

Er zit miltvuur in de lucht

*Deeltjesanalysator
'herkent'
gevaarlijke bacterie à
la minute*





DOOR ARNO SCHRAUWERS

Sensoren worden tegenwoordig veel kwaliteiten toegedicht, maar de lijst van stoffen die er direct mee is te meten, is nog niet indrukwekkend. Deeltjestecnoloog dr.ir. Jan Marijnissen van de Delftse vakgroep Scheikundige Technologie is al veertien jaar bezig met een deeltjes-'sensor' die direct het chemisch ongerief in de lucht meet. Op basis van de eerste Delftse generatie sensoren is sinds kort een commerciële analysator op de markt voor deeltjes in de

Op 19 maart 1995 om 08.17 voerde de Aum Shinrikyo sekte (aanhangers van en Domsday Cult) onder leiding van goeroe Shoko Asahara een aanslag uit in de metro van Tokyo met het chemische gifgas sarin. Bij deze terroristische operatie kwamen 11 mensen om het leven en raakten 5.500 mensen gewond.



Principe van massaspectrometrie Een massaspectrometer is een apparaat waarmee deeltjes op massa worden onderscheiden. De massaspectrometer, zoals die in Delft wordt gebruikt, bestaat uit een rechte buis (er is ook een systeem met een gekromde buis) waar vacuüm heerst. Daar worden de deeltjes geladen en onder invloed van een elektrisch veld versneld. Zwaardere deeltjes zijn trager dan lichtere. Aan het eind van de buis zit een detector (eigenlijk gewoon een 'teller') die meet wanneer er deeltjes inslaan. Dat 'tellen' levert een spectrum op van onderscheiden pieken corresponderend met deeltjes van een bepaalde massa.

*lucht.
Marijnissen
werkt nu, samen
met een
promovendus en
een postdoc,
aan een
verbeterd
systeem dat ook
bepaalt welke
bacteriën in de
atmosfeer
zweven.
Dat is nuttig
voor in
ziekenhuizen,
maar vooral
militairen
hebben
belangstelling.*

Dr.ir. Jan Marijnissen is mijnbouwkundig ingenieur die zich heeft toegelegd op ventilatie van (ondergrondse) mijnen. Vooral de aërosol deeltjes, die in de (mijn)atmosfeer rondzweven, hadden zijn aandacht.

Na vele omzwervingen over de aardkloot, vooral Afrika, werd hem zo'n vijftien jaar geleden door de Delftse hoogleraar scheikundige technologie Brian Scarlett gevraagd aan de TU een aërosollaboratorium op poten te zetten. Hij kreeg er vijf jaar de tijd voor. En in tien jaar moest dat lab tot de top van de wereld behoren.

Terugkijkend wil hij niet gezegd hebben dat ook dat laatste zeker uitgekomen is. Zoals een goed wetenschapper betaamt ging Marijnissen wat grasduinen in de literatuur. Waar vooral grote behoefte aan bleek te zijn, was een methode waarmee deeltjes



Glazen voorzetapparaat voor de eerste Delftse experimenten met een massaspectrometer in combinatie met een laser. Met verschillende vacuümpompen wordt een luchtstroom met deeltjes gecreëerd. De pompen zuigen van verschillende kanten de gasmoleculen uit de stroom, terwijl de deeltjes door hun traagheid rechtdoor schieten.

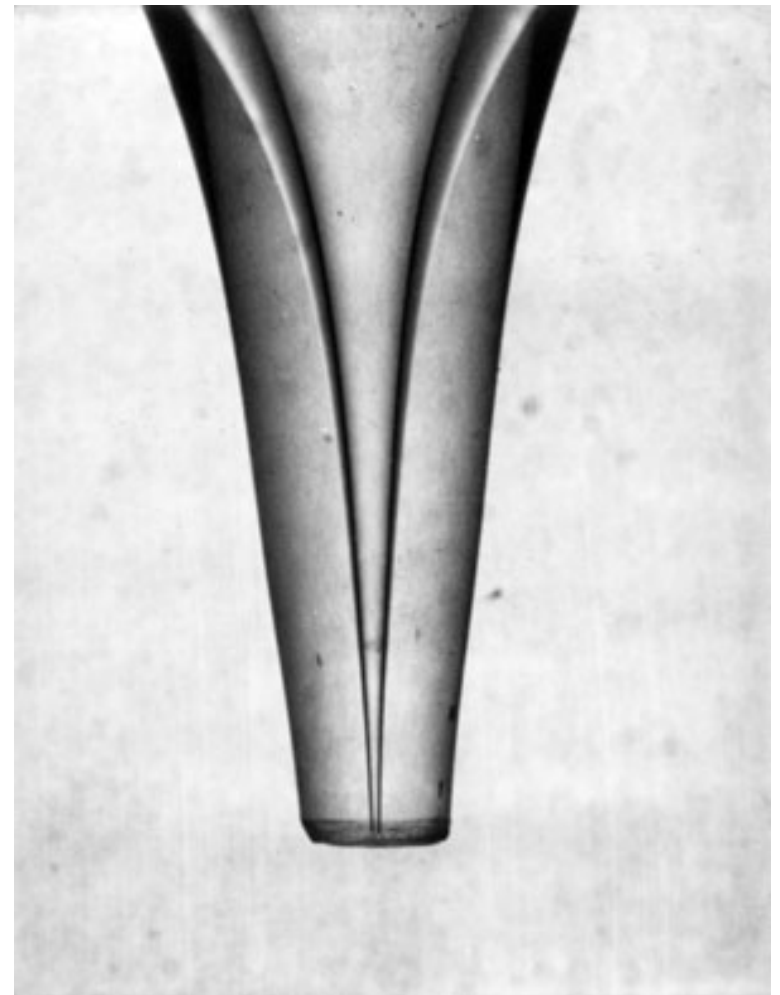
Uitvoering van Piet Molenkamp / TU Delft

direct in de lucht chemisch konden worden bepaald. 'Daar werd indertijd, zo'n veertien jaar geleden, op diverse plaatsen onderzoek naar gedaan. Dat onderzoek kon je opsplitsen in twee richtingen: een systeem waarbij de luchtmonsters in het lab met behulp van microscoop, laser en massaspectrometer werden geanalyseerd. De andere richting, waar onder anderen Shelder Friedlander in de VS aan werkte, bepaalde de aërosolen direct met behulp van eerst een gloeidraad en later een laser, maar met een massaspectrometer die slechts een beperkt deel van het spectrum laat zien.'

Wat Marijnissen eenvoudigweg heeft gedaan, is beide ontwerpen combineren tot een nieuw ontwerp, waarbij de zwakke punten van elk van de systemen werden weggewerkt. Zo gaf de gloeidraad van Friedlander nogal wat sores met het afbreken van moleculen, terwijl het andere systeem het nadeel van een indirecte meting had. De gloeidraad werd een laser en de voorgestelde massaspectrometer was de rechte variant, dat in afwijking van de elders gebruikelijke modellen met haakse bocht. Marijnissen: 'Ik heb mijn idee in 1988 op een conferentie over aërosoltechnologie in het Zweedse Lund gepresenteerd. Het sloeg destijds nogal aan en dat terwijl het eigenlijk alleen nog maar om een idee ging dat ik had samengesteld op basis van bestaande onderzoeksrichtingen met als bijkomende gedachte een rechte oftewel time-of-flight-massaspectrometer te gebruiken.'

Glas

Nu moest het er toch eens van komen. Het eerste systeem werd door de eigen glasblazerij in Delft gemaakt. De massaspectrometer kwam van het amolf-Instituut in Amsterdam. Er werd een zogeheten gepulste yag-laser gebruikt; yag staat voor het materiaal waarin de lichtbundel wordt «opgewekt». De gloeidraad bij Friedlander heeft dezelfde functie als de laser: het opsplitsen van deeltjes in verschillende moleculen. De eerste die aan de opstelling ging werken was Olaf Kievit, eerst als sTUDENT en later als onderzoeker. In 1995 is hij op de



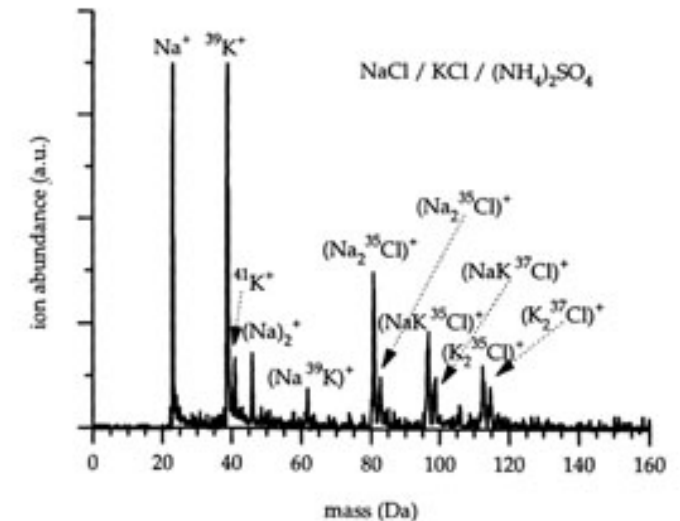
Macroscopische opname van de glazen punt van het inlaatstuk waarmee de deeltjes in het voorzetapparaat worden gebracht. De binnendiameter is 0,1 mm.
uitvoering Piet Molenkamp / TU Delft

massaspectrometer gepromoveerd. Hoewel er kennelijk nogal wat opwinding onder de deeltjestecnologen ontstond over de analysator van Marijnissen (in de VS en ook in Duitsland ontstonden al snel nieuwe onderzoeksgroepen), stelde de opstelling als analysator eigenlijk nog niet erg veel voor. Marijnissen: 'We kregen er wel spectra uit, maar wat die betekenden, wisten we toen nog niet. We hebben die resultaten wel gepubliceerd, maar zijn toen keihard gaan werken aan een echt systeem.'

Dat apparaat werd in Delft van roestvast staal gemaakt. Het bestond uit drie kamers waarin de druk trapsgewijs werd verlaagd tot 10^{-6} millibar (iets meer dan één miljardste van een atmosfeer). Door het vacuüm wordt voorkomen dat de deeltjes tijdens hun vlucht worden gehinderd door lucht moleculen. De yag-laser die deeltjes «kapot» moest schieten, kreeg hulp van een helium/neonlaser. De yag-laser schoot eigenlijk maar in het wilde weg met lichtpulsjes op de deeltjes die de vacuümkamer binnenkwamen. Zodra de helium/neonlaser een inkomend deeltje detecteert, wordt de yag-laser geactiveerd om zijn splijtende werk te doen. Het geheel werd gecombineerd met een rechte spectrometer, een vluchttijd-massaspectrometer. Met zijn promotie-onderzoek legde Kievit de basis voor de uiteindelijke deeltjesanalysator. Hij heeft het systeem gebouwd en gecombineerd waardoor de spectra die uit de massaspectrometer rollen, ook konden worden geïnterpreteerd.

Zeelucht

Het pionierswerk van Kievit zag er veelbelovend uit, maar tevreden waren Marijnissen en zijn medewerkers nog lang niet. Scheikundig ingenieur Martin Weiss mocht aan de slag om de deeltjesanalysator op een aantal punten te verbeteren, zoals het bepalen van de deeltjesgrootte en het moment waarop de grote laser werd geactiveerd. Tevens moest hij een bibliotheek van spectra creëren, waardoor het eenvoudiger wordt de gemeten spectra te interpreteren (welk piekje staat voor welke stof). Weiss



Massaspectrum van een deeltje samengesteld uit een mengsel van NaCl/KCl/(NH₂)₂SO₄, dat Martin Weiss gebruikte als proefstof. Massaspectrum van een deeltje samengesteld uit een mengsel van NaCl/KCl/(NH₂)₂SO₄, dat Martin Weiss gebruikte als proefstof.

heeft, onder meer, analyses gemaakt van de lucht in en rond het Delftse scheikundige laboratorium.

Marijnissen: 'Bijzonder was dat je soms grote natriumpieken kreeg en soms helemaal niks. Dat bleek uiteindelijk met de wind te maken te hebben: wanneer de wind uit het westen kwam, werd er veel zoute zeelucht aangevoerd.

Bij oostenwind kregen we vooral veel kalkpieken. We denken dat dat te maken heeft met bouwactiviteiten.'

De aanwezigheidsdetectie door de helium/neonlaser was ook niet optimaal. Dit lasertje ontdekte het deeltje wel, maar wist niet precies hoe groot dat was en, dus, hoe snel of traag. Daardoor schoot de yag-laser, die het seintje «schieten» had gekregen van de verstrooidlicht-sensor, er nogal eens een keer naast. Weiss kwam met een oplossing: splits de helium/neonlichtbundel in twee parallelle bundels. Wanneer een deeltje beide bundels doorkruist, kan de snelheid en de grootte van het deeltje worden bepaald en de yag-laser op het juiste moment tot actie genood. Bingo!

'Elders waren ze ook driftig met een dergelijk systeem bezig. Niet alleen in de VS, waar nogal wat geld in dit onderzoek is gestoken, maar ook in Duitsland. Wij zijn dapper doorgegaan en nu werkt het systeem echt zoals we willen.'

Pudding

De smaak van de pudding ken je door 'm te eten, zeggen de Britten. Al ras diende zich een mogelijkheid aan.

Marijnissen: 'In die tijd, het zal ergens rond '95, '96 zijn geweest, werd er in Duitsland een Rus gepakt die plutonium in zijn achterbak van zijn auto had dat hij wilde verkopen. Het Instituut voor Transurane Elementen in Karlsruhe wilde weten of dergelijke grappenmakers ook snel met behulp van onze deeltjesanalysator zouden kunnen worden getraceerd. Ook bij kernrampen is het zaak om zo snel mogelijk te weten welke radioactieve componenten er in de atmosfeer terecht zijn gekomen. Bij de ramp in Tsjernobyl, bijvoorbeeld, heeft het nogal lang geduurd

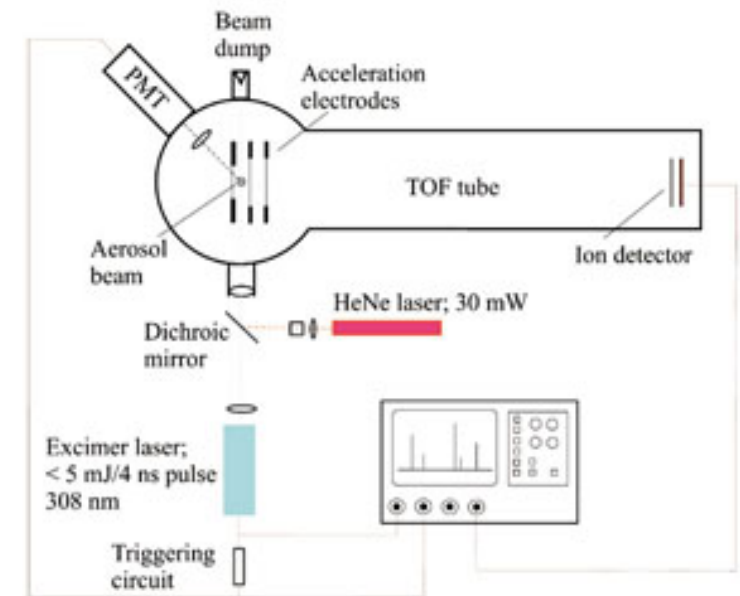


Diagram van de huidige aerosol Time-of-Flight-massaspectrometer.



voor men wist welke radioactieve isotopen naar de atmosfeer waren ontsnapt.'

Er werd een proefopzet bedacht, waarbij kleine ionenwisselaar bolletjes van een dun laagje uraniumoxide werden voorzien. Van dat uranium bestond slechts minder dan éénvierhonderdste deel uit het radioactieve isotoop U-235.

Marijnissen pakt er de spectra bij. 'Kijk, hier zie je een piek van het niet-radioactieve U-238 en dat piekje is U-235. Dat kun je heel duidelijk zien.'

'Karlsruhe' was tevreden met de uitslag van de proeven, volgens Marijnissen. Het Instituut vroeg vervolgens of de deeltjesanalysator ook cannabis kon «ruiken». Bij die proefnemingen deed zich echter een probleempje voor. Martin Weiss rookte niet en weigerde een joint op te steken, maar voor de proefnemingen is dat niet onoverkomelijk. En weer bleek de analysator prima te werken. De piek voor thc (tetrahydrocannabinol, het werkzame bestanddeel was hasj) is schitterend in het spectrum aan te wijzen. Maar ja, heel opzienbarend is dat resultaat natuurlijk niet. Je hoeft beslist geen hasjhond te zijn om de rook van een joint op een kilometer afstand te kunnen ruiken.

Marijnissen: 'We hebben nog geen proeven gedaan waarbij mensen hasj bij zich hadden zonder dat er gerookt werd.'

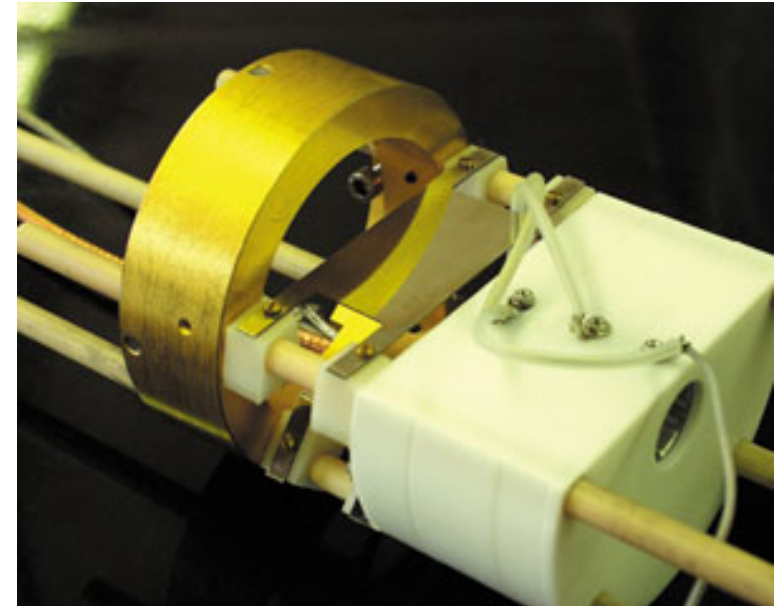
Roet

Marijnissen c.s. hebben wél proeven met roet gedaan.

'Roetdeeltjes vormen volgens sommige onderzoekers een belangrijke doodsoorzaak. In de VS zouden daar jaarlijks 30.000 mensen door sterven. Nu zit er in diesel een katalysator, een stof die het roet moet doen ontleden. We hebben de proef gedaan met anthraceen, een meerringsverbinding die ook in roet voorkomt, in combinatie met Norit en ook met echt dieselroet met katalysator. Dat cerium kwam daar mooi uit in de spectra.'

Ook bij de processturing of bij de bewaking van de werkatmosfeer kan de analysator goede diensten verrichten. In

De massa-spectrometer met bovenop (v.l.n.r.) een rode drukmeter, een doorvoer voor elektriciteit en de opbouw van de deeltjestraalgenerator. Verder naar rechts en op de voorgrond zijn de vacuumpompen. De kabels aan het linker uiteinde verbinden de ionendetector in de buis met de uitleesapparatuur.



Bovenaanzicht van een deel van de ionenbron. Tussen de goudkleurige ring en de ionenlenzen (in wit Teflon vevat) is een deflector zichtbaar, die ervoor zorgdraagt dat de door de lenzen gefocusseerde ionen, zodanig worden afgebogen, dat zij aan het einde van de vluchtbuis op de detector terechtkomen.

de farmaceutisch industrie is het wezenlijk voor de productie om te weten of stoffen zuiver zijn. Ook is het soms van belang te weten of er niet te veel van bepaalde bioactieve stoffen, zoals enzymen of hormonen, in de lucht rondzweven.

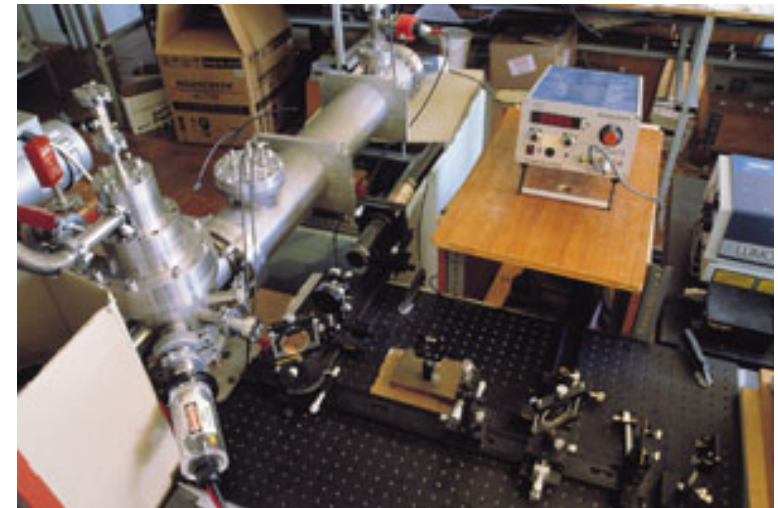
Marijnissen: 'Voor een Engels farmaceutisch bedrijf had ik van onze bevindingen een verslag gemaakt. Een groep analisten was wildenthousiast, maar een andere groep maakte heftig bezwaar. Die waren waarschijnlijk bang hun baan te verliezen, maar deze analysator maakt niet alle andere analysemethoden overbodig. Je kunt met een massaspectrometer, bijvoorbeeld, niet de ene stereo-isomeer van de andere onderscheiden, zeg maar de linksdraaiende van de rechtsdraaiende vorm. Zeker voor farmaceutische doeleinden is het heel wezenlijk dat onderscheid te kunnen maken.'

Marijnissen heeft indertijd een octrooi op de Delftse deeltjesmeter aangevraagd. Het Amerikaanse bedrijf TSI Inc. bracht inmiddels een commercieel systeem op de markt ter grootte van een staande kantoorkast. Volgens Marijnissen is het grotendeels gebaseerd op de eerste generatie Delftse deeltjesdetectoren.

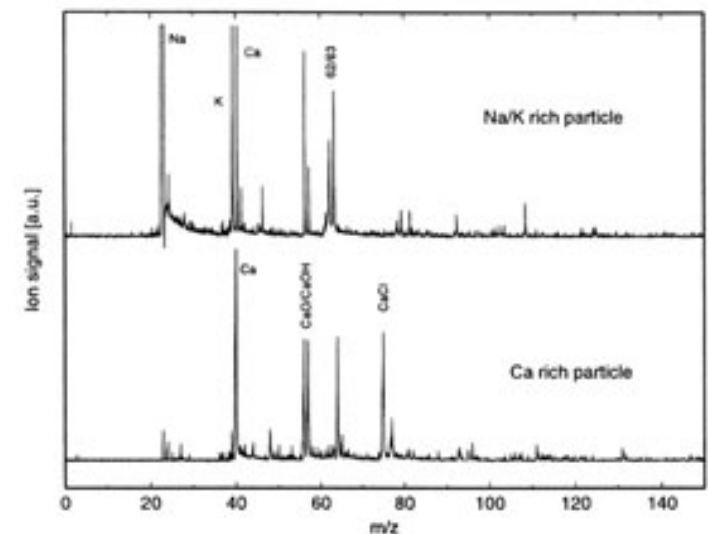
Bacteriën

Inmiddels werd er aan een tweede generatie analysatoren gewerkt.

'De apparaten van TSI doen het prima,' zegt Marijnissen, 'maar ze hebben hun beperkingen. Deeltjes kleiner dan 0,3 µm (3 maal 10⁻⁷ m; as) «ziet» de verstrooidlicht-detector niet. Dat heeft deels te maken met de golflengte van het gebruikte laserlicht. Verder kunnen met dat systeem alleen relatief kleine moleculen worden gedetecteerd met een molmassa onder de 800 (de molmassa geeft aan hoeveel zwaarder een molecuul is dan een waterstofatoom en is een maat voor de grootte van het molecuul; as). Dat betekent dat ons systeem geen biologische stoffen kon identificeren en vooral met het oog op risico dat bepaalde terroristische groepen of landen kwalijke biologische wapens in de strijd gaan werpen, is het zaak zo snel mogelijk een methode te



De optica rond de massaspectrometer bestaat uit een helium/neondetectielaser (zwart, midden), een bundelsplitser en een halfdoorlatende spiegel waarmee de twee bundels in de vacuümkamer worden gekaatsd. De optische bank (rechts) behoort bij de excimeer-laser die net buiten beeld staat.



ontwikkelen waarmee direct is te achterhalen om welke biologisch actieve stoffen of micro-organismen het gaat.'

Drie jaar geleden is het TNO Prins Maurits Laboratorium bij Marijnissen gekomen - voor dit onderwerp is vooral uit de militaire hoek belangstelling - en werd samen met hen een vervolgonderzoek begonnen waaraan op momenteel promovendus Arjan van Wuyckhuyse en postdoc Michael Stowers werken.

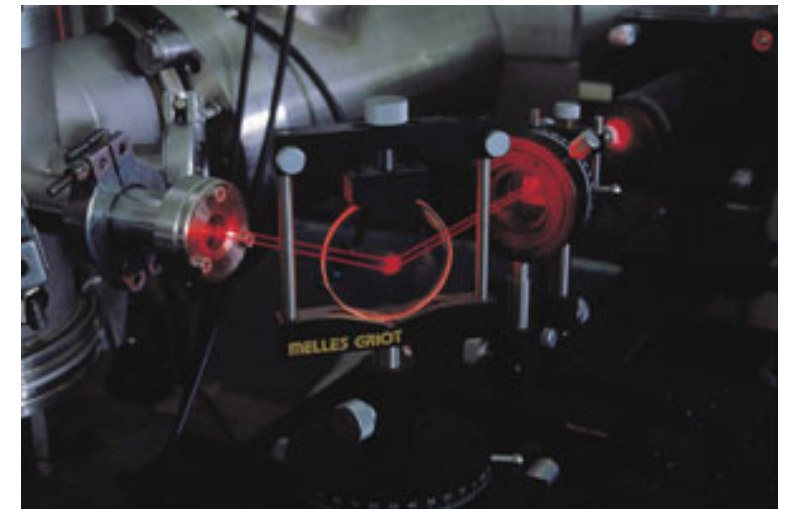
'De kleine deeltjes waren niet zo'n probleem,' zegt Marijnissen, 'die laten we groeien door er een hulpstof op te condenseren. Die methode hebben we goed onder de knie.'

Lastiger was het opvoeren van de massa. Ze moeten namelijk voorkomen dat de grotere, maar vaak kwetsbare, biologische moleculen door de laser aan gort worden geschoten. Inmiddels was de yag-laser vervangen door een zogeheten eximeerlaser. Er bestaat een truc voor die in de massaspectrometrie wordt toegepast en luistert naar de naam maldi (Matrix Assisted Laser Desorption Ionisation). Wat onwetenschappelijk gezegd bestaat die methode uit het toevoegen van een ander materiaal dat de overmaat aan laser-energie opvangt en ionisatie bevordert. Daardoor halen de stoffen waar het (althans deels) om gaat ongeschonden de detector.

Er komt hier nog een andere truc bij, maar Marijnissen wil nog niet het achterste van zijn tong laten zien, vanwege een patentaanvraag. Het nieuwe biodeetectiesysteem omvat ook een fluorescentiedetector die een indicatie geeft voor de aanwezigheid van biologisch materiaal. Meer wil hij er nu nog niet over zeggen. Overigens schijnen de Amerikanen tijdens de Golfoorlog - uit angst voor Saddams, mogelijke, biologische wapens - al met fluorescentiemeters te hebben rondgelopen, maar die gaven zo vaak vals alarm dat ze uiteindelijk weinig van nut zijn geweest. Post-doc Michael Stowers werkt verder aan het fluorescentiegedeelte.

Coniferen

Toen Martin Weiss in 1997 het prototype van de deeltjesmeter testte, trof hij Na/K-deeltjes aan, die toegeschreven konden worden aan zoutdeeltjes van de zee. Op een ander moment vond hij ineens pieken van Calcium, terwijl die van Na/K ontbraken. De verklaring werd gevonden in een andere windrichting, die kennelijk stof van bouwplaatsen met zich meedroeg.



Na zijn geschiedvertelling verwijst Marijnissen voor het biologische vervolg van het onderzoek naar promovendus Arjan van Wuyckhuysse, die inmiddels al drie jaar onderweg is. De aio laat wat spectra zien; hij wijst: 'Hier hebben we insuline gemeten. Als maldi-stof hebben we coniferenzuur oftewel feruulzuur gebruik. Eerst gebruikten we daar simpeler stoffen voor als nitrobenzylalcohol, maar met verbindingen als coniferenzuur gaat het beter bij grotere molmassa's. Kijk, hier zie je de pieken van de di- en van de trimeren; moleculen bestaande uit twee en drie insulinemoleculen.'

Hij laat ook spectra zien waar de aanwezigheid van cytochroom-C en myoglobine is aangetoond. Dat zijn ingewikkelde biologische stoffen, waarvan myoglobine (ook) in sommige bacteriën voorkomt. Het is ook te vinden in, bijvoorbeeld, het sperma van walvissen (om maar wat spectaculairs te noemen).

'Cytochroom-C, dat overigens niet in bacteriën voorkomt, heeft een molmassa van ongeveer 12.200 en myoglobine rond de 18.000. Bij bacteriën moet je stoffen tot een molmassa van 40.000 kunnen bepalen om deze te kunnen identificeren', legt Van Wuyckhuysse uit.

In Amerika zijn onderzoekers aan de Universiteit van Indiana er inmiddels in geslaagd met behulp van een massaspectrometrische analyse 25 verschillende bacteriën van elkaar te onderscheiden. Hierbij werden de monsters van tevoren op een vaste plaats in de spectrometer aangebracht.

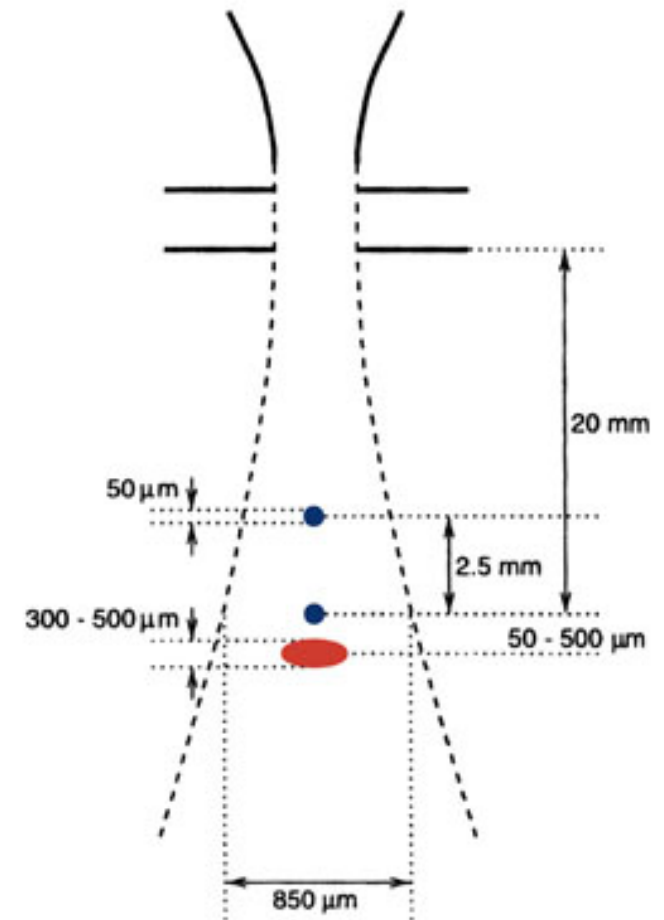
Van Wuyckhuysse: 'Dat ging goed, ook bij blind onderzoek. Uiteindelijk zouden we ook de proteïnen van een bacterie willen kunnen detecteren.'

Miltvuur

Het is de bedoeling dat de Delftse deeltjesanalysator naast bacteriën ook sporen (een bacterie in een soort «winterslaap») zal kunnen onderscheiden.

'We hebben een proef gedaan met de *Bacillus subtilis* var niger, vertelt Van Wuyckhuysse. Dat is een ongevaarlijk familielid van de

Alignment in normal operation



gevaarlijke miltvuurbacterie, en daar kwam een piek rond de 1220 molmassa waarvan we niet wisten wat die voorstelde. Bij TNO PML zijn ze er toen met andere apparatuur naar gaan kijken. Het bleek dat die piek werd veroorzaakt door skeletbrokken van de *B. subtilis*. Die piek is karakteristiek voor die bacterie. Meerdere pieken bij elkaar leveren een methode op om sporen en bacteriën te identificeren. Het zal echter nog de nodige tijd kosten om deze pieken uit een enkele bacterie te detecteren. Hoewel er tot nog toe weinig gebruik is gemaakt van biologische wapens, is het gevaar volgens Van Wuyckhuysen niet geheel denkbeeldig.

'Een paar jaar terug had de sekte Aum Shinrikyo het chemische gif Sarin in de metro van Tokio verspreid met doden en vele gewonden als gevolg. Het blijkt, zo staat in een recent boek van de Russische overloper Alibekov (hij was tweede man van het biowapenprogramma in de Sovjet-Unie), dat die terroristen het eerder met de levensgevaarlijke miltvuurbacterie hadden geprobeerd, maar dat ze, gelukkig, de verkeerde, ongevaarlijke stam hadden genomen. Voor dat soort toepassingen zou dit systeem goed kunnen werken, maar zeker ook voor ziekenhuizen.' Die zullen nog heel even moeten wachten. Er is nog geen kant-en-klare bacteriedetector, maar dat lijkt slechts een kwestie van tijd.

*Voor nadere
informatie over
dit onderwerp
kunt u contact
opnemen met
dr.ir. Jan
Marijnissen,
tel. (015) 278
4368,
e-mail*

j.c.m.

marijnissen@tnw.

tudelft.nl, of

De detectielaser wordt gesplitst in twee parallelle bundels, die vervolgens via een halfdoorlatende spiegel het apparaat worden ingestuurd. Wanneer de deeltjes beide bundels doorkruisen, levert dit door lichtverstrooiing informatie op over de grootte en de snelheid. Op basis van die gegevens wordt de eximeer laser ingeschakeld, die de deeltjes met een hoge energiepuls fragmenteert.



Straatbeeld van Tsjernobyl kort na het ongeluk met de kerncentrale.

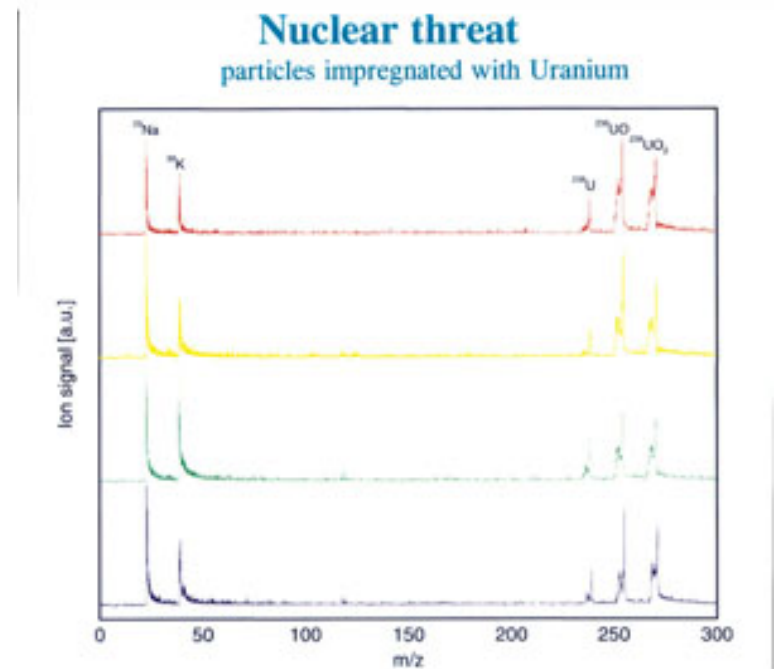
met
ir. Arjan van
Wuyckhuyse,
tel. (015) 278
4372,
e-mail

[a.l.](#)

vanwuyckhuyse@tnw.tudelft.nl

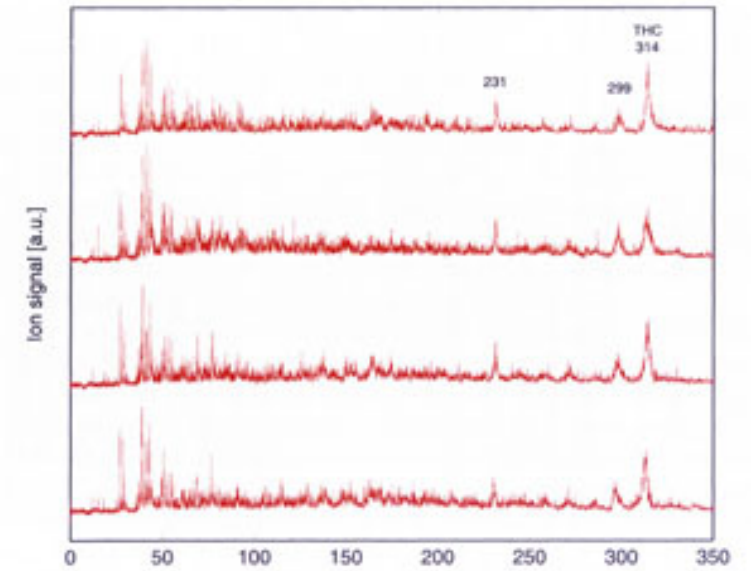


Omdat niemand ervaring had met het leven in een radioactief vervuilde omgeving, werden overal borden geplaatst die mensen moesten wijzen op de gevaren ervan. De achterblijvers werden er op gewezen dat het meenemen van voedsel en goederen uit de 30 km-zone als een misdaad zou worden beschouwd. Ook werd daarop een uitleg gegeven van de doordringbaarheid van de verschillende radio-actieve straling.

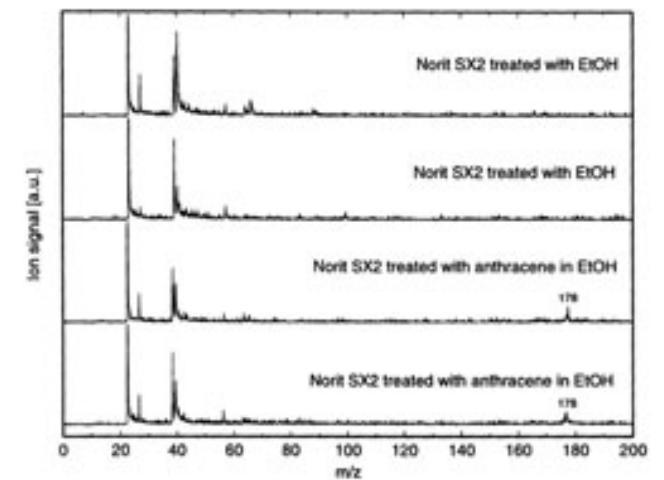


Om aan te tonen dat ook uranium deeltjes in de lucht kunnen worden waargenomen, werden ionenwisselaar-balletjes beladen met een uranium verbinding die is verarmd tot 0,24% U235. De dubbele piek laat duidelijk U-235 en U-238 zien.

Forensic and transboundary pollution control Cannabis



Voor douane-doeleinde werd gekeken of de deeltjesmeter ook gevoelig was voor deeltjes cannabis in de lucht. THC, de actieve verbinding in cannabis springt er duidelijk uit.



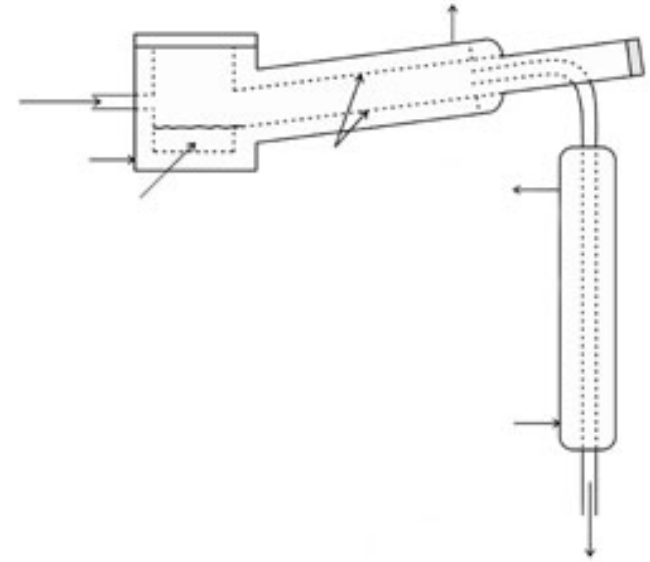
Roetdeeltjes uit verbrandingsprocessen (o.a. dieselmotoren) kunnen polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) bevatten. Voor de proef is antracene op Norit geabsorbeerd. Uit deze grafiek blijkt dat het antracene goed meetbaar is.



Het Amerikaanse bedrijf TSI Inc. heeft een jaar geleden een deeltjesmeter op de markt gebracht dat grotendeels is gebaseerd op de eerste generatie van de Delftse deeltjesmeter.

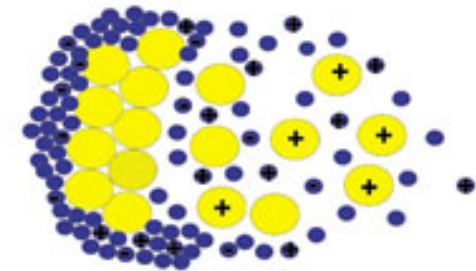
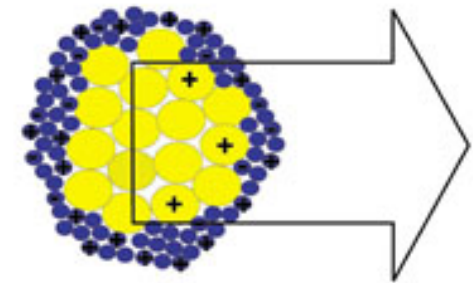
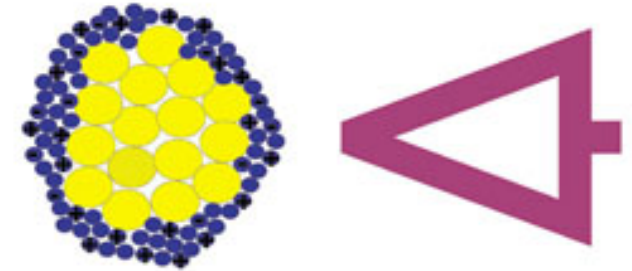


Het is de bedoeling om de Delftse deeltjesmeter zodanig te verkleinen, dat voor eventuele biologische aanvallen kan worden gewaarschuwd.

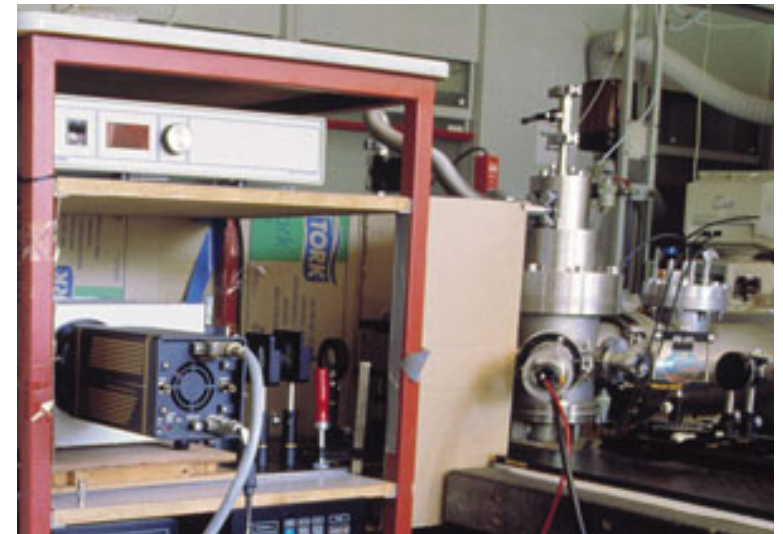


Om te kleine deeltjes te laten groeien zodat ze detecteerbaar zijn, worden ze door een ruimte gevoerd die volledig is verzadigd met een alcohol damp. Het tweede deel van de opstelling bestaat uit een koeler, waar de damp op de deeltjes condenseert, die zodoende groter worden.

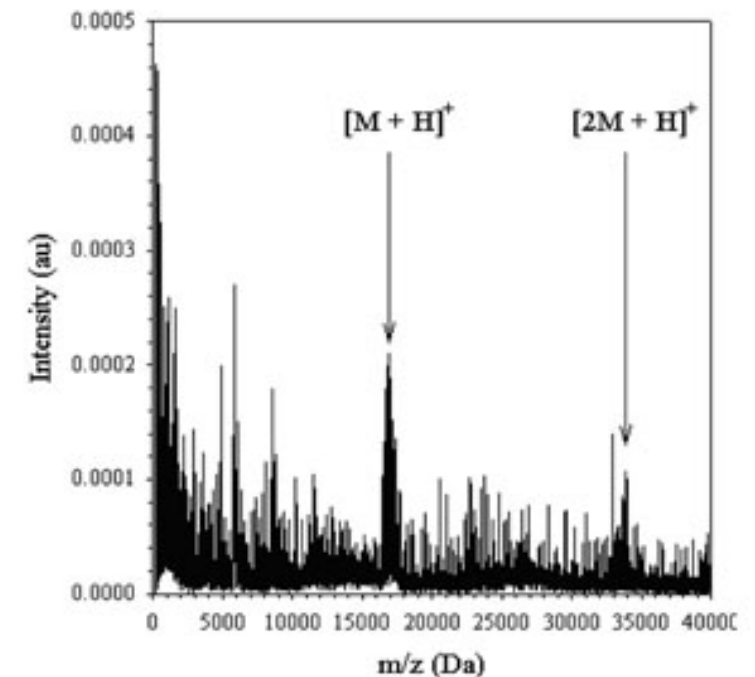
● **Analyte**
● **Matrix**



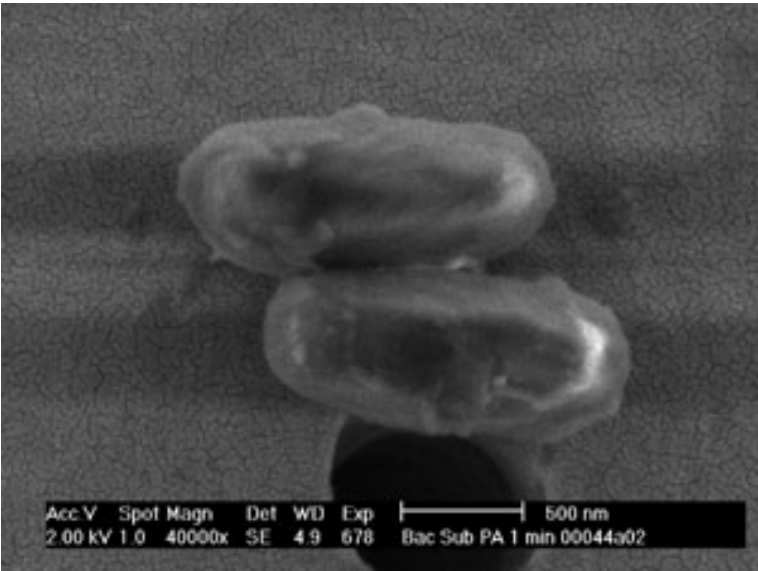
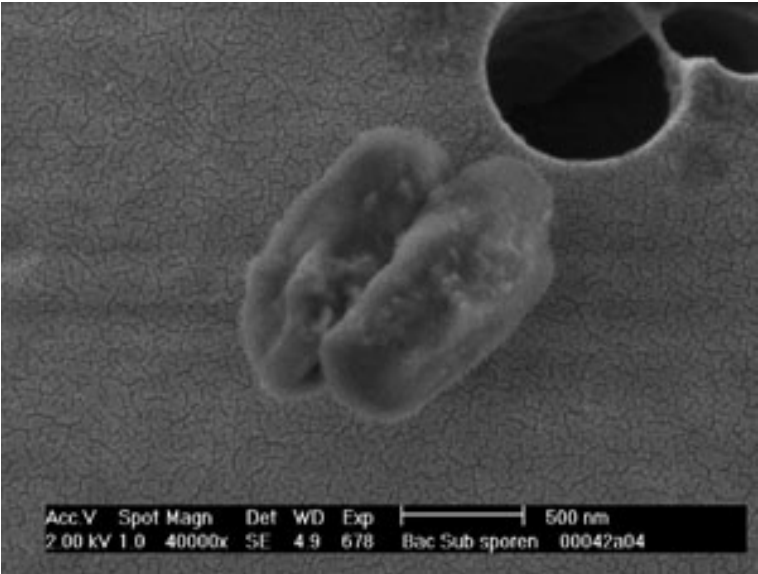
Biologische deeltjes zijn niet zonder meer met een massaspectrometer identificeerbaar, omdat de laser de biologische moleculen opbreekt in niet-karakteristieke deeltjes. Dat wordt voorkomen door de deeltjes zodra ze worden opgezogen, te voorzien van een laagje dat de laserstraal sterk absorbeert. Met een gepulste UV-laser wordt op een deeltje geschoten (A). De aangebrachte laag wordt geïoniseerd en lading wordt overgebracht op de biologische kern. De buitenlaag begint te ontleden en gaat over naar een geconcentreerde gasfase (B). De gasfase gaat supersoon expanderen (400 m/s) daarbij worden de biologische moleculen meegesleurd en wordt er nog meer lading op de moleculen overgebracht (C).



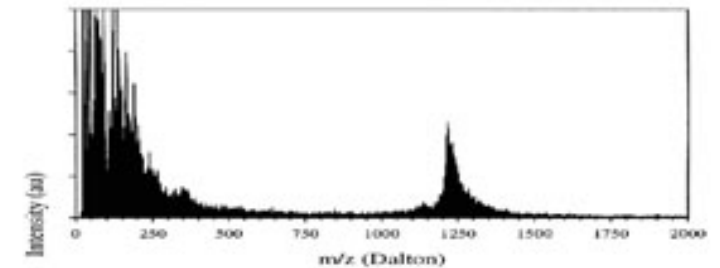
Fluorescentiedetector van de massaspectrometer. Fluorescentie is een van de weinige methoden waarmee snel kan worden vastgesteld of een deeltje biologisch is of niet. In de Golfoorlog liepen Amerikaanse militairen met dit soort meters, maar door de roetdeeltjes in dieseluitletgasen van de tanks en vrachtauto's gingen de detectors zo vaak af, dat ze meestal werden uitgezet.



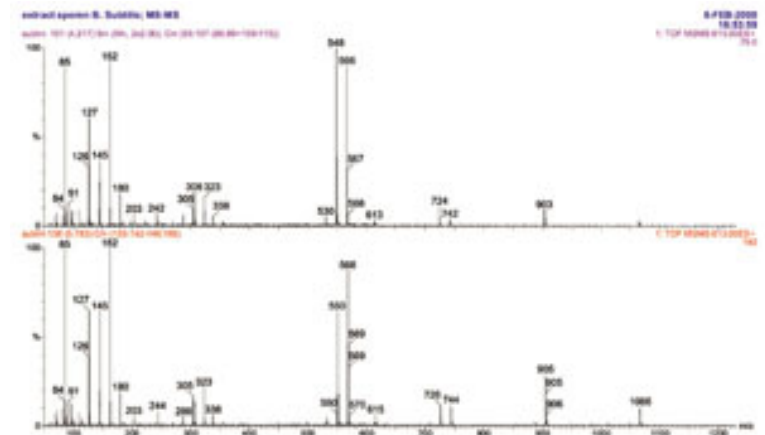
Massaspectrum van myoglobine, een biologische stof die wordt gewonnen uit paardenhart. De stof heeft een hoge massa, waarmee de Delftse onderzoekers hebben aangetoond dat er over een groot massabereik kan worden gemeten.



Opname met de elektronen microscoop van *Bacillus subtilis* var *niger* (links) en bedekt met de hulpstof picolinezuur (rechts). Deze sporen zijn de geijkte simulant voor proeven naar de verspreiding van miltvuur. In New York zijn deze bacteriesporen gebruikt om de effecten van een aanval met miltvuur in de stad te kunnen meten.



Massaspectrum van met hulpstof bedekte *Bacillus subtilis* var *niger*. Zonder de hulplaag om de moleculen zou de piek van 1250 m/z (=massa over lading) niet zijn gemeten.



Sporen zijn tamelijk complexe deeltjes. Om zijn meetresultaten te identificeren heeft Arjan van Wuyckhuyse door het TNO Prins Maurits Laboratorium een zogenaamde massaspectrometrische analyse laten uitvoeren. Daarmee werd aangetoond dat de gedetecteerde massa afkomstig was van het peptidoglycan, dat is een deel van het skelet van de *Bacillus subtilis* van niger sporen.



Za P P W aR K