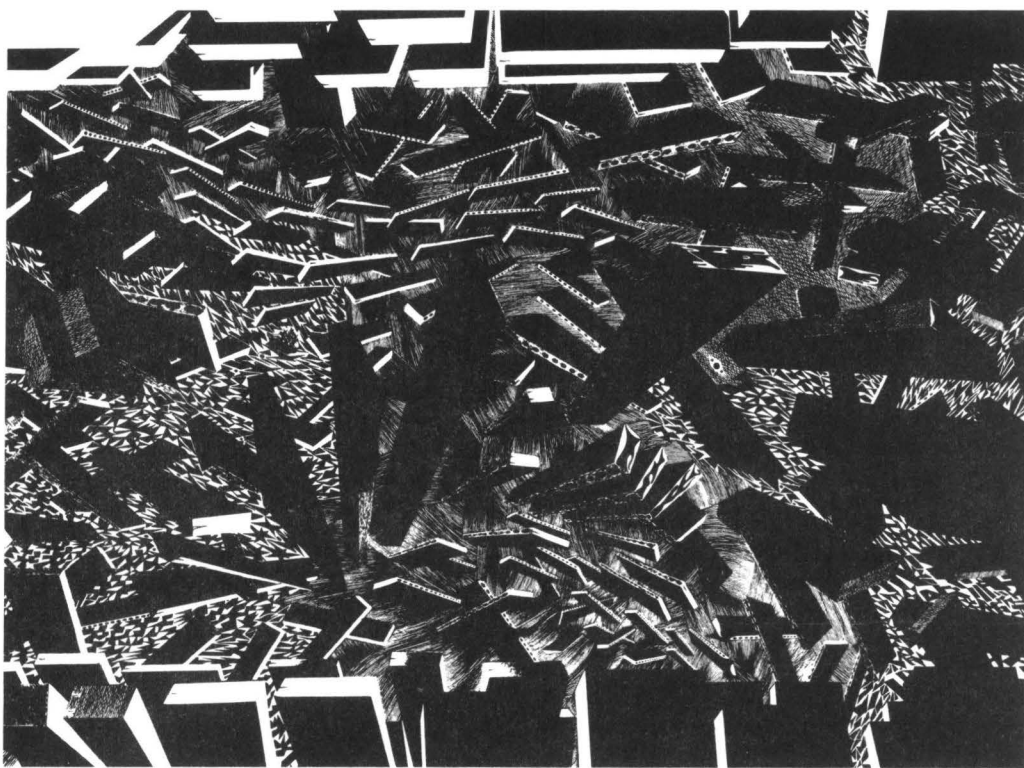
Dat onderzoek gebeurt minder systematisch dan veel mensen denken. Er komt nog altijd een dosis giswerk aan te pas. Soms lijkt de op te lossen vergelijking enigszins op een reeds bekend geval. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat de oplossingen dan ook wel op elkaar zullen lijken. Soms is dat zo, maar lang niet altijd. Een andere mogelijkheid is eerst een speciaal

geval van de vergelijking te vinden dat wel oplosbaar is, en dan die oplossing uit te breiden naar het algemene geval. Ook hier geldt weer dat dit lang niet altijd lukt. Ook de computer kan worden ingeschakeld bij het onderzoeken van eigenschappen van de vergelijking. Dit alles dient ervoor om de wiskundige een idee te geven hoe de oplossing er ongeveer uit zou kunnen zien. Pas als hij weet in welke richting hij moet zoeken, heeft hij een kans door gericht proberen de goede oplossing te vinden. Omdat de problemen ingewikkeld zijn en de eerste probeersels zelden linea recta tot de goede oplossing leiden, kan het onderzoek aan zo'n vergelijking maanden, soms zelfs jaren duren.

Een gevonden oplossing is niet altijd betrouwbaar. Soms blijkt een kleine verandering in de uitgangsgeschiedenis de oplossing sterk te beïnvloeden bijvoorbeeld. De vergelijkingen zijn in het algemeen ook zo ingewikkeld dat ze alleen maar numeriek (met de computer) zijn op te lossen. De gebruikte numerieke methode werkt soms in de hand dat de oplossing erg gevoelig is voor kleine afrondingen die in het rekenproces in de computer altijd voorkomen.

Maar ook als dit allemaal in orde is, rijst nog de vraag of de medici of biologen iets hebben aan de gevonden oplossing: geeft de oplossing enig inzicht in de verschijnselen die zij hebben waargenomen bij het bestuderen van de verspreiding van ziekten? Als dat niet zo is geeft het gebruikte model de werkelijkheid kennelijk onvoldoende weer, en moeten de onderzoekers terug naar af.

Of dit nu wel of niet het geval is, voor een wiskundige heeft de studie van zulke vergelijkingen op



Stochastisch proces in ontwikkeling.
(Anatoli Fomenko, Moskou).

Interactieve Systemen. Er werken ongeveer 200 mensen, van wie 120 wetenschappelijke onderzoekers. Velen van hen bereiden in tijdelijk dienstverband een proefschrift voor.

zichzelf ook grote waarde. Vaak blijken bestaande wiskundige resultaten en technieken niet toereikend en moeten er nieuwe technieken worden ontwikkeld en nieuwe stellingen worden bewezen. Meer dan eens blijken deze ook onverwacht bruikbaar te zijn bij andere problemen. Zulke verrassingen maken het werk voor wiskundigen extra aantrekkelijk.

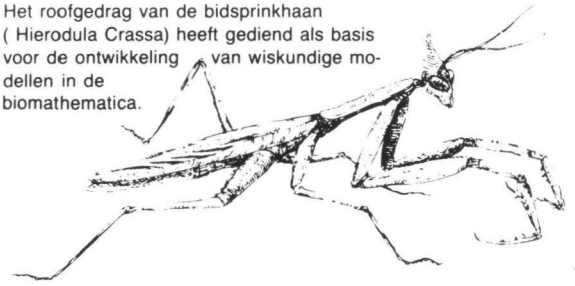
In het algemeen gaan de gebruikte modellen uit de *populatie-dynamica* — zo heet deze tak van wiskundige biologie — uit van een populatie van identieke individuen. In werkelijkheid verschillen individuen in een aantal kenmerken, zoals leeftijd. De kans op besmetting hangt in de praktijk af van dat soort factoren. Door daarmee in het model rekening te houden wordt dit natuurlijk realistischer, maar de vergelijkingen worden nog ongewikkelder. Deze *gestruc-*

tureerde populatiedynamica is een van de aandachtsgebieden van de afdeling Toegepaste Wiskunde van het CWI. Daarbij werken wiskundigen nauw samen met biologen, opdat het model de werkelijkheid zo goed mogelijk weergeeft.

Door deze voortdurende wisselwerking groeit de kennis van zowel de wiskunde als de biologie. Ook met andere gebieden van wetenschap (natuurkunde, scheikunde, geneeskunde, economie) en techniek (ruimtevaart, telecommunicatie, robotica) bestaat zo'n vruchtbare wisselwerking. Daarnaast is de bestudering van de wiskunde om de wiskunde zelf een belangrijke drijfveer voor de wiskundige. Ook zulk onderzoek heeft trouwens meer dan eens tot praktisch bruikbare resultaten geleid.

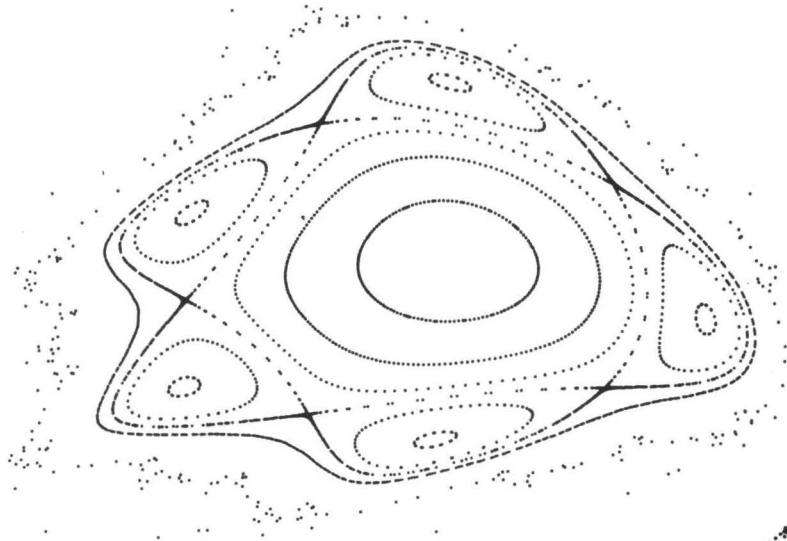
De wiskundigen van het CWI komen voor hun onderzoek niet in

Het roofgedrag van de bidsprinkhaan (*Hierodula Crassa*) heeft gediend als basis voor de ontwikkeling van wiskundige modellen in de biomathematica.

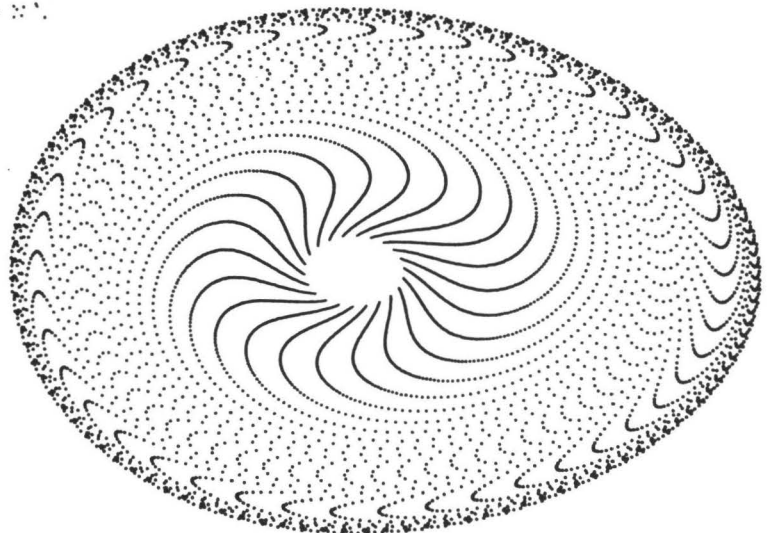


een tarweveld. Zij hebben genoeg aan potlood, papier, boeken, wetenschappelijke tijdschriften en — in dit geval soms — een computer. Bij veel ander onderzoek op het CWI speelt de computer een aanzienlijk belangrijker rol.

De wiskundigen doen veel theoretisch werk in verband met praktische problemen. De producten die zij leveren zijn kennis en begrip, maar via een lange tussenweg heeft hun werk na verloop van tijd vaak grote inbreng bij het oplossen van maatschappelijk belangrijke problemen, ook al hebben die op het eerste gezicht niets met de wiskundige theorie te maken. Zo wordt tegenwoordig bij het beveiligen van computersystemen gebruik gemaakt van getaltheorie, een van de oudste en meest 'zuivere' takken van wiskunde.



Hénon maakte een wiskundig model van ingewikkelde bewegingen van hemellichamen of van elementaire deeltjes in een z.g. opslagring. In een vlak wordt een rij punten gevormd waarbij elke punt uit zijn voorganger wordt afgeleid volgens een vaste wetmatigheid. Het model vertoont zowel regelmatigheid (de gesloten krommen) als chaos (bijv. de buitenste ring). Het tweede model lijkt erg op dat van Hénon maar laat nu zien dat de punten rijtjes op de buitenrand komt te liggen, dwz het patroon wordt op den duur regelmatig. In de biomathematica komen zulke modellen veel voor. Het tweede model beschrijft het streven van de natuur naar periodiek optredende verschijnselen (sprinkhanenplaag, griep, enz.), maar er zijn ook gevallen die overeenkomen met het mengsel van periodiek en chaotisch gedrag uit het eerste model.



De Technische Vakgroep Informatica (FVI) maakt deel uit van de Universiteit van Amsterdam en is het jongste instituut in het Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer. De vakgroep verzorgt zowel onderwijs als onderzoek. Er zijn vier onderzoeksgroepen. De programmatuurgroep onderzoekt hoe

computers systematisch geprogrammeerd kunnen worden. De theoriegroep houdt zich bezig met hoe kennis — dat is dus meer dan alleen losse gegevens — zo beschreven kan worden dat een computer er iets mee kan. De architectuurgroep onderzoekt uit welke componenten computers moeten worden opgebouwd en

Intelligente robots zoeken hun weg

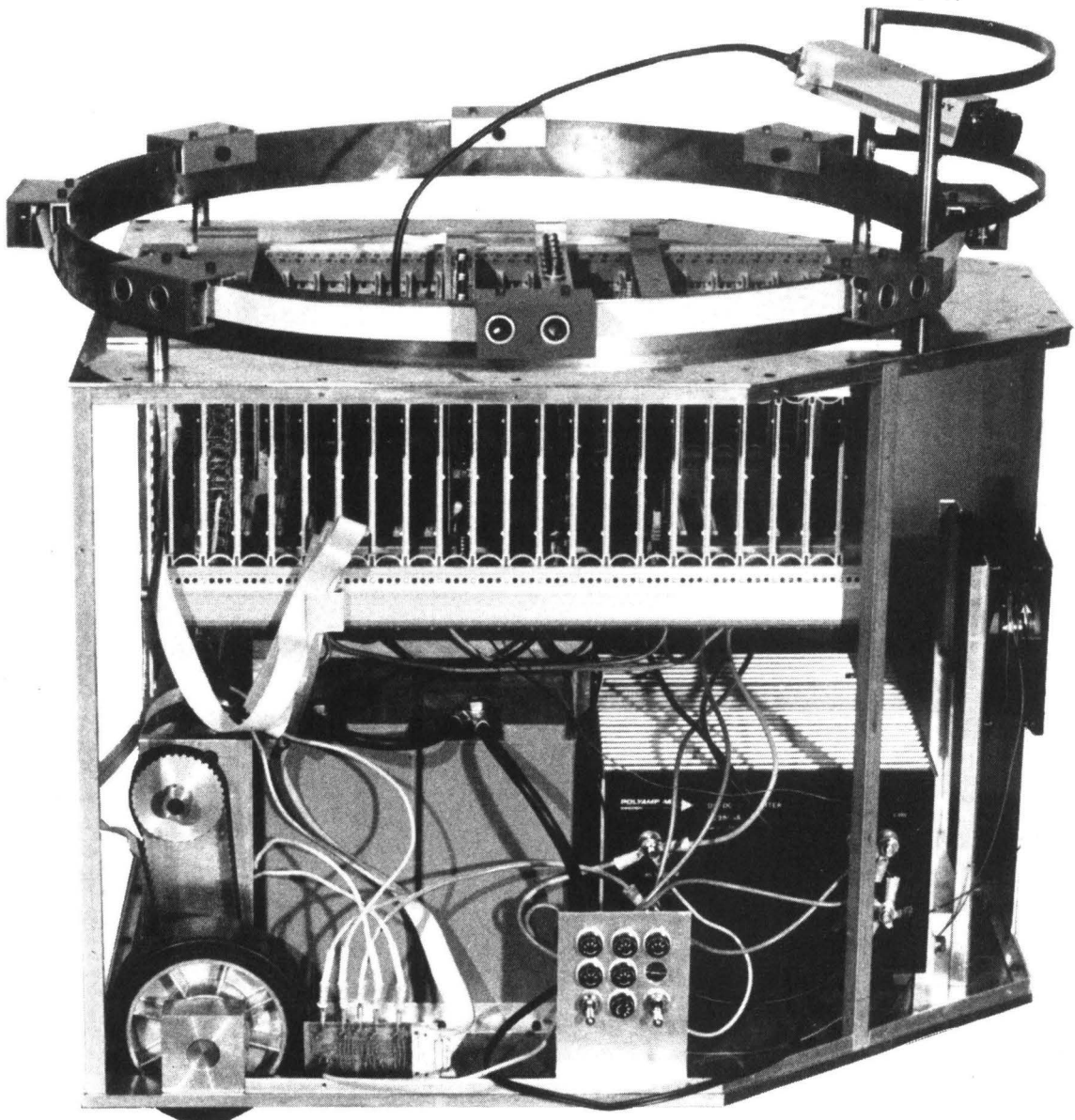
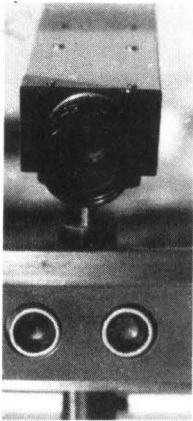
Een van de activiteiten van FVI is onderzoek aan intelligente robots. Dit heeft tot nu toe onder meer geleid tot een wagentje dat geheel zelfstandig zijn weg kan vinden in een veranderende omgeving, bijvoorbeeld in een kamer waarin allerlei obstakels zijn geplaatst. Hiervoor zijn allerlei toepassingen denkbaar, maar daarop is het onderzoek niet gericht. Het gaat erom uit te vinden hoe je zo'n robot het best kunt besturen, hoe hij informatie moet verwerken en daarop moet reageren, wat voor

apparatuur (hardware) en programmatuur (software) daarvoor nodig is.

Om zijn weg te kunnen vinden moet een robot zijn omgeving kunnen waarnemen. Sensoren die daarvoor nodig zijn, bijvoorbeeld camera's, microfoons en warmtesensoren, vinden al tientallen jaren overal toepassingen. Een beeld maken met een camera en een robot daarop zinnig laten reageren zijn echter twee geheel verschillende dingen. Een beeld wordt eerst gedigitaliseerd zodat

de computer die de robot bestuurt het kan verwerken. Een gedigitaliseerd beeld bestaat uit vele hokjes aan elk waarvan een grijs-waarde of kleur is toegekend. Hoe groter de capaciteit van de computer, hoe meer details hij in het gedigitaliseerde beeld kan interpreteren.

Het identificeren van voorwerpen in het beeld berust op patroonherkenningstechnieken. Omdat alle tafels er ongeveer hetzelfde uitzien, kan een computer — mits voorzien van de juiste informatie



Het 'intelligente' wagentje, waarbij enkele afdekkapen zijn verwijderd. Bovenop: de camera en enige ultrasoonsensoren. Daaronder bevindt zich het hart van de

hoe gegevens verwerkt en rondgestuurd kunnen worden. De vierde groep houdt zich bezig met specifieke toepassingen van computers, bijvoorbeeld het besturen van robots. Bij de FVI werken ongeveer 40 mensen, maar het aantal neemt snel toe.

— een bepaald beeld herkennen als een tafel. Wanneer mensen een foto bekijken doen zij in wezen niets anders. Wij weten echter hoe een tafel er in werkelijkheid uitziet en kunnen daardoor een foto van een tafel herkennen, ook al is die schuin van opzij genomen. Wil een computer dat ook kunnen, dan moet er een model van een tafel in zijn geheugen zijn opgeslagen. Dat gebeurt met dezelfde technieken die gebruikt worden in systemen voor het ontwerpen van voorwerpen met behulp van een computer (CAD-systemen, van *Computer Aided Design*). Bij de FVI experimenteren ze met speciaal voor patroonherkenning ontworpen computers. Ook bekijken ze of het zinvol is zelf speciale chips voor dit doel te ontwikkelen.

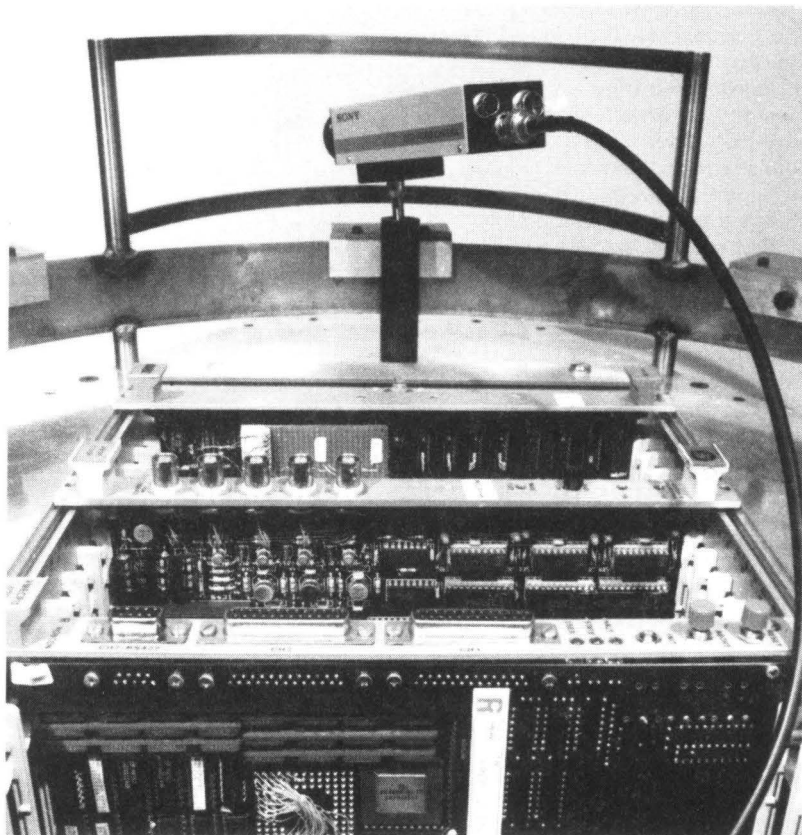
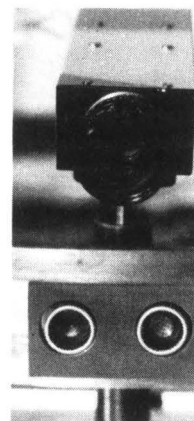
Wil het wagentje niet overal tegenop botsen dan moet het de afstand kunnen meten tot

obstakels. In principe kan dat uit de opgenomen beelden. Zo doen mensen het immers ook. Dat blijkt in de praktijk echter nogal lastig. Daarom gebruiken ze bij de FVI een combinatie van een ultrasone luidspreker en een microfoon. De hoogfrequente trillingen uit de luidspreker worden door obstakels weerkaatst en vervolgens door de microfoon opgevangen. Een computer berekent daaruit de afstand tot het obstakel. Een blinde die zich in een kamer oriënteert, door met zijn vingers te knippen en de echo's te beluisteren, maakt gebruik van hetzelfde principe. De afstands-informatie maakt het gemakkelijker het gedigitaliseerde beeld met de computer te interpreteren.

De computer die het wagentje bestuurt, beslist zelfstandig waar het wagentje heen gaat. Hij doet dat op grond van zijn interpretatie van de sensorgegevens. Het is

ondoenlijk om vooraf te programmeren hoe hij op alle mogelijke situaties moet reageren. Als hij bijvoorbeeld een bepaalde opdracht moet uitvoeren — 'ga naar de noordwand' — en een obstakel op zijn weg naar het noorden vindt, en bovendien al heeft ontdekt dat hij er oostwaarts niet omheen kan, moet hij zelf besluiten het nu westwaarts te proberen. Een computer op een dergelijke manier volgens bepaalde regels laten 'redeneren' is een onderdeel van het vakgebied dat met de term *kunstmatige intelligentie* wordt aangeduid. Bij de FVI passen ze kunstmatige intelligentie toe bij het besturen van robots. Om sneller zijn weg te kunnen vinden in een omgeving waar hij al eerder is geweest, kan een robot een kaart bijhouden van de omgeving en geconstateerde veranderingen daarop verwerken. Dan kan hij na een opdracht als 'ga naar de noordwand' eerst aan de hand van de kaart de snelste weg berekenen alvorens hij op pad gaat. Blijkt die weg geblokkeerd door een nieuw obstakel, dan kan hij, staande voor dat obstakel, berekenen hoe hij daarvandaan het snelst naar de noordwand kan gaan, ervan uitgaande dat er verder niets is veranderd in de omgeving. Een automobilist die in een stad met opgebroken straten zijn weg zoekt, maakt gebruik van dezelfde soort strategieën.

Een apart probleem vormt het ontwijken van bewegende voorwerpen. Daarbij moet hij niet alleen de plaats van het voorwerp bepalen, maar ook de plaats waar het voorwerp zich iets later waarschijnlijk zal bevinden, wanneer hij zelf ook iets verder is. Eventueel moet hij zijn snelheid en bewegingsrichting iets aanpassen om een botsing te vermijden. Mensen in een drukke winkelstraat doen dat als vanzelfsprekend en met het grootste gemak, maar een robot bouwen die dat ook kan is nog een hele kunst.



machine: computers en andere elektronica. Onderin links staan akku's, rechts een spanningsomvormer. Voorop zit een ventilator voor de koeling.

Het Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-Energiefysica (NIKHEF) is een samenwerkingsverband van de stichting Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM), de Universiteit van Amsterdam, de Vrije Universiteit Amsterdam en de Katholieke Universiteit Nijmegen.

Bij NIKHEF werken ongeveer 320 mensen, van wie 120 wetenschappelijk onderzoekers en 150 technici. Het instituut huisvest tevens buitenlandse gasten en fysici, technici, promovendi en studenten van Nederlandse universiteiten.

Wat bepaalt de eigenschappen van een atoomkern?

Eigenschappen van een atoomkern worden in eerste aanleg bepaald door de aantallen protonen en neutronen die erin zitten. Hoewel de kern een doorsnede heeft die een factor honderd-duizend keer kleiner is dan die van het hele atoom, kun je hem toch niet beschouwen als een oneindig klein bolletje, althans niet wanneer je meer wilt weten over de eigenschappen van die kern. Een kern heeft een *vorm* — dat kan die van een bol zijn, maar ook die van een sigaar of van ingewikkelder aard. Daardoor zijn lading en magnetisme op een of andere manier verdeeld over de kern.

De manier om eigenschappen als ladingsverdeling en magnetisme te onderzoeken is vanouds het beschieten van atomen met kleine geladen deeltjes zoals protonen of elektronen. De kernfysici van NIKHEF-K gebruiken elektronen als projectielen. Tussen elektronen en atoomkernen werkt alleen de zeer goed bekende elektromagnetische kracht. Daardoor is het relatief eenvoudig om van de botsingsprodukten 'terug te rekenen' naar de eigenschappen van de kern.

Nadat elektronen in de 200 meter lange versneller tot bijna de lichtsnelheid (300.000 km/s) zijn versneld, botsen ze op een dun trefplaatje van het te bestuderen materiaal, bijvoorbeeld koolstof of aluminium.

Doordat een atoomkern zo klein is in verhouding tot het hele atoom, vliegen veel elektronen langs de kern zonder hem te raken. Een elektron wordt wel afgebogen in zijn baan, sterker naarmate het dichter langs de kern scheert. Aan de hand van deze *elastische verstrooiing*, waarbij de kern in ongewijzigde toestand (*de grondtoestand*) blijft, kan de ladingsverdeling en de verdeling van het

magnetisme over de kern worden berekend. Immers, als het elektron de kern passeert bij een plaats waar relatief veel (positieve) lading zit, wordt het sterker afgebogen dan bij een plaats waar weinig lading zit. Hoewel dergelijk onderzoek al dertig jaar uiterst nauwkeurige informatie heeft opgeleverd, ontdekken kernfysici juist de laatste jaren veel nieuws op dit gebied. Dat hangt samen met de aard van de wisselwerking tussen de kerndeeltjes onderling en met de vorm — of structuur — van die kerndeeltjes in gebonden toestand in de kern.

Als een elektron een deel van zijn energie verliest aan de kern — dat heet *inelastische verstrooiing* — komt die kern in een hogere energietoestand. Elke kern heeft een beperkt aantal van die zogenoemde aangeslagen toestanden, waarvan de specifieke eigenschappen karakteristiek zijn voor die kern. Kernfysici meten die eigenschappen. Zij krijgen steeds meer aanwijzingen voor de geldigheid van moderne theoretische modellen waarin de structuur van de kerndeeltjes zelf een rol speelt. Ook protonen en neutronen kunnen dan niet meer als oneindig kleine bolletjes worden beschouwd.

Een elektron kan een kern ook zo hard treffen dat er een proton of een neutron wordt uitgestoten. In dat geval willen de onderzoekers het elektron en het losgeschoten



De Medium Energy Accelerator (MEA), die een bundel elektronen aflevert met een energie van maximaal 500 miljoen elektronvolt. De eigenlijke versneller bestaat uit een 180m lange luchtledige buis, opgebouwd uit 24 secties, waarin de elektronen versneld worden door elektromagnetische golven die

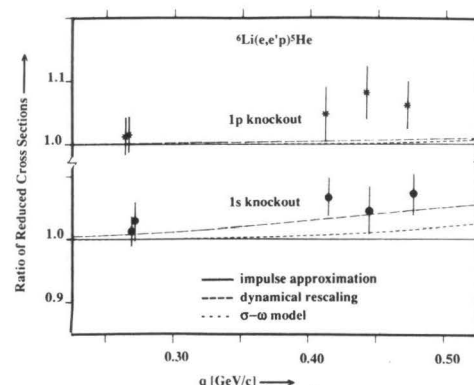
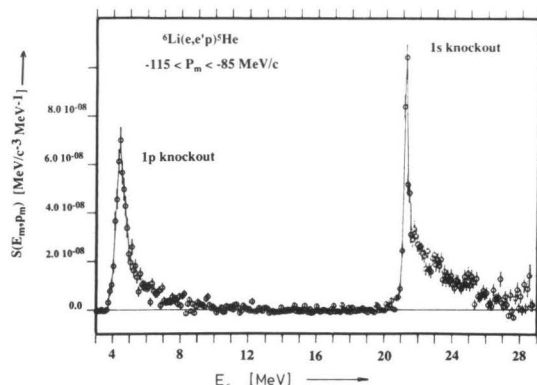
zich binnen de buis voortplanten — een effect vergelijkbaar met een surfer die zich laat meenemen door de golven. Aan het eind van de versneller kan de bundel door een kleine elektromagneet (1) drie verschillende richtingen uitgestuurd worden: de rechtdoorgaande bundel (2), die verderop

weer twee verschillende kanten uit kan, dient uitsluitend voor meetdoeleinden. De bundel die onder een zeer kleine hoek rechtsaf gaat (3) komt uit in de pi-mu afdeling. De derde mogelijkheid is dat de bundel scherp linksom wordt gebogen door de sterke magneet (4). Omdat niet alle

De sectie K (Kernfysica) houdt zich bezig met het onderzoeken van atoomkernen. Het instituut beschikt daartoe over een lineaire elektronenversneller. Daarnaast doen medewerkers van de sectie K onderzoek op het gebied van radiochemie en produceren ze radioactieve isotopen voor allerlei toepassingen.

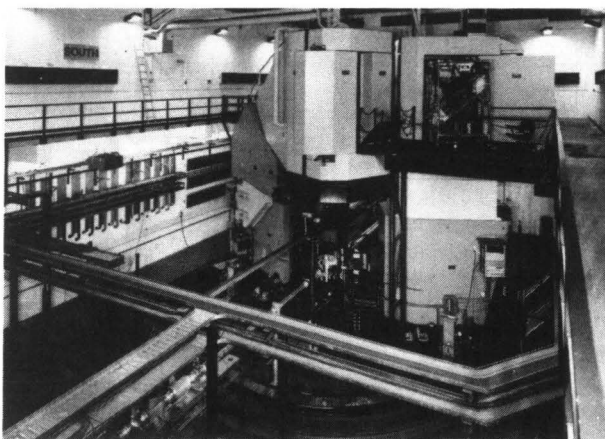
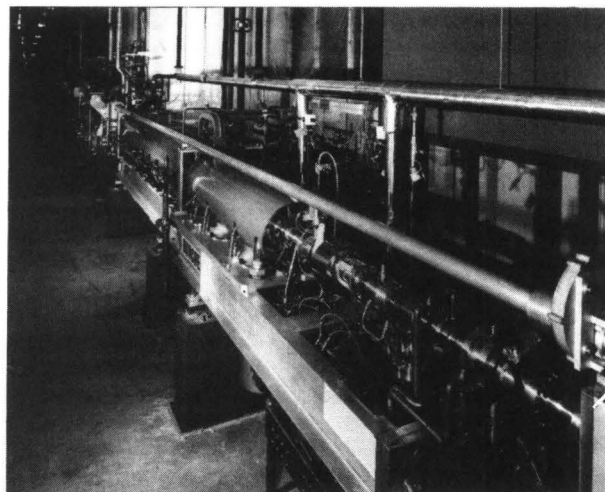
De kans om een proton uit een kern te schieten hangt sterk af van de energie van de projectielen.

Vergelijking van verschillende modelberekeningen met gevonden meetpunten



proton tegelijkertijd waarnemen. Dat vergt speciale technieken. NIKHEF-K geniet een internationale reputatie op het gebied van dergelijke *coïncidentiemetingen*. Als een van de meest sprekende resultaten is hier onlangs aangetoond dat een proton in een koolstofkern een iets andere structuur heeft dan een vrij proton. Kennelijk oefenen de andere kerndeeltjes invloed uit op die structuur. De theoretische modellen hiervoor zijn echter niet sluitend. Wel is duidelijk dat zulke resultaten kunnen leiden tot nieuw inzicht in de eigenschappen van atoomkernen.

Intussen gaan de onderzoekers verder met hun experimenten, niet om elke afzonderlijke atoomkern in kaart te brengen, maar om uit te zoeken wat voor processen de eigenschappen van de kern bepalen. Dit werk vergt veelal jaren van denken, ontwikkelen, bouwen en testen van nieuwe opstellingen. Zo zijn mensen van NIKHEF-K al enkele jaren bezig plannen op te stellen en uit te werken om de eigenschappen van hun versneller zodanig te verbeteren dat het coïncidentiemetingen programma in de jaren negentig met vrucht kan worden voortgezet. Hiermee hopen ze de internationaal vooraanstaande plaats die het instituut in het kernfysisch onderzoek inneemt voor langere tijd te garanderen.



De e-min hal met de twee spectrometers. Om botsingsproducten onder verschillende hoeken te kunnen opvangen zijn de twee torens, waarin zich de magneten bevinden, over een rail draaibaar.

elektronen na versnelling precies gelijke energie hebben en omdat de hoek van afbuiging afhangt van de energie van een elektron, zal de bundel, die tot dan toe een diameter van minder dan een millimeter had, zich na deze sterke afbuiging verbreden. De bundel passeert dan een

begrenzer (5), een nauwe doorlaatopening. Het gedeelte van de elektronen dat naast de doorlaatopening valt wekt daar radioactieve straling op; vandaar dat de bundelbegrenzer met een dikke loodmantel is ingeven. Andere afbuigmagneten (6,7,8) leiden de bundel dan naar de e-min hal, waar een

stelsel van twee grote spectrometers (9) staat opgesteld. Tussen de grote afbuigmagneten corrigeren kleinere magneten voortdurend de richting van de bundel, terwijl quadrupoolmagneten de doorsnede ervan klein houden.

bundelt de activiteiten in Nederland op het gebied van de studie van elementaire deeltjes en fundamentele krachten van de natuur. Het onderzoek vindt plaats in internationale samenwerkingsverbanden, bijvoorbeeld bij CERN in Genève en bij DESY in Hamburg.

De bouwstenen der natuur en de wisselwerkingen daartussen

Hoge-energiefysica is een van de weinige onderzoeksgebieden waar de geest van internationale samenwerking die kort na de Tweede Wereldoorlog opbloede, heeft standgehouden. Vandaag de dag vindt veel van het grensverleggend onderzoek plaats in grote, internationale projecten, zoals bij CERN in Genève en bij DESY in Hamburg. Onderzoekers van NIKHEF-H leveren bijdragen aan zulke projecten.

Het onderzoek behelst veelal het met zeer grote energie op elkaar laten botsen van geladen deeltjes. Bij die botsingen ontstaan nieuwe deeltjes, die vervolgens alle kanten op vliegen. De onderzoekers willen weten welke deeltjes er worden gevormd, waarheen ze

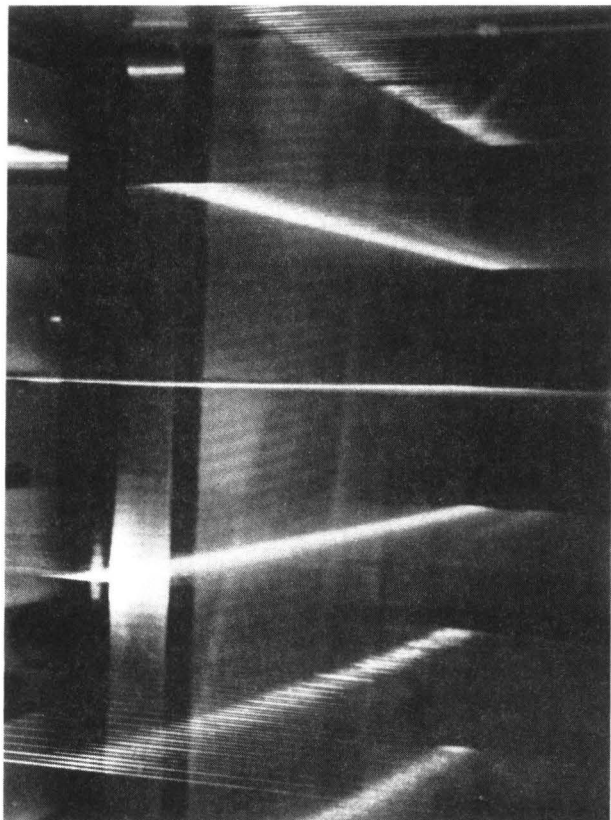
vliegen en met welke energie. Zo ontdekken ze nieuwe, nog fundamentele bouwstenen van de natuur en brengen ze de krachten die tussen die bouwstenen werken in kaart.

De deeltjes zelf kunnen niet worden waargenomen, wel de sporen die zij in een of ander medium achterlaten. Vroeger werden die sporen bijvoorbeeld in een bellenvat gefotografeerd. Het uitmeten en interpreteren van die miljoenen foto's was een tijdrovend karwei. Nu worden de banen van de deeltjes elektronisch gemeten met behulp van dradenkamers.

Zo'n dradenkamer is een met gas gevulde kast waarin zeer dunne draden zijn gespannen die afwisselend een positieve en een negatieve lading hebben. Een geladen deeltje dat met grote snelheid de kast binnenkomt laat een spoor van geïoniseerde gasatomen achter. De elektronen die daarbij ontstaan, bewegen met een bekende snelheid - de driftsnelheid, een karakteristiek van het gas - naar de positieve draad. Daardoor treedt een spanningsval op, die wordt gemeten. Het tijdstip waarop de spanningsval plaatsvindt bepaalt met grote nauwkeurigheid de plaats

waar het geladen deeltje passeerde. Door draden horizontaal en verticaal te spannen en door meer dradenkamers achter elkaar te zetten, kan een computer de hele baan van het deeltje berekenen. De onderzoekers kunnen die baan vervolgens op een beeldscherm van alle kanten bekijken.

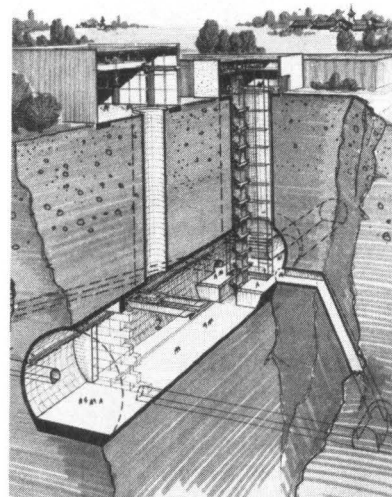
De banen van de bij de botsingen geproduceerde deeltjes moeten met zeer grote precisie worden bepaald. Dat stelt hoge eisen aan de nauwkeurigheid van de dradenkamers zelf. Technici en natuurkundigen van NIKHEF-H hebben dradenkamers ontwikkeld voor een nieuw experiment bij CERN. In de positie van de 2400 draden mag over een afstand van 1,20 meter een afwijking van hooguit 10 micrometer zitten, ofwel 0,001 percent. Dat vergt geheel nieuwe constructiemethodes, die qua nauwkeurigheid alleen vergelijkbaar zijn met die, welke bij het bouwen van grote radiotelescopieën worden gebruikt. Het CERN-experiment



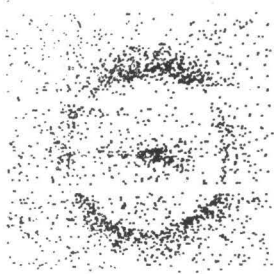
Dradenkamer met duizenden draden



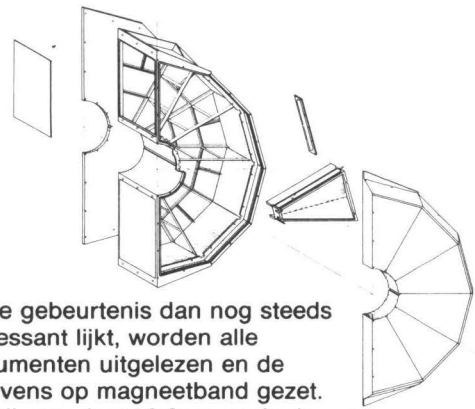
Fabricage van dradenkamers bij NIKHEF



Artist impression van de experimenteerhal bij CERN in Genève



Een schokgolf van licht. Hieruit kan worden bepaald hoe snel de elementaire deeltjes waren die het licht uitzonden. Het verschijnsel heet Cerenkov-effect en wordt gemeten met Cerenkovdetectors.



De versnellerbuis is geheel omgeven door Cerenkovdetectors. Elke detector is 1.60 m hoog.

vergt vierendertig van dergelijke dradenkammers.

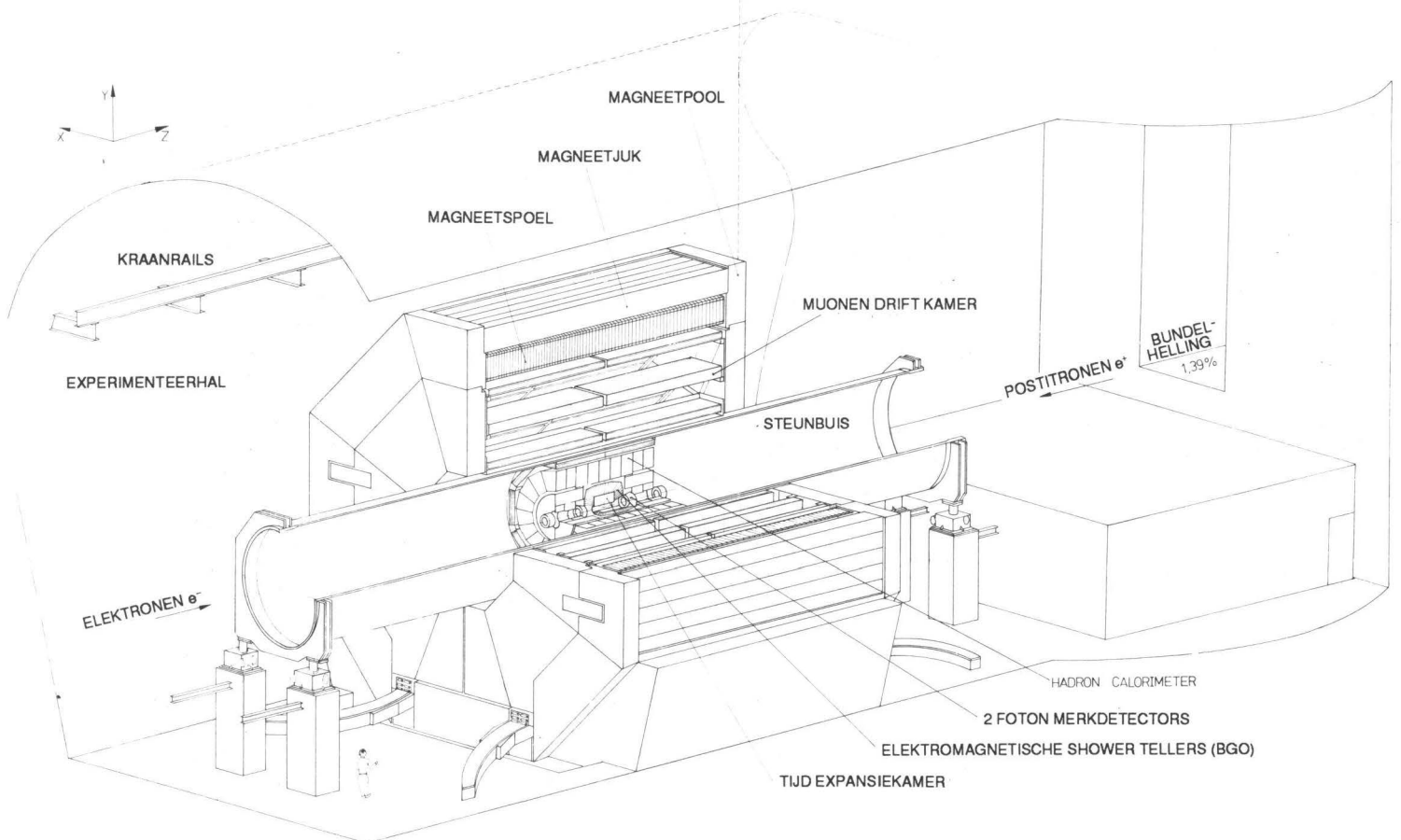
Elk instituut dat meedoet aan het experiment levert zo een klein deel van de opstelling. Voor een ander CERN-experiment, waarin in 1983 het W- en Z- boson zijn ontdekt (Carlo Rubbia en Simon van der Meer kregen daarvoor een Nobelprijs) werken mensen van NIKHEF-H aan verbeteringen in de elektronische meetinstrumenten die de signalen uit de dradenkamers en andere deeltjesdetectoren moeten verwerken.

Per seconde vliegen zoveel deeltjes door de dradenkamers dat geen enkele computer dat kan bijhouden. Nu zijn lang niet alle botsingen even interessant. De onderzoekers zouden alleen de potentieel interessante botsingen met de computer willen analyseren. Er is dus een selectie nodig. Daarbij maakten ze gebruik van voorspellingen dat W- en Z-

bosonen een zeer korte levensduur zouden hebben en tamelijk zwaar zouden zijn. De levensduur zou waarschijnlijk zo kort zijn dat ze zelf geen sporen zouden achterlaten, wel hun vervalprodukten: elektronen, muonen en neutrino's. Door de grote massa van W en Z moesten de vervalprodukten een hoge energie hebben. Op die eigenschap konden de onderzoekers botsingen selecteren. Ze construeerden een elektronisch filter dat alleen botsingen doorlaat waarbij elektronen of muonen met hoge energie zijn gevormd. Toch blijven er ook dan nog veel te veel over. Daarom worden in een tweede en derde selectietrap meer gegevens berekend. Omdat er na de eerste selectietrap nog steeds te veel botsingen over zijn voor een computer gaat ook de volgende selectie geheel elektronisch. Daarna nemen computers de verdere selectie voor hun rekening. Pas

als de gebeurtenis dan nog steeds interessant lijkt, worden alle instrumenten uitgelezen en de gegevens op magneetband gezet. Dat uitlezen duurt 0,2 seconde. In die tijd worden geen nieuwe botsingen geregistreerd. De botsingen die dan plaatsvinden zijn in elk geval voor het nageslacht verloren. De selectie is dus heel kritisch. Mensen van NIKHEF-H werken nu aan een verbeterde versie van de tweede selectietrap.

Overigens is het analyseren van die magneetbanden ook geen sinecure. Elk van de duizenden magneetbanden bevat ruim 1200 botsingen. De onderzoekers maakten met grote computers eerst nog een schifting. Uiteindelijk bleven slechts enkele duizenden botsingen over die ze in alle details hebben bestudeerd. Daarbij hebben ze enige honderden W-bosonen en enige tientallen Z-bosonen aangetoond.



Experimenteeropstelling met dradenkamers (driftkamers)

centrum Amsterdam (SARA) is het rekencentrum van de Universiteit van Amsterdam, De Vrije Universiteit en de Stichting Mathematisch Centrum. Maar behalve aan deze instellingen verleent SARA ook rekenhulp aan derden. Die hulp bestaat zowel uit het beschikbaar stellen van

geven van voorlichting en begeleiding aan gebruikers.

Rekenwerk aan de lopende band

Elke computer heeft zijn beperkingen. De meeste bevatten een of meer processoren die maar één bewerking tegelijk kunnen uitvoeren. Als er twee getallen opgeteld moeten worden, haalt hij eerst de getallen uit het geheugen, telt ze vervolgens op, zet het resultaat in een ander geheugen, en kan dan pas beginnen aan de volgende bewerking. Omdat dit zeer snel gaat, is het voor de meeste berekeningen geen bezwaar. Er komen echter steeds meer gebruikers die zulke grote rekenklussen hebben dat een gewone computer daar dagen mee bezig is.

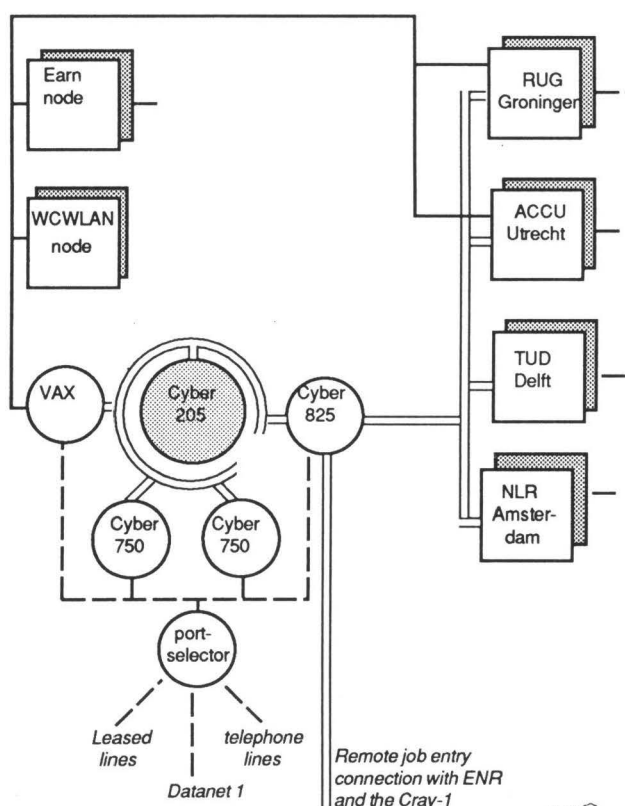
Grote berekeningen zijn vaak nogal eentonig: miljoen keer moet dezelfde bewerking worden uitgevoerd, steeds met andere getallen. De vergelijking met het maken van auto's dringt zich op. Als er slechts enkele exemplaren

moeten worden gebouwd, kan een ervaren monteur dat in een werkplaats doen. Als er honderduizend identieke wagens moeten worden geleverd, is het handiger een lopende band in te richten. Allerlei deelbewerkingen worden dan overlappend uitgevoerd. Zo is het mogelijk wel honderd auto's per uur af te leveren, terwijl aan een auto toch vele uren wordt gewerkt.

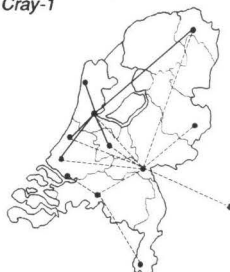
Een zogenoemde vectorcomputer gaat met berekeningen om zoals een lopende band met auto's: terwijl twee getallen worden opgeteld, worden de volgende twee al uit het geheugen gehaald en wordt het resultaat van de vorige optelling in een ander geheugen gezet. Dat werkt natuurlijk alleen maar als die getallen keurig in een rijtje in de goede volgorde klaarstaan in de geheugens, en het wordt pas efficiënt als die rijen flink lang zijn. Zo'n rij getallen heet een vector. Vectorcomputers worden ook wel supercomputers genoemd, omdat ze zo snel kunnen rekenen. De term *super* is echter tijdgebonden: wat gisteren nog super was, is vandaag nog vlot, morgen gewoon en overmorgen aan de trage kant. Vectorcomputers hebben ook nadelen. Zo kosten ze enkele tientallen miljoenen gulden per stuk. In heel Nederland staan er dan ook maar twee, waarvan een bij SARA: een Cyber 205 van Control Data. In principe kunnen alle universiteiten, onderzoeksinstituten en ook bedrijven rekentijd op de Cyber 205 kopen. Dat kost ruim tienduizend gulden per uur, waarvan een deel in bepaalde gevallen overigens door de overheid wordt gesubsidieerd. De gebruikers hebben er dus alle belang bij zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van de capaciteiten van deze getallenkraker. Dat betekent dat het programma en de te bewerken gegevens in een

geschikte vorm moeten worden aangeleverd, opdat het apparaat lange rijen getallen kan verwerken. Een programma voor een dergelijke machine aanpassen heet vectoriseren. SARA biedt minder ervaren gebruikers van de Cyber 205 hulp bij het schrijven of aanpassen van programmatuur.

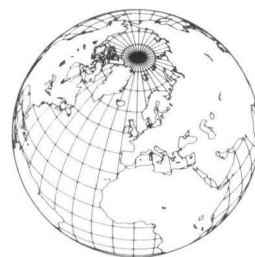
Een van de instellingen die van de vectorcomputer bij SARA gebruik maken is de Dienst Getijdewaters van Rijkswaterstaat. Medewerkers van die dienst besturen waterbewegingen in de Noordzee en het Deltagebied. Een van hun activiteiten is het ontwikkelen van modellen om voorspellingen te kunnen doen, bijvoorbeeld over wat er van het getij in de Oosterschelde overblijft als die op een bepaalde manier wordt afgesloten met de stormvloedkering, of hoeveel meter verhoging een boven de Noordzee razende storm bij hoog water in Den Helder zal veroorzaken. Vroeger werden voor de Oosterschelde enorme schaalmodellen gebouwd in het Waterloopkundig Laboratorium. Nu is het vrijwel allemaal computerwerk. Met zo'n computermodel berekent men de waterstand in een bepaald gebied aan de hand van gegevens aan de rand van het gebied- kustvorm, diepte, weersgesteldheid en getijgegevens dienen als invoer. Het door te rekenen gebied wordt in vakjes verdeeld waarbinnen men de toestand overal hetzelfde veronderstelt. Voor het model van de hele Noordzee meten die vakjes acht bij acht kilometer, voor een detailstudie bij de Oosterscheldewerken 45 bij 45 meter. Hoe kleiner de vakjes, hoe nauwkeuriger de uitkomst kan zijn; maar hoe meer vakjes, hoe meer rekenwerk. Het is van wezenlijk belang dat dergelijke berekeningen snel klaar zijn. Immers, als het vier uur duurt om de hoogte van een



Het netwerk waarin de Cyber 205 supercomputer by SARA is opgenomen. Rekencentra van andere universiteiten en onderzoekscentra kunnen hetzij via een speciale lijn, hetzij via het telefoonnet toegang krijgen tot de supercomputer.



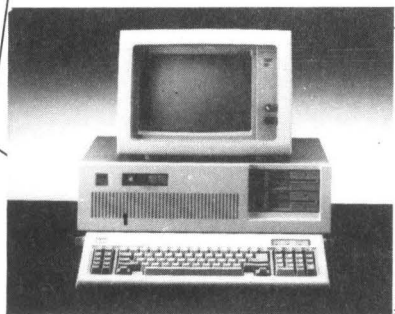
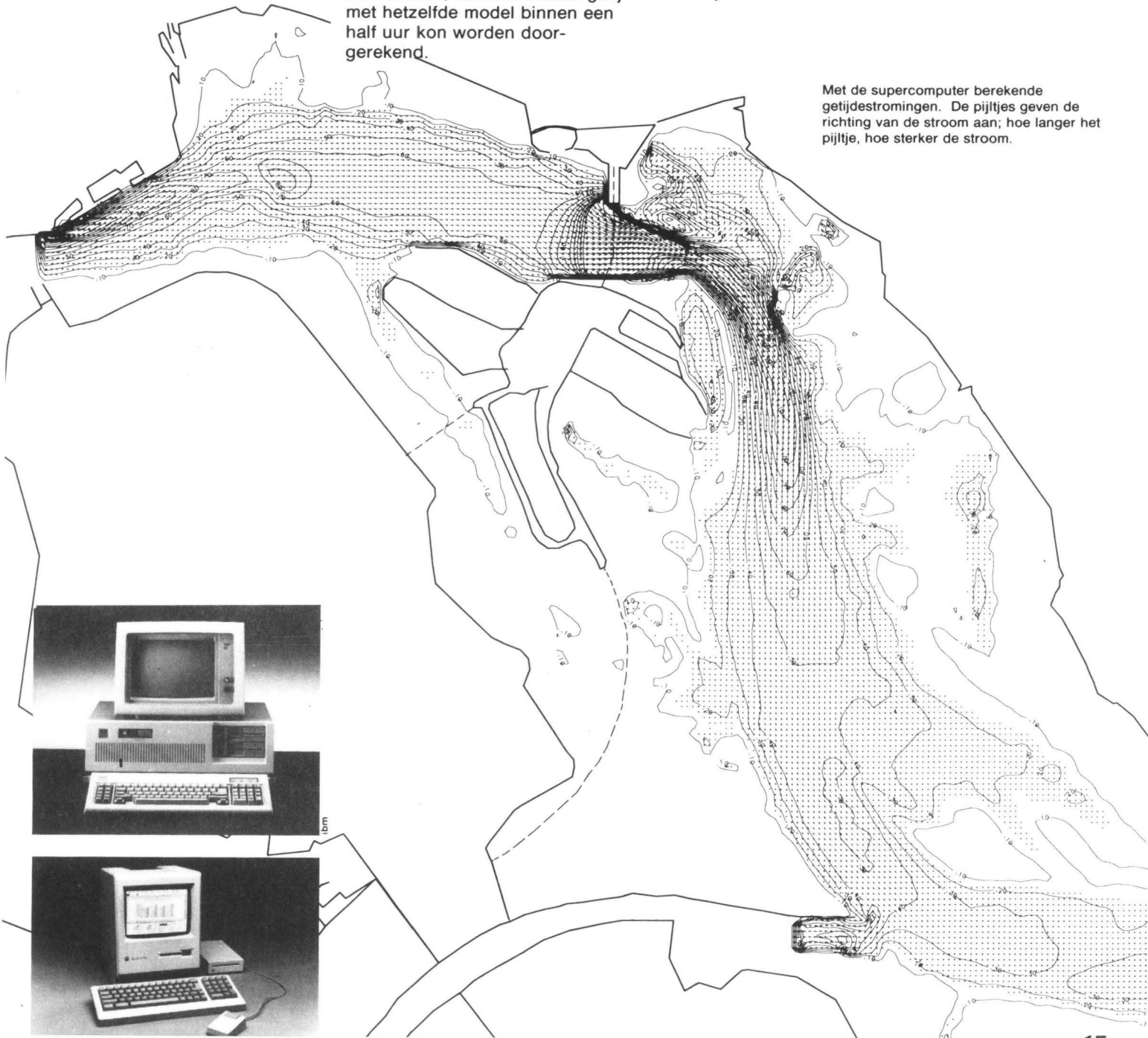
SARA organiseert daartoe ook vele cursussen. De beschikbare apparatuur omvat onder meer twee Cyber 170-750 mainframes en een Cyber 205 supercomputer — een van de twee supercomputers in Nederland. Bij SARA werken ongeveer 80 mensen.



stormvloed over drie uur te berekenen is er geen tijd meer om maatregelen te nemen. Grote hoeveelheden gegevens, veel identieke bewerkingen, snelheid gewenst: geknipt voor de vectorcomputer, dat bleek dan ook. De eigen computer van Rijkswaterstaat deed er ruim een dag over om een etmaal getij in een bepaald model door te rekenen. De Cyber 205 deed de berekening al acht maal zo snel voordat het programma gevectoriseerd was. Na vectorisering ging het nog eens tien keer sneller; zodat hetzelfde getij met hetzelfde model binnen een half uur kon worden door-gerekend.

Dit opent perspectieven om met uitgebreidere modellen te gaan werken: meer vakjes die per stuk kleiner zijn, maar ook door de verschillen in stroming op verschillende diepten erin te betrekken. Tot nog toe deed men in de berekeningen alsof het water op elke diepte even snel dezelfde kant op stroomt. In werkelijkheid is dat niet zo. De mensen van de Dienst Getijdewateren zijn inmiddels druk bezig een driedimensionaal getijdemodel te ontwikkelen. Met de vectorcomputer kunnen ze de werkelijkheid beter narekenen.

Met de supercomputer berekende getijdestromingen. De pijltjes geven de richting van de stroom aan; hoe langer het pijltje, hoe sterker de stroom.



Op Anna's Hoeve is een groot deel van de subfaculteit biologie van de Universiteit van Amsterdam gevestigd. De proefvelden die hier aanvankelijk waren aangelegd zijn inmiddels bijna allemaal opgeheven, veelal omdat ze te duur werden. Biologie is vandaag de dag een vak dat grotendeels in het laboratorium

wordt bedreven. De subfaculteit biologie beslaat zes vakgebieden en heeft ongeveer 235 werknemers. Van hen is ongeveer de helft wetenschappelijk onderzoeker, de andere helft behoort tot de technische en administratieve staf, zoals tuinlieden, diervverzorgers, elektronici, analisten en

Epileptische ratten worden vergeetachtig

Een op de 200 mensen lijdt aan epilepsie. Die term slaat op een heel scala aan verschijnselen, zoals vallen, plotseling heftig bewegen van de ledematen en plotselinge (tijdelijke) verstoring van het waarnemingsvermogen. De oorzaken kunnen van velerlei aard zijn en van de mechanismen die daarbij een rol spelen is nog maar weinig bekend.

Om meer over epilepsie te weten te komen doen biologen bij de vakgroep *Algemene Dierkunde* proeven met ratten. Van nature epileptische ratten zijn zeldzaam. Daarom hebben de onderzoekers een manier bedacht om gezonde ratten epileptisch te maken. Onder narcose krijgen de dieren een elektrode ingeplant in de hersenen. met zo'n stekker op zijn kop gedraagt het dier zich volkomen normaal. Dat verandert als de onderzoekers de rat elke dag op dezelfde tijd op dezelfde plaats in de hersenen een stroomstoot toedienen: dan treedt op den duur een hersenstoornis op. Het dier is epileptisch geworden. Deze methode heet *kindling*.

Gedragproeven met gekindelde ratten leren veel over wat er met het dier gebeurd is. Zo blijkt het korte- en lange termijngeheugen te zijn aangetast, maar het effect op het korte-termijngeheugen is omkeerbaar. Trucs die zo'n rat enkele dagen tevoren had geleerd om aan voedsel te komen kende hij nog, maar als hij in

verschillende gangetjes voedsel kon halen, wist hij niet meer in welke gang hij zojuist geweest was. Een normale rat onthoudt dat wel.

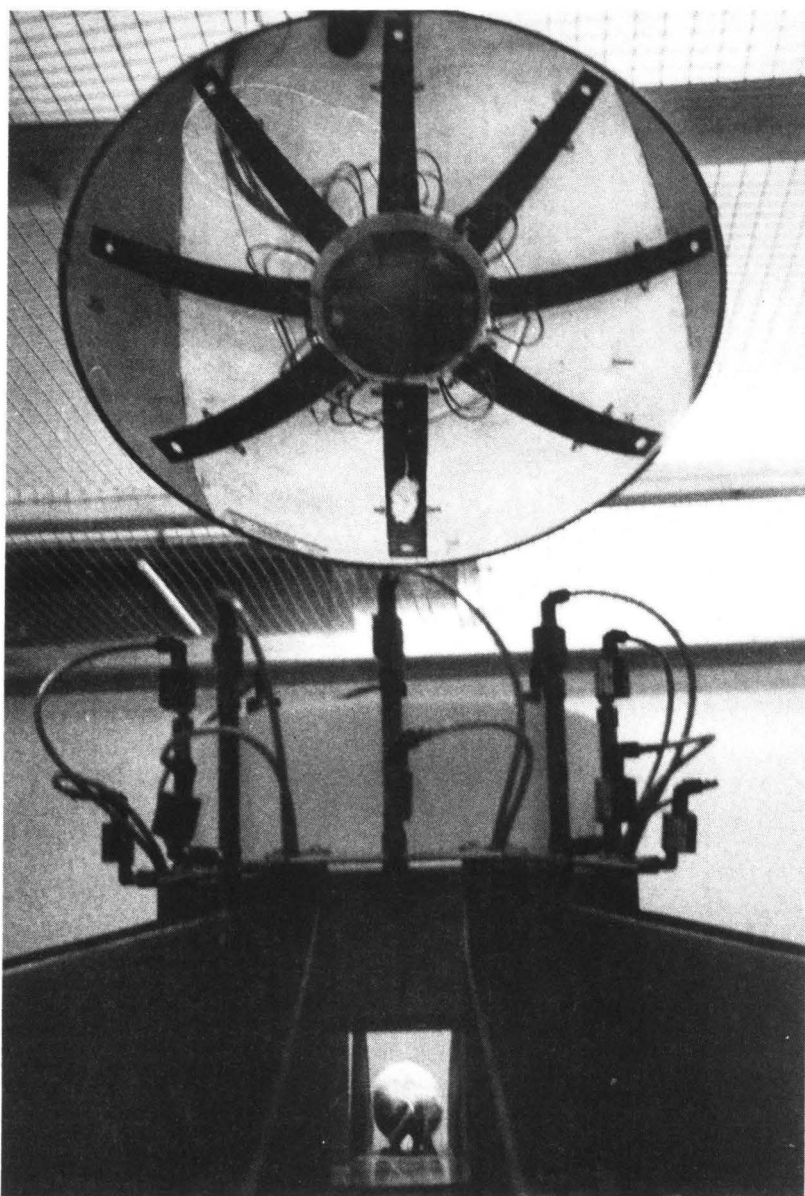
Uit EEG's van die ratten blijkt dat veranderingen in de hersenen als gevolg van kindling in beide hersenhelften optreden, ook al is maar een helft met stroomstoten behandeld. Dat wijst erop dat het gaat om een biochemisch proces en niet om een mechanische beschadiging. De betekenis hiervan is echter nog niet duidelijk.

Nadat het dier is gedood, bestuderen de onderzoekers wat er nog meer in de hersenen is veranderd, bijvoorbeeld in de aanwezigheid van bepaalde signaalstoffen, die een rol spelen bij de communicatie tussen cellen.

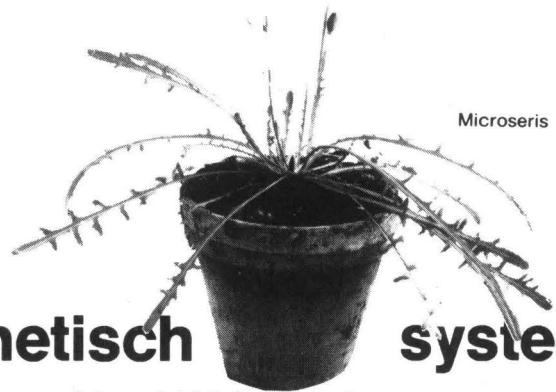
Het onderzoek moet leiden tot een beter begrip van epilepsie. Of klinische toepassing bij mensen mogelijk is, kan pas na veel verder onderzoek worden beoordeeld.



Een deel van de hersenen van een rat (hippocampus). De donkere stippen zijn zenuwcellen die de signaalstof gamma-amino-boterzuur bevatten. Het aantal hiervan neemt af als de rat epilepsie krijgt.



Een rat loopt een van de acht armen van het doolhof binnen, op weg naar voedsel. In de spiegel boven in de foto is het hele doolhof te zien.



Microseris

Het ontrafelen van een genetisch systeem

Sinds de beroemde kruisingsproeven van Mendel zijn biologen aanzienlijk meer te weten gekomen over de erfelijke factoren die de eigenschappen van een plant (of dier) bepalen. Nu weten ze dat die factoren vastliggen op genen en dat die genen stukjes zijn van reusachtige DNA-moleculen in de celkernen van de plant.

Telers proberen door verschillende variëteiten te kruisen nuttige eigenschappen zo als een hoge zaadopbrengst en resistentie tegen bepaalde ziekten in een plant samen te brengen. Dat heet *veredelen*. Veel verschillende kruisingen proberen en met de beste produkten verdergaan, luidt de traditionele methode. Als je echter weet hoe allerlei eigenschappen genetisch vastliggen kun je van tevoren een strategie uitstippelen om snel tot het gewenste resultaat te komen.

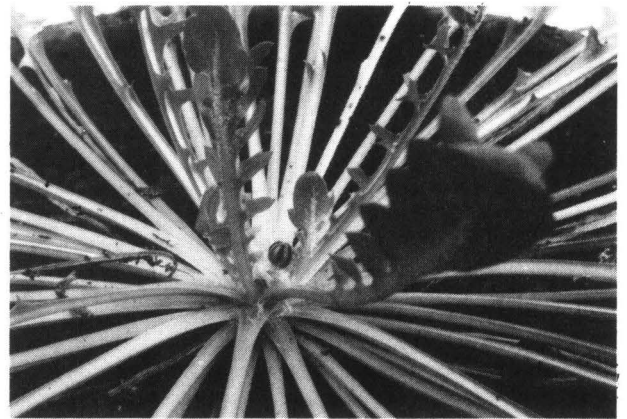
Bij de sectie *Evolutionaire Botanica* brengen onderzoekers die genetische kenmerken in kaart. Ze

gebruiken daarvoor planten van het geslacht *Microseris* een gele composiet die wel wat weg heeft van een paardebloem — als proefkonijn. Als eenmaal bekend is hoe het genetische systeem bij deze ene plant in elkaar zit, is het relatief gemakkelijk dat ook bij andere planten uit te zoeken. Deze proefplantjes zijn handig omdat ze snel in grote aantallen in kassen zijn te kweken en enkele duidelijke kenmerken hebben waarop kan worden geselecteerd, zoals aantal bloemblaadjes, kleur, grootte van de vruchtjes en het aantal haren daarop. Het blijkt dat een verandering aan een gen soms tot gevolg heeft dat precies één uiterlijk kenmerk verandert (bloemkleur bijvoorbeeld), soms dat verschillende veranderingen tegelijk optreden. Die eigenschappen zijn dan niet onafhankelijk te variëren. Behalve nieuwe eigenschappen in te kruisen proberen de onderzoekers die ook stevig te verankeren in de genetische structuur,

opdat ze niet bij de eerste de beste ongelukkige kruising weer verdwijnen.

Het gaat de botanici erom te begrijpen hoe zo'n genetisch systeem in elkaar zit, niet om de toepassingen ervan. Het zal overigens nog jaren duren eer resultaten van dit onderzoek toepasbaar kunnen worden, bijvoorbeeld op sla, het cultuurgewas dat, het nauwst aan *Microseris* verwant is.

Microseris



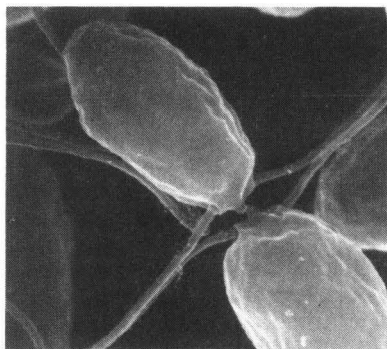
Sex onder de microscoop

Man zoekt vrouw, vrouw zoekt man. Mensen *weten* hoe ze zo iets moeten aanpakken. Aan de hand van wat ze zien en horen kunnen ze een geschikte partner selecteren. Eencelligen als het groenwier *Chlamydomonas* weten niets, zien niets en horen niets. Toch slagen ze erin om in een troebel soepje soortgenoten te vinden, zich daarmee seksueel te verenigen en zich voort te planten. Biologen van de vakgroep plantenfysiologie proberen uit te vinden hoe ze dat doen.

Door een gewone microscoop valt te zien dat groenwiercellen uit een hele kluwen van soortgenoten een exemplaar vinden van het andere *paringstype* (het equivalent van geslacht). Dan hechten ze zich paarsgewijs met hun flagellen aan een. Kort daarna

fuseren de cellen en worden zygoten gevormd.

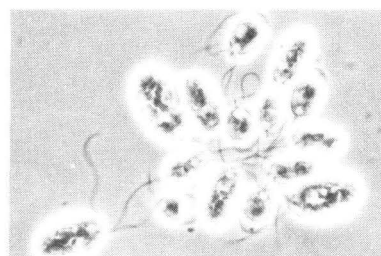
Kennelijk zet het fysieke contact via de flagellen een hele reeks processen in werking. Er moeten dus signalen vanuit de flagellen naar de celkern gaan. De onderzoekers hebben met apparaten zoals een elektronenmicroscoop,



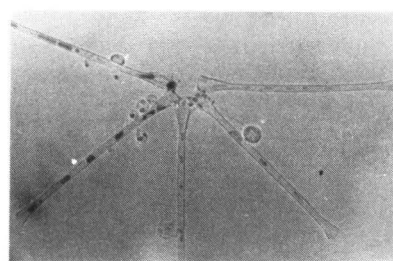
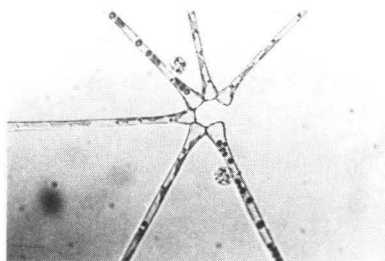
Close-up van twee parende *Chlamydomonas* cellen, vlak voordat zij zullen versmelten. Duidelijk is te zien dat de cellen met hun zweepharen (flagellen) aan elkaar gehecht zijn. Vergroting: 5000×.

vastgesteld dat zich op de flagellen grote, met suikers versierde eiwitmoleculen bevinden. Ze nemen aan dat de binding van de flagellen tot stand komt doordat die eiwitten zich aan elkaar hechten. Hoe daarna de signalen worden opgewekt is nog niet duidelijk. Inmiddels hebben ze wel ontdekt dat het proces in het donker niet verloopt. Ook weten ze al welke suikers en aminozuren het belangrijkste zijn bij de eiwitten op de flagellen.

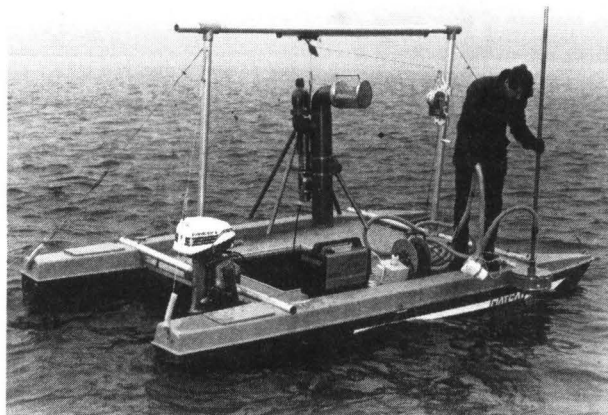
Dit onderzoek vindt plaats met groenwieren omdat die gemakkelijk te kweken en te bestuderen zijn. De processen waar het om gaat zijn echter universeel. De versmelting van een menselijke eicel met een spermatozoïde verloopt niet wezenlijk anders. Waar het eigenlijk om gaat is uit te vinden hoe cellen met elkaar communiceren. Voorplanting is daarvan maar één aspect.



Groep copulerende groenwieren (*Chlamydomonas*)



Het dynamisch evenwicht in de algencyclus



Met de waterhapper neemt de bioloog monsters.

Elke week nemen biologen van de vakgroep *Aquatische Oecologie* watermonsters uit de Grote Maarsseveense Plas in de buurt van Utrecht. In het laboratorium analyseren ze die en onderzoeken dan met name het voorkomen van algen. Er komen bijna honderd soorten voor. De jaarcyclus van elkaar opvolgen dominante soorten verloopt niet elk jaar precies hetzelfde. De biologen trachten uit te vinden welke factoren de verhoudingen tussen de verschillende algenpopulaties bepalen.

Het volgende voorbeeld dient ter illustratie.

Aan het eind van de winter domineert in sommige jaren de soort *Asterionella*, in andere jaren *Fragilaria*. De biologen vermoeden dat de hoeveelheid fosfaat in het water (een belangrijke voedingsstof voor algen) voor beide soorten de beperkende factor was. In het laboratorium keken ze wat er gebeurde als ze extra fosfaat aan het plaswater toevoegden: de algenpopulatie groeide. Andere voedingsstoffen zoals nitraat hadden niet zo'n effect, dus het vermoeden bleek juist. Doordat *Asterionella* eerder in het jaar begint te groeien, laat deze soort soms zo weinig fosfaat over dat *Fragilaria* niet tot ontwikkeling kan komen.

In andere jaren groeit de *Asterionella*-populatie niet zo snel en krijgt *Fragilaria* de overhand. In die jaren slaat de waterschimmel *Zygarhizidium* toe, ontdekten de biologen. *Asterionella* is daar heel gevoelig voor, *Fragilaria* niet. Maar hoe komt het nu dat die schimmel het ene jaar veel voorkomt en het andere jaar nauwelijks?

De schimmel blijkt slecht tegen kou te kunnen: als er ijs op het water ligt, wordt hij inactief. Daarna duurt het zeker een aantal dagen eer hij weer sporen kan loslaten om nieuwe algen te infecteren. Het hangt er nu maar net vanaf wanneer het koud wordt en hoe lang het ijs blijft liggen. Is dat lang dan gaat de *Asterionella*-populatie door met groeien terwijl de schimmel inactief blijft. Als de sporen tenslotte uitkomen is er al een grote *Asterionella*-populatie, die weliswaar snel geïnfecteerd wordt en afsterft, maar inmiddels alle fosfaat verbruikt heeft. Dat wordt een *Asterionellajaar*. Is er geen ijs of blijft het kort liggen, dan komen de sporen meteen uit en wordt *Asterionella* voortdurend geïnfecteerd: de populatie blijft klein en er blijft genoeg fosfaat over voor *Fragilaria*. Dat wordt dan een *Fragilariajaar*. In werkelijkheid is het overigens wel ingewikkelder; en bij andere soorten algen is het samenspel met omgevingsfactoren weer geheel anders. Het begrijpen hiervan is van belang voor het bestrijden van algenbloei en waterverontreiniging.

Beestjes met beestjes te lijf

Rupsen, spintmijten en schimmels kunnen ervoor zorgen dat de opbrengst van een boomgaard flink daalt. Een tuinder voorkomt dat door royaal met bestrijdingsmiddelen te spuiten. Dat heeft wel nadelen: ze zijn giftig, dus slecht voor het milieu, en veel schadelijke beestjes worden er op den duur resistent tegen. Het was tuinders en biologen opgevallen dat in oude, verwaarloosde boomgaarden waar niet meer werd gespoten nauwelijks spintmijten voorkwamen. Die werden opgevreten door roofmijten. Als tuinders nuttig gebruik zouden kunnen maken van roofmijten, zouden ze alleen nog maar

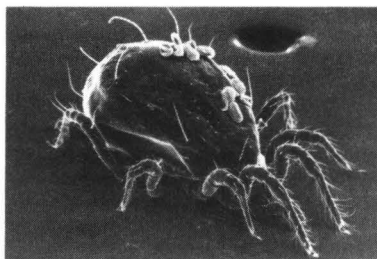
voor schimmels en enkele andere organismen hoeven te spuiten. Het probleem: het gif tegen de schimmels doodt ook de roofmijten, terwijl de schadelijke spintmijten er goed tegen kunnen.

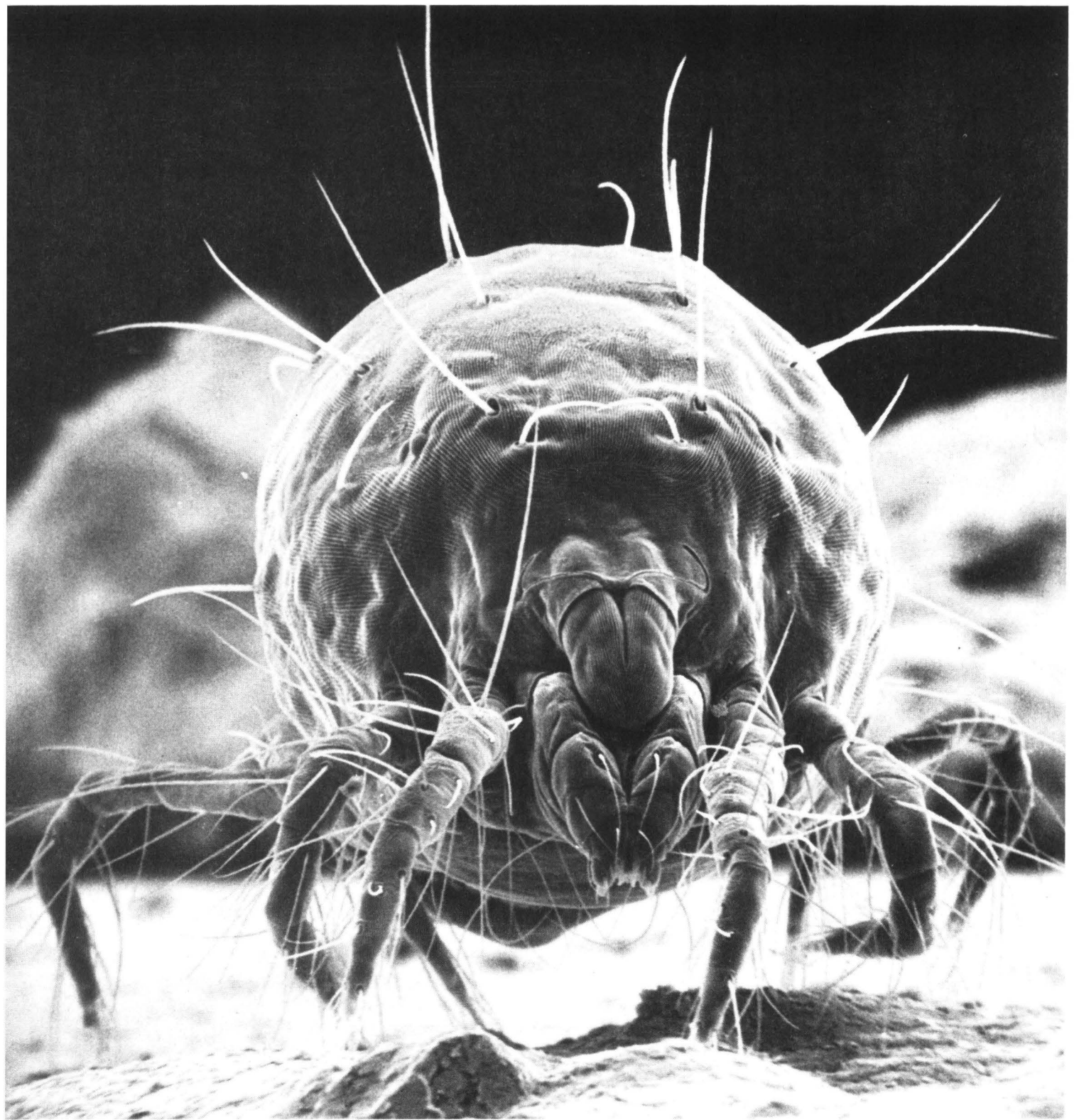
Er zijn twee manieren om aan een oplossing hiervoor te werken: door een bestrijdingsmiddel te ontwikkelen dat wel de schimmel maar niet de roofmijt aantast, of door roofmijten te kweken die tegen gangbare bestrijdingsmiddelen bestand zijn. De chemische industrie werkt vooral volgens de eerste strategie, daarin bijgestaan door biologische laboratoria in veel landen — onder andere bij Anna's Hoeve — die testen welke

organismen wel en welke niet tegen het nieuwe middel kunnen. Het zwaartepunt voor de vakgroep *Experimentele Entomologie* ligt echter bij de tweede methode: het inkruisen van resistenties in roofmijstammen. Het onderzoek vindt zowel in de boomgaard als in het laboratorium plaats. In het lab krijgen de roofmijten onder gecontroleerde omstandigheden een bepaald dieet voorgezet.

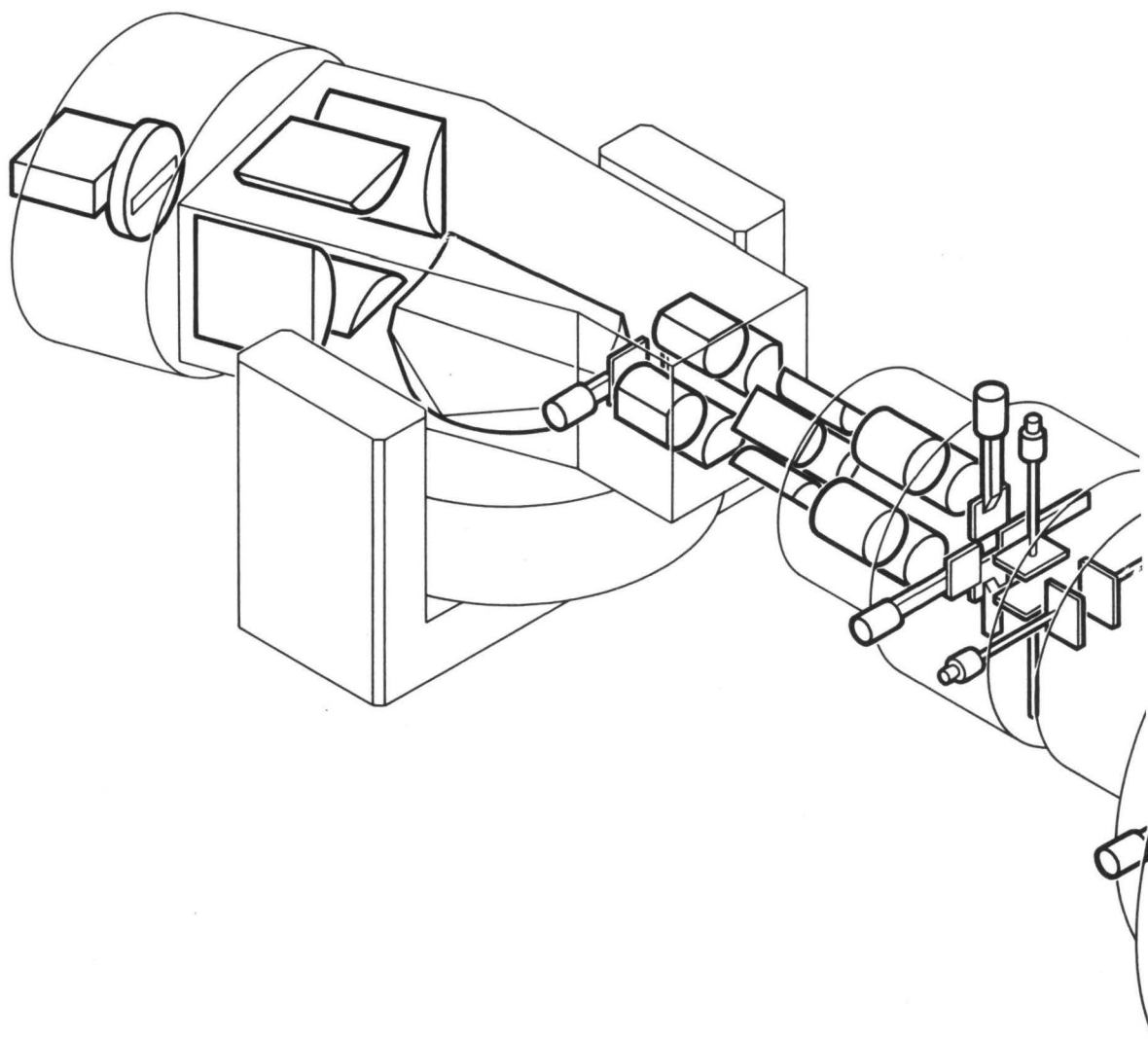
De bedoeling is uiteindelijk alleen die schadelijke organismen, die niet biologisch bestreden kunnen worden met gif te bespuiten. Enkele telers — samen ongeveer 200 hectare boomgaard — passen deze *geïntegreerde bestrijdingsmethode* reeds met succes op commerciële basis toe.

Bonenspintmijt





Bonenspintmijt 2.5 mm



Uitgave: Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer (WCW)
 Postbus 418882
 1009 DB Amsterdam
 Telefoon 020-5929444
 Telex 10262

Redactie-coördinatie: J. Oberski, NIKHEF
 Vormgeving: Toine Post, Ankeveen
 Illustraties pagina 5 en 10/11: Easter Fairwether Ass., Den Haag
 Fotografie pagina 8 en 9: Titus Petri
 Druk: CWI, Amsterdam

Tekst: Dick van Eijk, Utrecht